

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO NORTE DO TOCANTINS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL
TROPICAL**

**PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE PLANTAS AQUÁTICAS
FLUTUANTES LIVRES CULTIVADAS EM EFLUENTE DE TILÁPIAS**

TATIANE DE SOUSA CRUZ

ARAGUAÍNA, TO

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO NORTE DO TOCANTINS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL TROPICAL**

**PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE PLANTAS AQUÁTICAS FLUTUANTES
LIVRES CULTIVADAS EM EFLUENTE DE TILÁPIAS**

TATIANE DE SOUSA CRUZ

**Tese Apresentado ao programa de Pós graduação
em Ciência Animal Tropical como pré requisitos
para obtenção do título de doutor em Ciência
Animal Tropical.**

Área de concentração: Produção Animal

Linha de pesquisa: Relação Solo x Planta x Animal

Orientador: Antonio Clementino dos Santos

ARAGUAÍNA, TO

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

C957p CRUZ, TATIANE DE SOUSA.
PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE PLANTAS AQUÁTICAS
FLUTUANTES LIVRES CULTIVADAS EM EFLUENTE DE TILÁPIAS. /
TATIANE DE SOUSA CRUZ. – Araguaína, TO, 2021.
80 f.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus
Universitário de Araguaína - Curso de Pós-Graduação (Doutorado) em
Ciência Animal Tropical, 2021.

Orientador: ANTONIO CLEMENTINO SANTOS

Coorientador: José Geraldo Donizetti dos Santos

1. Bioacumuladores. 2. eutrofização. 3. Eficiência de remoção. 4.
fitoremediação. I. Título

CDD 636.089

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer
forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte.
A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184
do Código Penal.

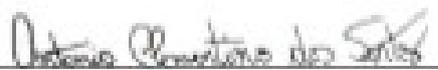
**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

**PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE PLANTAS AQUÁTICAS EMERGENTES EM
EFLUENTE DE TILÁPIAS**

Discente: Tatiane de Sousa Cruz

28 de Junho de 2021

Banca Avaliadora:



Antonio Clementino dos Santos
Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solos
Professor orientador do PPGCat-UFT UFNT



José Geraldo Donizetti dos Santos
Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solos
Professor Co-orientador do PPGCat-UFT UFNT



Luciano Fernandes Sousa
Engenheiro Agrônomo, Doutor em Zootecnia
Professor Avaliador interno do PPGCat-UFT/UFNT



Roberta Gomes Marçal Vieira Vaz
Zootecnista, Doutora Zootecnia
Avaliadora interna do PPGCat-UFT/UFNT



Otacílio Silveira Júnior
Zootecnista, Doutor em Ciência Animal Tropical
Avaliador Externo, Técnico do IFTO-Dianópolis

AGRADECIMENTOS

A Deus por seu imensurável amor, e sua graça que me permitiu chegar até aqui.

A minha Família pelo apoio, pais: Antônio do Livramento e Eva de Sousa; Irmãos e cunhados: Marcos de Sousa e Antonilza Medeiros; Antônia de Cássia e Gilsane Lima, Marcelo de Sousa e Élem; Sobrinhas Raquel Jane; Ana Lúcia e Débora.

Ao meu esposo Guilherme Octávio, pelo incentivo e ajuda nos experimentos, e também pelo filho, Eliézer, meu pedacinho de felicidade.

Aos meus colegas ajudadores: João Batista, Diogo José, Hugo Mariano, José Mario, Tiago Barbalho, e principalmente Edelson de Souza.

Aos doutores que foram meus exemplos: Nayara Alencar e Otacílio Silveira.

Aos professores pela Orientação: Antônio Clementino, José Geraldo, Wallace Henrique, Luciano Fernandes, Roberta Vaz, Ana Cláudia e Gerson Fausto.

Aos técnicos pelo auxílio, Lucas Siqueira, Klezion Pedro, Adriano, Jeeckson.

Aos meus amigos: Silvana Luna e Josimar, Nayara Luz e Gilson Marinho; Carla Fonseca e Márcio, Rubson Costa e Ana Cris, Robson Costa, Juciara Teles e João, especialmente para a Helém Roberta e Max Miller.

A universidade e ao Programa de pós graduação, coordenado pela prof. Fabrícia Chaves e Luciano Fernandes.

*“Que tragédia quando grandes
esperanças são derrotadas por
pequenos esforços”*

Rhonda H. kelley

SUMÁRIO

RESUMO GERAL:	4
CONSIDERAÇÕES INICIAIS	5
CAPÍTULO I – REVISÃO	6
PLANTAS AQUÁTICAS FLUTUANTES LIVRES DE INTERESSE PARA AQUICULTURA	6
1.1 INTRODUÇÃO.....	7
1.2 PLANTAS AQUÁTICAS FLUTUANTES LIVRES.....	8
1.2.1 Caracterização das principais espécies	9
1.3 USOS DIVERSOS.....	10
1.3.1 Uso em sistemas alagados construídos	10
1.3.2 Uso na aquicultura	11
1.3.3 Uso no tratamento de efluentes	12
1.3.4 Interação no meio aquático	13
1.4 PRODUTIVIDADE DE PLANTAS AQUÁTICAS FLUTUANTES LIVRES.....	14
1.5 INCLUSÃO NA ALIMENTAÇÃO ANIMAL.....	15
1.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	17
REFERÊNCIAS.....	18
CAPÍTULO II	29
PRODUÇÃO E COMPOSIÇÃO DE PLANTAS AQUÁTICAS FLUTUANTES LIVRES DE INTERESSE PARA A PISCICULTURA	29
2.1 INTRODUÇÃO.....	30
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	31
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
2.4 CONCLUSÕES.....	37
REFERÊNCIAS.....	38
CAPÍTULO III	43
USO DE PLANTAS AQUÁTICAS FLUTUANTES LIVRES MELHORAM A QUALIDADE DA ÁGUA DO EFLUENTE DE TILÁPIAS	43
3.1 INTRODUÇÃO.....	44
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	45
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47

3.4 CONCLUSÕES.....	52
REFERÊNCIAS.....	53
CAPÍTULO IV.....	57
PRODUÇÃO E COMPOSIÇÃO DE PLANTAS AQUÁTICAS FLUTUANTES LIVRES CULTIVADAS EM EFLUENTE DE TILÁPIAS.....	57
4.1 INTRODUÇÃO.....	58
4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	59
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	60
4.4 CONCLUSÕES.....	63
REFERÊNCIAS.....	64
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	69
ANEXOS.....	70

PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE PLANTAS AQUÁTICAS FLUTUANTES LIVRES CULTIVADAS EM EFLUENTE DE TILÁPIAS

RESUMO GERAL: Dentre as principais espécies de macrófitas aquáticas flutuantes livres de interesse para aquicultura, identificou-se oito espécies com potencial fitoremediador: *Pistia stratiotes*, *Eichornia crassipes*, *Salvinia molesta*, *Salvinia auriculata*, *Salvinia natans*, *Azolla pinnata*, *Azolla filiculoides* e *Spirodela intermedia*. Exemplos dessas plantas foram cultivadas em tanques de decantação de sólidos de efluente de tilápias, onde apresentaram elevada produtividade de massa seca com média de 4,25 MG MS ha⁻¹ de lâmina de água ao ano, registrou-se elevados teores de fósforo, com média de 2,1 g kg⁻¹ MS, e também bioextração desse elemento de 98,4 kg MS ha⁻¹ de lâmina de água ao ano. Dentre essas plantas, três (*S. molesta*, *A. pinnata* e *S. intermedia*) foram novamente cultivadas com o objetivo de quantificar produtividade, bioextração de nutrientes, e quantificar o teor de macroelementos e composição bromatológica. A *S. Molesta* apresentou maior produtividade com 50,9 Mg ha⁻¹ de lâmina de água ao ano, e maior bioextração de N: 205, P: 77 e K: 200 kg ha⁻¹, enquanto a *S. intermedia* apresentou maior bioextração de Ca: 309 e Mg: 136 g ha⁻¹ de lâmina de água ao ano. As macrófitas *S. Molesta* e *A. pinnata* tiveram maiores teores de energia e proteína bruta (4,000.00 cal g⁻¹ MS; 33,6% respectivamente), e maiores estoques de nitrogênio e de fósforo (5,55 e 2,22 g kg⁻¹ MS), enquanto a *S. intermedia* teve maiores estoques de potássio e magnésio (5,72 e 5,56 mg kg⁻¹ MS), também de cálcio (15,85 mg kg⁻¹ MS).

Palavras Chave: Bioacumuladores, eutrofização, eficiência de remoção, fitoremediação

ABSTRAT: Among the main species of aquatic herbaceous emerging from life free of interest for aquaculture, eight species with phytoremediation potential were identified: *Pistia stratiotes*, *Eichornia crassipes*, *Salvinia molesta*, *Salvinia auriculata*, *Salvinia natans*, *Azolla pinnata*, *Azolla filiculoides* e *Spirodela intermedia*. Specimens of these plants were grown in settling tanks of tilapia effluent solids, where they presented high dry mass productivity with an average of 4.25 MG MS ha⁻¹ of water depth per year, high levels of phosphorus were recorded, with an average of 2.1 g kg⁻¹ DM, and also bioextraction of this element of 98.4 kg MS ha⁻¹ of water per year. Among these plants, three (*S. molesta*, *A. pinnata* and *S. intermedia*) were cultivated again in order to quantify productivity, nutrient extraction, and to quantify the content of macro-elements and chemical composition. *S. Molesta* showed higher productivity with 50.9 Mg ha⁻¹ of water per year, and greater bioextraction of N: 205, P: 77 and K: 200 kg ha⁻¹, while *S. intermedia* showed greater bioextraction of Ca: 309 and Mg: 136 g ha⁻¹ of water per year. The herbaceous *S. Molesta* and *A. pinnata* had higher levels of energy and crude protein (4.000,00 cal g⁻¹ DM; 33.6%), and higher stocks of nitrogen and phosphorus (5.55 and 2.22 g kg⁻¹ MS), while *S. intermedia* had higher stocks of potassium and magnesium (5.72 and 5.56 mg kg⁻¹ DM), also of calcium (15.85 mg kg⁻¹ DM).

Keywords: Bioaccumulators, eutrophication, removal efficiency, phytoremediation

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Segundo as normativas ambientais brasileiras é obrigatório o tratamento de efluente que deve seguir padrões de qualidade da água antes do descarte no meio ambiente (CONAMA 357/2005; 430/2011). Para a aquicultura de água doce classe II, dentre as exigências pode se citar: a ausência de sólidos flutuantes e o teor de fósforo menor do que 0,03 ou 0,05 mg L⁻¹ a depender do corpo hídrico receptor, como o gargalo no atendimento dessas normativas.

Para tal, o tratamento mais comum é o uso de áreas alagadas construídas (CWSs), também chamadas de tanque de decantação ou depuração de sólidos, onde ocorrem os processos de decantação, decomposição, perda de nitrogênio, principalmente, via volatilização e fósforo via lixiviação.

Entretanto, uma fração dos nutrientes, dentre eles o fósforo continua de forma cumulativa no sistema. Esse elemento é considerado o indicador de eutrofização da água, e por tanto, nesse sistema ele passa a ser o ponto crítico no tratamento de efluente em que não houver sequestro e remoção desse elemento.

O uso de CWSs associado ao cultivo de macrófitas aquáticas flutuantes de vida livre como fitoremediadores, tem se tornado uma prática usual. Essas plantas são adaptadas aos mais diversos tipos de ambientes aquáticos, com elevada produtividade, e são consideradas daninhas em muitos ecossistemas.

O princípio é cultivá-las para que possam absorver os nutrientes dissolvidos, dentre eles o fósforo, no efluente e incorporá-los a sua biomassa vegetal. Nesse sentido, espera-se que quanto maior a produtividade e o teor do elemento na matéria seca, maior a capacidade de bioextração da planta, e conseguinte melhora na qualidade da água do efluente.

São muitos fatores podem contribuir para maximizar sua produtividade e não há recomendação técnica para o seu manejo, principalmente no que diz respeito ao intervalo e intensidade de colheita e manutenção da biomassa residual. Também é necessário a gestão dos resíduos, a melhor forma de determinar é através das informações de composição química e bromatológica, que apresenta-se relativa, dentre outros fatores, a própria planta e ao efluente em que foi cultivada.

Nesse contexto objetivou-se identificar e caracterizar as principais macrófitas aquáticas flutuantes de vida livre, utilizá-las no tratamento de efluente de aquicultura, verificar o seu efeito na qualidade da água, quantificar a sua produtividade, composição bromatológica e de macroelementos.

CAPÍTULO I – REVISÃO

PLANTAS AQUÁTICAS FLUTUANTES LIVRES DE INTERESSE PARA AQUICULTURA

RESUMO: No Brasil o tratamento de efluente de aquicultura mais utilizado tem sido o uso de áreas alagadas construídas para decantação de sólidos. A associação com o cultivo de plantas aquáticas, com potencial fitorremediador, é uma alternativa para aumentar a remoção do fósforo da água. Essas macrófitas podem se adaptar e se propagar em diversas condições edafoclimáticas, principalmente em águas enriquecidas artificialmente, onde podem apresentar rápida propagação e ocupação da lâmina de água. Por causa desse potencial, algumas espécies são utilizadas no tratamento de efluentes, para atendimento das normas ambientais. Seu uso baseia-se nos princípios de sequestro, fixação e remoção de nutrientes utilizados pela planta para produção de sua biomassa vegetal. O uso também se estende a inclusão na alimentação animal em substituição parcial as fontes convencionais de energia e proteína como o milho e soja. Nesse contexto, objetivou-se identificar e caracterizar as principais espécies de macrófitas aquáticas flutuantes de interesse para aquicultura, e compreender as implicações de uso no tratamento de efluente, conhecer a eficiência de absorção, a produtividade e teores de nutrientes, e assim, propor o seu uso em conjunto de bioextrator de elementos com a alimentação animal.

Palavras Chaves: Bioacumuladores, eutrofização, eficiência de remoção, fitorremediação

ABSTRAT: The most used fish farming effluent treatment in Brazil has been the use of solid purification tanks. In the search for improvement in treatment, they have been associated with the cultivation of aquatic plants, with a potential remedy for removing potentially polluting nutrients from water. Aquatic plants have a wide range of adaptations that enable occurrence and propagation in the most diverse humid environments. Anthropic actions cause eutrophication and with this the rapid multiplication and occupation of the water layer by some species and with this, many are considered as weeds in water bodies. This is due, among other factors, to the phenotypic plasticity and the greater efficiency of nutrient absorption, because of the potential presented by these macrophytes, some species are used in the treatment of effluents, to meet environmental standards. The objective was to identify and characterize as the main species of floating aquatic herbs of interest for aquaculture, and to understand how to use them in the treatment of effluents, to know the efficiency of absorption, productivity and nutrient contents, and thus, the proportion of their use together, bioremediator with a feed animal.

Keywords: Bioaccumulators, eutrophication, removal efficiency, phytoremediation

1.1 INTRODUÇÃO

A piscicultura tem sido apontada como uma atividade potencialmente poluidora, ao lançar nos corpos hídricos naturais efluentes ricos em resíduos orgânicos e minerais, o que causa eutrofização (MACEDO e SIMPAÚBA-TAVARES, 2010). O Conselho Nacional do Meio Ambiente determinou a obrigatoriedade do tratamento de efluentes (BRASIL, 2005), além de padrões de qualidade da água (BRASIL, 2011) antes de ser devolvido ao meio ambiente.

Atualmente um dos tratamentos de efluente aquícola mais utilizado envolve o uso de áreas alagadas construídas “*wetlands*”, tanques de depuração, lagoas de estabilização. Essa técnica engloba processos de decantação/sedimentação e decomposição de sólidos, em que a perda de nitrogênio ocorre principalmente por volatilização, enquanto para o fósforo ocorre a precipitação e/ou lixiviação.

Nesse sistema de tratamento convencional, elementos químicos podem continuar no sistema, de forma cumulativa, necessitando de alguma forma de extração. Assim alguns produtores, principalmente os que exercem a piscicultura intensiva, tem dificuldades em atender aos requisitos da normativa, principalmente para o requisito nível de fósforo, que deve ser menor do que 0,03 ou 0,05 mg L⁻¹ a depender do corpo hídrico receptor.

O uso de plantas aquáticas para sequestro, fixação e conseguinte bioextração, com a remoção da planta do tanque, é uma forma de remoção de fósforo e demais nutrientes, também chamado de fitotratamento, que apresenta uma forma de melhoria dentro do sistema de tratamento de água.

Estudos apontam o aumento na eficiência de remoção de poluentes da água com uso de plantas, dentre as quais pode-se citar as macrófitas flutuantes, pela praticidade de manejo e/ou remoção sem danos à estrutura, contrastando com o uso de filtro, material particulado para formação de biofilme por ser oneroso.

Um ponto importante é a escolha da herbácea que apresente maior eficiência de remoção, extração de nutrientes do efluente, aliado a uma boa composição química e bromatológica que permita o seu uso alternativo. Ainda há a ausência de informações de técnicas de manejo como ciclo de produção, regime de colheita, biomassa residual e controle da proliferação.

Objetivou-se identificar e caracterizar as principais espécies de macrófitas aquáticas flutuantes utilizadas no tratamento de efluentes, conhecer a produtividade, teores de nutrientes e/ou composição bromatológica e eficiência de remoção de nutrientes por elas, compreender as implicações do seu uso em interação com os organismos aquáticos.

1.2 PLANTAS AQUÁTICAS FLUTUANTES LIVRES

As macrófitas flutuantes livres flutuantes são adaptadas com folhas, limbos e/ou pecíolos, parenquimatosas, com ou sem pelos hidrofóbicos, flores ou inflorescência aéreas e frutos ou infrutescência submersos, esse grupo de plantas é capaz de colonizar ambientes aquáticos com as mais diversas características físicas e químicas (PIEIDADE et al., 2010).

A estrutura dessas plantas é constituída, basicamente, por aerênquimas bem desenvolvidos e, segundo Bianchini Júnior (2003) a *Pistia stratiotes* possui espaços intracelulares que chegam a ocupar 71% do volume da planta. Algumas possuem sistema radicular bem desenvolvido, como a *Eichornia crassipes* que possui sistema radicular denso que pode corresponder até 50% da biomassa total da planta (PIEIDADE et al., 2010). Isso proporciona maior área para atividade microbiana e também maior área de absorção efetiva, que a torna dominante em produtividade em relação a outras plantas (BISSEGGER et al., 2016).

Algumas plantas podem associar-se simbioticamente a fungos micorrízicos arbusculares, como a *Salvinia molesta* (MUTHUKUMAR e PRABHA, 2013), e outras a bactérias fixadoras de nitrogênio, como a *Azolla filiculoides* com a cyanobactéria *Anabaena azollae* (MIRANDA e SCHWARTSBURD, 2016). Ao manter esse tipo de relação essas plantas podem se propagar em ambientes com baixos teores de nitrogênio, sem que ele seja o fator limitante a sua produção.

Quanto a reprodução, as macrófitas podem se propagar de forma vegetativa, por secção da planta, e também por sementes, levadas por polinizadores. Para isso concentram altos teores de açúcares nas flores ou inflorescência, outras podem produzir esporos, que podem ser levados pela água (PIEIDADE et al., 2018; DEMARCHI et al., 2018).

As macrófitas aquáticas são plantas que apresentam plasticidade fenotípica, segundo Cozad et al. (2019) a *S. molesta* pode modificar a apresentação da folha para captar maior quantidade de luz, e assim pode ocupar os mais diversos tipos de ambientes. As plantas *E. crassipes*, *P. stratiotes* e *Azolla sp.* também são cosmopolitas, mas Wang et al. (2017) destacam a *P. stratiotes* por demonstrar diversas adaptações aos ambientes em que ela se propaga.

Nesse sentido, essas plantas possuem características morfológicas e de plasticidade que lhes permitem se adaptar e ocupar os mais diversos tipos de ambientes, e assim, são consideradas daninhas em muitos ecossistemas, onde sua reprodução for maior do que a predação natural. Isso ocorre principalmente em ambientes enriquecidos artificialmente (PISTORI et al., 2010).

1.2.1 Caracterização das principais espécies

Eichornia crassipes:

Popularmente conhecida como aguapé, Nativa da América Central, foi disseminada em todo o mundo. Possui folhas orbiculares dispostas em roseta, com pecíolo intumescido com aerênquima, caule reduzido e raízes adventícias com coifa desenvolvida (PIEDADE et al., 2018). Possui inflorescência racemosa mas sua propagação se dá de forma vegetativa e por sementes, é considerada uma cultura perene (PIEDADE et al., 2018).

Pistia stratiotes:

Conhecida como alface de água, possui folhas alternadas dispostas em roseta, com caule reduzido e raízes adventícias, se propaga de forma vegetativa, por estolão e também por sementes dispersas na água (PIEDADE et al., 2018). Possui altos teores de açúcares para atrair polinizadores, pode ser considerada anual ou perene (PIEDADE et al., 2018; DEMARCHI et al., 2018).

Salvinia sp.:

São nativas das Américas, também conhecidas como samambaias, possuem folhas arredondadas e pilosas, raízes numerosas e caule ramificado pouco eminente, sua propagação é vegetativa e por esporos, são consideradas anuais ou perenes (MIRANDA e SCHWARTSBURD, 2016). Podem se associar com fungos micorrízicos arbuscular (MUTHUKUMAR e PRABHA, 2013).

Azolla sp.:

São nativas das Américas, chamadas de tapete de água, possuem frondes escamosas com cor verde ou vermelha (alteração relativa a incidência de luz), com caule reduzido e raízes filamentosas simples com coifa evidente, propaga-se vegetativamente por fragmentação do caule, pode ser considerada uma cultura perene ou anual (PIEDADE et al., 2018). Podem associar-se com cianobactérias (MIRANDA e SCHWARTSBURD, 2016)

Spirodela intermedia:

É uma planta nativa das Américas, conhecida como lentilha de água, possui folhas ovais espiraladas, caule reduzido e raiz fasciculada, se propaga de forma vegetativa e por sementes, dispersas pelo vento, é considerada uma cultura anual, pode dobrar de biomassa a cada três dias (PIEDADE et al., 2018).

1.3 USOS DIVERSOS

A Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura na declaração da Banguécoque, recomendou a utilização de plantas aquáticas na alimentação, como alternativa de uso desses vegetais, que em sua maioria, apresentam altos teores de açúcares (NACA/FAO, 2000).

Na África e Índia a *Pistia stratiotes* é usada na alimentação humana após cozimento, em todo o mundo é utilizada na medicina popular para diversas finalidades, com propriedades comprovadas como diurética, antifúngica e antimicrobiana e no tratamento de inflamações (DEMARCHI et al., 2018). Algumas espécies de *Azolla sp* apresentam potencial para uso farmacêutico, por possuir extratos capazes de combater algumas cepas bacterianas e fungos patogênicos (PEREIRA et al., 2015).

No Brasil há estudos propondo o uso da biomassa vegetal das macrófitas aquáticas, entre os diferentes usos, Pompeo (2017) cita: na biosorção, fitoremediação, medicina, fertilizantes, biogás, e inclusão na alimentação animal.

Algumas dessas plantas apresentam aparência atrativa para ornamentação, sendo a *P. stratiotes* e *E. crassipes* as mais comercializadas, também servem como ambiente de reprodução de peixes, principalmente os ornamentais.

Também podem ser utilizadas na fertilização de culturas, como o arroz, cujo a associação com a *A. filiculoides* proporciona maior aporte de nitrogênio e demais nutrientes, consequente maior perfilhamento e rendimento de grãos da cultura (RAZAVIPOUR et al., 2018).

E ainda são de grande importância econômica, com cultivo comercial para produção de etanol (MISHIMA et al., 2008; GURAGAIN et al., 2011), produção de biogás (XIAO et al., 2009; SULLIVANA et al., 2020), fertilizantes (HUSSAIN et al., 2018) e compostagem (NAJAR e KHAN, 2013).

1.3.1 Uso em sistemas alagados construídos

Em sistemas alagados construídos, também chamados de *wetlands* construídas, tanques utilizados para tratar efluente, quando associado ao cultivo de macrófitas aquáticas flutuantes, são vantajosas por necessitar de menor tempo de retenção hidráulica, não ocorrer a colmatação de filtros, e ainda o baixo acúmulo de sedimentos, lodo, em substituição a produção de biomassa vegetal (SILVA et al., 2013).

Em *wetlands* há uma relação entre a produção de biomassa da macrófita e a capacidade de remover nitrogênio e fósforo (OSTI et al., 2018), segundo Henares e Camargo (2014) a combinação

de diferentes espécies de macrófitas pode ser uma alternativa de baixo custo para aumentar a eficiência do tratamento de água.

Segundo Matos e Matos (2017) o uso de macrófitas em sistemas alagados construídos, tem as seguintes funções: Retenção de sólidos suspensos; Depuração da efluente, ao absorver nutrientes poluentes e oxidar compostos tóxicos às plantas; Paisagismo, valorização estética do ambiente; e fornecer o meio de suporte para desenvolvimento de microrganismos benéficos.

Um exemplo é a remoção de *Escherichia coli*, verificado por Assunção et al. (2017) em um sistema de tratamento de efluente do tipo *wetlands* contendo macrófitas. Esses autores registraram eficiência de remoção de 46% de *E. coli* e maior eficiência no uso da herbácea aquática flutuante *Eichornia crassipes*.

Segundo Matos e Matos (2017) as raízes, rizomas e colmos das macrófitas fornecem o suporte para o desenvolvimento de microrganismos benéficos, por estímulo à ação de bacteriófagos, protozoários e vírus que parasitam bactérias, para remoção de patógenos, ou pela exsudação, liberação de compostos orgânicos bactericidas.

No controle da eutrofização dominada por algas, as macrófitas competem por nutrientes, que são sequestrados da cadeia trófica primária de algas para as macrófitas (XIAO et al., 2009). A importância disso se dá no controle de cianobactérias produtores de toxinas como a microcistina, uma hepatotoxina, que constitui um potencial risco para os consumidores dessa cadeia trófica e principalmente para a saúde pública (SONG et al., 2009).

Nesse sentido, vemos que essas plantas tidas como problemas, podem apresentar-se como solução, não só para remover amônia e fósforo da água, mas na remoção e/ou controle de microrganismos potencialmente prejudiciais a saúde humana.

1.3.2 Uso na aquicultura

Na maioria das vezes a ocorrência de macrófitas em viveiros de produção é algo indesejado, pois em tanques de cultivo de peixes cujo o hábito alimentar não for herbívoro ou onívoro, sem predação, essas plantas apresentam rápida propagação e se tornar um entrave nesse sistema de produção.

Exemplos apontados por Miranda e Schwartsburd (2016) as hidrófitas *Salvinia auriculata* e *S. molesta* formam densos tapetes capazes de cobrir a superfície da lâmina de água. Por isso elas são consideradas como ervas daninhas invasoras em muitos ambientes aquáticos, necessitando de alguma forma de controle.

É comum o uso de espécies de peixes herbívoros, como a carpa capim (*Ctenopharyngodon idella*) para realizar o controle biológico dessas plantas (PÍPALOVÁ, 2003; SILVA et al., 2014;

DOMINGUES et al., 2017). A forma de controle mais comum é o mecânico, a utilização de redes demanda de mão de obra mas, não danifica a estrutura do tanque. A utilização de herbicidas, para controle químico, pode apresentar maior eficiência, entretanto possui efeito tóxico adverso para peixes, e a biodiversidade de organismos aquáticos pode ser afetada (HENARES, et al., 2008).

Nem sempre as macrófitas são indesejáveis na piscicultura, elas são utilizadas como ambiente para reprodução de espécies de peixes cujo a reprodução induzida ainda não foi dominada. Além disso, também são utilizadas como alimento para espécies de peixes herbívoros e onívoros (PÍPALOVÁ, 2003; SILVA et al., 2014; DOMINGUES et al., 2017).

O principal uso dessas macrófitas na aquicultura é como fitoremediadores em tanques de decantação de sólidos, dentre os biótipos de plantas mais utilizados, estão as do tipo flutuantes, ou flutuantes livres, pela facilidade de controle em relação as demais.

A herbácea absorve nutrientes dissolvido na água, estoca na forma de massa vegetal, se propaga e ocupa a lâmina de água. Nesse sentido, para que o fluxo de remoção de poluentes seja constante, é necessária a colheita frequente de uma fração dessa biomassa vegetal (BROUWER et al., 2018).

Se considerado a velocidade de crescimento apresentado por essas plantas, segundo Piedade et al. (2010) algumas podem duplicar sua biomassa em três dias (*Azolla sp*; *Salvinia sp*; *Spirodela intermedia*), e outras de seis a quatorze dias (*E. crassipes* e *P. stratiotes*), há um fluxo constante de residuo vegetal, subproduto do tratamento de efluente.

1.3.3 Uso no tratamento de efluentes

O uso de plantas no tratamento de efluente baseia-se na remoção de contaminantes potencialmente poluidores através da fixação desses compostos na biomassa vegetal a ser colhida (LEE, 2013). A remoção de nutrientes ocorre pelo sequestro, essa eficiência pode ser aumentada de acordo com o manejo adotado (GUMBRICHT,1993).

Nesse sentido, é necessário escolher uma que apresente adaptação às condições locais, para isso Pott e Pott (2002) recomendam que se façam testes de adaptação de espécies ao efluente e clima local. A espécie escolhida deve ser nativa da região, para que não haja a introdução de espécies exóticas e da fauna associada a ela, que poderiam eliminar espécies nativas, reduzindo a biodiversidade (POTT e POTT, 2002).

Um ponto importante na escolha da planta é associar a finalidade, o tipo do efluente a que se deseja tratar. Segundo Lakra et al. (2017) as macrófitas *S. molesta* e *P. stratiotes* são tolerantes a muitas condições de cultivo, podem ainda apresentar acúmulo e resistência a metais pesados e assim, alta aptidão fitoremediadora.

Uma forma de quantificar a eficiência de uso de macrófitas aquáticas em tratamento de efluentes é pela diferença percentual da concentração do elemento no efluente não tratado e efluente tratado. Alguns estudos registraram a eficiência de remoção das principais macrófitas utilizadas no tratamento de efluente:

- ✓ *P. stratiotes*, com eficiência de remoção de 43 a 85 % de nitrogênio e 31 a 83 % de fósforo (HENRY-SILVA e CAMARGO, 2006_b; LU et al., 2010; AKINBILE et al., 2012; MUKHERJEE et al., 2015; VICTOR et al., 2016);
- ✓ *Eichornia crassipes*, com eficiência de remoção de 38 a 86 % de nitrogênio e 43 a 82 % de fósforo (HENRY-SILVA e CAMARGO, 2006_b; GENTELINI et al., 2008; PALMA et al., 2012; AKINBILE et al., 2012; HENARES e CAMARGO, 2014; VICTOR et al., 2016);
- ✓ *Salvinia molesta*, com eficiência de remoção de 19 a 34 % de nitrogênio e 33 a 72% de fósforo (HENRY-SILVA e CAMARGO, 2006_b; HENARES e CAMARGO, 2014; NG e CHAM, 2017).

Essa forma de quantificar a eficiência de remoção %, também contabiliza o efeito da interação da planta com os microrganismos do efluente. Segundo Gumbricht (1993) o uso de macrófitas no sequestro de nitrogênio não interfere nas taxas de desnitrificação. Para Hallin et al. (2015) a remoção de amônia é maior pois a desnitrificação nas raízes e/ou perifiton de algumas dessas plantas, é uma via importante para a remoção de nitrogênio.

1.3.4 Interação no meio aquático

Quando se trata de uma espécie de planta exótica, deve se haver o cuidado de não permitir que ela escape do sistema de cultivo para não impactar o meio ambiente. A colheita mecânica é o método de controle mais utilizado, mas resulta em benefícios de curto prazo (FRANCOVÁ et al., 2019). Por isso deve ser sistemático a fim de manter a propagação vegetativa, evitar o preenchimento da lâmina de água e a emissão de sementes e/ou esporos.

Ressalta-se o uso de espécies de peixes herbívoros com a carpa capim no controle biológico dessas plantas (SILVA et al., 2014), a espécie demanda por fibra efetiva na alimentação. Segundo Francová et al. (2019) dentro do próprio sistema de cultivo de peixes herbívoros é possível a coexistência com macrófitas. Contrapondo isso, os autores citam a desvantagem de ser um reservatório para parasitas de peixes.

Pipalová (2003) cultivou *Spirodela polyrhiza* em viveiros da carpa capim (*Ctenopharyngodon idella*), a fim de aumentar a ciclagem através a remoção de nutrientes da água pela herbácea que serviu como alimento para o peixe herbívoro, fazendo o controle da mesma, sem que houvesse prejuízo a produção animal.

Domingues et al. (2017) utilizaram a carpa capim no controle das macrófitas *E. crassipes*, *P. stratiotes* e *S. auriculata*, e constataram maior predação da *Salvinia* e menor para a *Pistia*. Esse estudo ocorreu em tanques rede, sem o fornecimento de outra fonte de alimento para os herbívoros, contribuindo para ressaltar a inclusão dessas plantas na alimentação animal.

Em reservatórios utilizados no abastecimento para aquicultura a presença de macrófitas favorece a manutenção da diversidade de comunidade de plâncton e macrofauna (SIMPAÚBA-TAVARES e DIAS, 2014). Para os autores, em reservatórios enriquecidos artificialmente, em que haja predação dessa biomassa vegetal produzida, elas podem ser benéficas, pois ajudam manter a qualidade da água para uso na aquicultura

Em corpos hídricos com elevados teores de fósforo e baixo teores de nitrogênio, macrófitas com associação com cianobactérias podem contribuir para o enriquecimento da água, ao depositar matéria orgânica rica em compostos nitrogenados. Isso pode ser verificado pelo estudo de Trindade et al. (2012) que registraram maior relação N:P na presença da *A. Filiculoides*, em comparação com um ambiente próximo, sem a ocorrência da planta.

1.4 PRODUTIVIDADE DE PLANTAS AQUÁTICAS FLUTUANTES LIVRES

As macrófitas aquáticas flutuantes já ocorrem em ambientes eutrofizados, os principais fatores que impactam a sua produção são: Teor de nutrientes, temperatura, radiação luminosa, velocidade de corrente e competição (CAMARGO et al., 2003). Espécie de planta e fatores físicos e químicos da água: turbidez, temperatura, pH, concentrações de fósforo e outros nutrientes (BIANCHINI JÚNIOR, 2003). Para Tundisi e Tundisi (2008) são os fatores: velocidade da corrente, a competição interespecífica ou intraespecífica e o papel dos predadores herbívoros e requerimentos nutricionais inerentes a cada espécie. Enquanto Camargo et al. (2003) citam a espécie e o tipo ecológico, competição intra e interespecífica e das características abióticas: temperatura, radiação, transparência da água, nível da água e velocidade de corrente, tipo de substrato e concentração de nutrientes.

Alguns estudos apontam a complexidade desses fatores que influenciam a produtividade dessas hidrófitas: Henry-Silva et al. (2008) verificaram que o crescimento da *S. molesta* não foi responsivo em diferentes concentrações de nutrientes; Moura Júnior et al. (2019) constataram que em resposta a redução da temperatura da água e dos teores de nutrientes na água de cultivo de *P. stratiotes*, *S. auriculata* e *E. crassipes*, as plantas reduzem produtividade de biomassa. Segundo Medeiros et al. (2016) a produtividade da *Salvinia auriculata* é dependente da disponibilidade de nitrogênio e fósforo na água, e nos tecidos vegetais para serem mobilizados em situação de baixa disponibilidade desses elementos. Hernares et at. (2014) não encontraram diferença nos teores de

nitrogênio e de fósforo nos tecidos de *E. crassipes* e *S. molesta* em função dos teores desses elementos fornecidos em solução.

Estudos registraram a produção (MG MS ha⁻¹ de lâmina de água ao ano) de algumas dessas macrófitas em variadas condições de cultivo: *P. stratiotes* de 2,43 e 4,4 (HENRY-SILVA e CAMARGO, 2006_b; MARTINS et al., 2003); *E. crassipes* de 3 a 10 (MARTINS et al., 2003; HENRY-SILVA e CAMARGO, 2006_b; GENTELINI et al., 2008; HENRY-SILVA et al., 2008; HENARES e CAMARGO, 2014); *S. molesta* entre 1,6 a 10,1 (HENRY-SILVA e CAMARGO, 2006_b; HENRY-SILVA e HENRY-SILVA et al., 2008; PISTORI et al., 2010; HENARES e CAMARGO, 2014); *S. auriculada* de 1,39 (MARTINS et al., 2003); *S. intermedia* de 8 e 13 (BASÍLICO et al. 2013; SILVA et al., 2014).

Brouwer et al. (2018), afirma que maior produtividade pode ser alcançada através do manejo sistemático da cultura, esses autores registraram produção de 32,4 MG de MS por Ha de lâmina de água ao ano de *A. Filiculoides* manejada sob colheita a cada 3 dias, com manutenção de 77% de biomassa residual.

1.5 INCLUSÃO NA ALIMENTAÇÃO ANIMAL

É necessário explorar o uso da biomassa das macrófitas aquáticas, segundo Xião et al. (2009) seu uso pode converter esse resíduo em ganhos comerciais para o produtor. Sabe-se que esse material é rico em energia e nutrientes (SULLIVANA et al., 2010).

Com a análise da composição bromatológica é possível indicar os prováveis usos dessa biomassa (HENRY-SILVA e CAMARGO, 2002). A composição bromatológica (Tabela 1.1) de algumas espécies colabora com o potencial de aproveitamento dessa biomassa em incluí-las na alimentação animal. Observa-se que apesar de possuírem baixo teor de matéria seca (<20%), elas possuem altos teores de FDN, e baixo teor de lignina, desconsiderada por muitos autores, que pode ser atrativo para a produção de ruminantes, ou mesmo espécies de peixes com hábitos alimentares onívoros ou herbívoros, os quais apresentam elevada tolerância a fibra ou aproveitamento dela.

Tabela 1.1: Composição bromatológica (% MS) de plantas aquáticas flutuantes livres

	PB	EE	FDN	FDA	MM	Autores
<i>P. stratiotes</i>	8,80	4,40	59,9	12,4	-	1
	15,0	4,44	56,9	-	18,95	2
	29,0	-	12,4	-	-	5
<i>E. crassipes</i>	7,20	4,70	73,4	14,5	-	1
	12,5	4,73	53,5	-	17,09	2
	17,4	-	50,3	31,9	-	3
<i>S. molesta</i>	8,70	3,80	68,2	13,2	-	1
	16,9	-	62,9	-	-	4
<i>A. filiculoides</i>	31,7	-	62,0	-	-	4
<i>A. pinnata</i>	20,4	-	-	-	-	6

Onde: PB: Proteína Bruta; EB: Energia Bruta; EE: Extrato etéreo; FDN: Fibra em detergente neutro; FDA: Fibra em detergente ácido; MM: Material mineral; (1) Henry-Silva e Camargo,2002; (2) Henry-Silva e camargo,2006 *; (3) Tham e Udem,2013; (4) Laterme et al.,2009.(5) Owamaha et al.,2014; (6) Chaux et al., 2013

Alguns fatores podem influenciar na composição bromatológica e nos estoques de macronutrientes (Tabela 1.2), pode-se citar, a idade da planta e/ou regime de colheita, para Laterme et al. (2010) a idade da planta altera a densidade de nutrientes na biomassa. Por isso é preciso cautela ao incluir macrófitas na alimentação animal. Já foram até identificados fatores limitantes e/ou limite de inclusão, e componentes antinutricionais em algumas dessas plantas.

Tabela 1.2: Teores de macroelementos (% MS) de plantas aquáticas flutuantes livres

	Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio	Autores
<i>P. stratiotes</i>	-	0,37	-	-	-	1
	18,09	0,35	0,31	0,45	0,22	3
	24,00	0,38	-	0,11	0,22	2
	4,56	2,46	-	-	-	8
<i>E. crassipes</i>	-	0,24	-	-	-	1
	-	0,26	-	0,15	0,39	2
<i>S. molesta</i>	-	0,26	-	-	-	1
	11,30	0,23	-	-	-	3
	12,90	0,65	0,39	0,11	0,53	4
	13,20	-	-	-	-	5
	17,40	-	-	-	-	6
<i>S. auriculata</i>	-	0,41	0,22	0,92	0,25	3
<i>A. filiculoides</i>	-	0,43	0,25	0,11	0,65	4
	25,7	0,50	-	-	-	7

Onde: N: Nitrogênio; P: Fósforo; K: Potássio; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; (1) Henry-Silva e Camargo, 2002; (2) Henry-Silva e Camargo, 2006; (3) Martins et al., 2003; (4) Laterme et al., 2009; (5) Laterme et al., 2010; (6) Tham e Udem, 2013; (7) Trindade et al., 2012; (8); Owamaha et al., 2014;

Estudo realizado por Laterme et al. (2009) apontaram que a idade da *Salvinia molesta* afeta negativamente a densidade energética e proteica na biomassa da planta, e que isso pode ser um fator limitante para a sua inclusão na alimentação de não ruminantes. Brouwer et al. (2018) registraram elevados teores de polifenóis na biomassa da *Azolla pinnata*, como sendo um fator limitante para inclusão dessa planta na alimentação animal. Cruz-Velásquez et al. (2014c) verificaram queda no desempenho da Tilápia e pirapitinga em policultivo, após 60 dias de consumo de ração contendo 15% de *A. filiculoides*.

Também foram identificadas formas de melhorar o valor nutricional dessas macrófitas, El-Sayed (2003) testou a inclusão de *P. stratiotes* fermentada na alimentação de juvenis de tilápias em substituição ao farelo de trigo ao nível de 20%, resultou em melhor desempenho animal do que a inclusão do aguapé apenas desidratado.

Em estudo de Cruz-Velásquez et al. (2014_a) verificaram aumento na digestibilidade dos nutrientes da *Spirodela polyrhiza* fermentada na alimentação da pirapitinga (*Piaractus brachypomus*). Os autores testaram níveis de inclusão de 15 e 25% *A. filiculoides* fermentada na alimentação da pirapitinga (*Piaractus brachypomus*) e registraram melhor desempenho, ganho de peso e eficiência alimentar no menor nível de inclusão testado (CRUZ-VELÁSQUEZ et al., 2014_b).

Estudos identificaram limites de inclusão, a exemplo de Laterme et al. (2009a) verificaram que a inclusão de até 15% de farinha de *A. filiculoides* na alimentação de suínos em crescimento não interfere no desempenho animal. Em estudo semelhante (LATERME et al., 2010), os autores registraram que esse mesmo nível não afetou o desenvolvimento de porcas marrãs. E quantificaram a energia digestível da *A. filiculoides* de 10,76 MJ e para a *S. molesta* de 6,68 MJ para suínos (Laterme et al., 2009b).

Alalade e Iyayi (2006) testaram a inclusão de até 15% farinha de *A. pinnata* na alimentação de aves de postura na fase inicial de crescimento, e verificou que a inclusão de até 10% não afeta o desempenho das aves. Abdel-Tawwab (2008) verificou que pode ser incluído um nível maior, até 25% de farinha de *A. pinnata* sem afetar o desempenho de tilápias. Datta (2011) testou 15, 25 e 35 % de *azolla pinnata* desidratada na alimentação do peixe *Labeo rohita*, e verificou que a inclusão do nível de 25% da farinha rendeu melhor desempenho, ganho de peso, e ainda reduziu o teor de gordura no peixe.

1.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dentre as macrófitas aquáticas flutuantes livres identificou-se oito espécies com potencial para tratamento de efluente de aquicultura a saber: *Pistia stratiotes*, *Eichornia Crassipes*, *Salvinia molesta*, *Salvinia auriculada*, *Salvinia natans*, *Azolla pinnata*, *Azolla filiculoides* e *Spirodela intermedia*. Em águas eutrofizadas, essas macrófitas apresentam alta produtividade, podendo dobrar a sua biomassa em três ou seis dias, sugerindo alta eficiência de remoção de nitrogênio e fósforo da água, maior do que em sistemas que não utilizam plantas. Apesar de apresentarem baixos teores de matéria seca, elas possuem altos teores de fibra em detergente neutro, proteína e fósforo na matéria seca, o que indica o potencial de se incluí-las na alimentação animal. Estudos apontam para a inclusão de níveis de 15% e até 25% de algumas dessas plantas, e que, a fermentação aumenta a sua digestibilidade.

REFERÊNCIAS

- ALALADE, O. A.; IYAYI, E. A. Chemical composition and the feeding value of *Azolla* (*Azolla pinnata*) meal for egg-type chicks. **International Journal of Poultry Science**, vol. 5, n. 2, pág.137-141, 2006.
- ABDEL-TAWWAB, M. The preference of the omnivorous–macrophagous, *Tilapia zillii* (Gervais), to consume a natural free-floating Fern, *Azolla pinnata*. **Journal of the World Aquaculture Society**. vol. 39, n. 1, pág. 104–112, 2008, DOI:10.1111 / j.1749-7345.2007.00131.x
- AKINBILE, C. O.; YUSOFF, M. S. Assessing water hyacinth (*Eichhornia crassopes*) and lettuce (*Pistia stratiotes*) effectiveness in aquaculture wastewater. **International Journal of Phytoremediation**, vol.14, n.3, pág. 201-211, 2012, DOI: 10.1080/15226514.2011.587482
- ASSUNÇÃO, A. W. A.; GATTI JÚNIOR, P.; ALMEIDA, R.V.; GASPAROTTO, Y.; AMARAL, L. A. Use of aquatic plants of three different ecological types for *Escherichia coli* removal from pacu breeding effluents. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, vol.22, n.4, pág. 657 – 663, 2017, DOI: 10.1590/S1413-41522017144278
- BISSEGGER. S.; RODRIGUEZ, M.; BRISSON, J.; WEBER, K. P. Catabolic profiles of microbial communities in relation to plant identity and diversity in free-floating plant treatment wetland mesocosms. **Ecological Engineering**, vol. 67, n.1, pág. 190-197, 2014, DOI:10.1016/j.ecoleng.2014.03.063
- BASÍLICO, G.; CABO, L.; FAGGI, A. Impacts of composite wastewater on a Pampean stream (Argentina) and phytoremediation alternative with *Spirodela intermedia* Koch (Lemnaceae) growing in batch reactors. **Journal of Environmental Management**, vol. 115, pág. 53-59, 2013, DOI: 10.1016/j.jenvman.2012.11.028

BIANCHINI JÚNIOR, I. Modelos de crescimento e decomposição de macrófitas aquáticas. IN: THOMAS, S.M.; BINI, L. M. Ecologia e Manejo de Macrófitas Aquáticas. **Editora da Universidade Estadual de Maringá**, vol. 1, ed. 2, pág. 86 – 127, 2003.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução 357. **Diário Oficial da União**, Brasília, n.53, pág. 58-63, 18 de março, 2005.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução 430. **Diário Oficial da União**, Brasília, n.92, pág.89, 16 de maio, 2011.

BROUWER, P.; SCHLUEPMANN, H.; NIEROP, A. K. G. J.; ELDERSON, J.; BIJL, P. K.; MEER, I. V. D.; VISSER, W. REICHAART, F. J.; SMEEKENSA, S. WERFC, A. V. Growing *Azolla* to produce sustainable protein feed: the effect of differing species and CO² concentrations on biomass productivity and chemical composition. **Jornal of the Science of Food and Agriculture**, vol. 98, n. 12, pág. 4759 – 4768, 2018. DOI:10.1002/jsfa.9016

CAMARGO, A. F. M.; PEZZATO, M. M.; HENRY-SILVA, G. G. Fatores limitantes à produção primária de macrófitas aquáticas. IN: THOMAS, S.M.; BINI, L. M. Ecologia e Manejo de Macrófitas Aquáticas. **Editora da Universidade Estadual de Maringá**, vol. 1, ed. 2, pág 59 – 85, 2003.

COZAD, A.; DIAZ, R.; MUDGE, C. Phenotypic plasticity in the cold tolerance of three populations of the salvinia weevil (*Cyrtobagous salviniae*) from Louisiana, USA. **Biocontrol Science and Technology**. vol. 29, n. 9, pág. 912–916, 2019, DOI:10.1080/09583157.2019.1608512

CHAUX G. F.; CAICEDO, J. R. B.; FERNANDEZ, J. E M. Treatment of fish farm effluents (red tilapia) in ponds with *Azolla pinnata*. **Bioteecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial**, vol.11, n. 2, pág.46-56, 2013

CRUZ-VELÁSQUEZ, Y.; KIJORA, C.; VÁSQUEZ-TORRES, W.; SCHULZ, C. Digestibility coefficients of sun dried and fermented aquatic macrophytes for Cachama blanca, *Piaractus brachypomus* (Cuvier, 1818). **Orinoquia**, vol.18, n.1, pág.220-228, 2014a.

CRUZ-VELÁSQUEZ, Y.; KIJORA, C.; AGUDELO-MARTÍNEZ, V.; SCHULZ, C. Inclusion of fermented aquatic plants as feed resource for Cachama blanca, *Piaractus brachypomus*, fed low-fish meal diets. **Orinoquia**, vol.18, n.1, pág. 229-236, 2014b.

CRUZ-VELÁSQUEZ, Y.; KIJORA, C.; VERGARA-HERNÁNDEZ, W.; SCHULZ, C. On-farm evaluation of Cachama blanca and Nile tilapia fed fermented aquatic plants in a polyculture. **Orinoquia**, vol.18, n.1, pág.269-277, 2014c.

DOMINGUES, F. D.; STARLING, F. L. R. M.; NOVA, C.C.; LOUREIRO, B. R.; SOUZA, L. C.; BRANCO, C. W. C. The control of floating macrophytes by grass carp in net cages: experiments in two tropical hydroelectric reservoirs. **Aquaculture Research**. vol. 48, n.7, pág. 3356-3368, 2017, DOI: 10.1111/are.13163

DATTA, S. N. Culture of Azolla and its efficacy in diet of *Labeo rohita* **Aquaculture**. vol. 310, n.4, pág. 376-379, 2011, DOI: 10.1016/j.aquaculture.2010.11.008

DEMARCHI, L. O.; LOPES, A.; FERREIRA, A. B.; PIEDADE, M. T. F. Ecologia e guia de identificação: Macrófitas aquáticas no lago Amazônico. **Editora: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia**, vol. 1, n. 1, pág. 17 - 21, 2018.

EL-SAYED, A. F. M. Effects of fermentation methods on the nutritive value of water hyacinth for Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) fingerlings. **Aquaculture**. vol. 218, n. 4, pág. 471-478, 2003, DOI:10.1016/S0044-8486(02)00252-1

FRANCOVÁ, K.; SUMBEROVA, K.; JANAUER, G.; ADAMEK, Z.. Effects of fish farming on macrophytes in temperate carp ponds. **Aquaculture International**, vol.27, n. 2, pág. 413-436, 2019, DOI:10.1007/s10499-018-0331-6

GENTELINI, A. L.; GOMES, S. D.; FEIDEN, A.; ZENATTI, D.; SAMPAIO, S. C.;

COLDEBELLA, A. Biomass production of the aquatic macrophytes *Eichhornia crassipes* (water hyacinth) and *Egeria densa* (egeria) in organic fish farm effluent treatment system. **Semina: Ciências Agrárias**, vol. 29, n. 2, pág. 441-448, 2008 DOI: 10.5433/1679-0359.2008v29n2p441

GUMBRICHT, T. Nutrient removal processes in freshwater submersed macrophyte systems. **Ecological Engineering**, vol.2, n.1, pág.1-30, 1993, DOI:10.1016/0925-8574(93)90024-A

GURAGAIN, Y. N.; CONINCK, J.; HUSSON, F.; DURAND, A.; RAKSHIT, S. K. Comparison of some new pretreatment methods for second generation bioethanol production from wheat straw and water hyacinth. **Tecnologia Bioresource**. vol.102, n.6, pág. 4416-4424, 2011, DOI: 10.1016/j.biortech.2010.11.125

HALLIN, S.; HELLMAN, M.; CHOUDHURY, M. I.; ECKE F. Relative importance of plant uptake and plant associated denitrification for removal of nitrogen from mine drainage in sub-arctic wetlands. **Water Research**, vol. 85, n.15, pág.377-383, 2015, DOI: 10.1016/j.watres.2015.08.060

HENARES, M. N. P.; CRUZ, C.; GOMES, G. R.; PITELLI, R. A.; MACHADO, M. R. F. Toxicidade aguda e efeitos histopatológicos do herbicida diquat na branquia e no fígado da tilápia nilótica (*Oreochromis niloticus niloticus*) **Acta Scientiarum Biological Sciences**. vol.30, nº1, pág.77-82, 2008, DOI:10.4025/actascibiolsci.v30i1.1462

HENARES, M. N. P.; CAMARGO, A. F. M. Estimating nitrogen and phosphorus saturation point for *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms and *Salvinia molesta* Mitchell in mesocosms used to treating aquaculture effluent. **Acta Limnologica Brasiliensia**, vol. 26, n. 4, pág. 420-428, 2014, DOI:10.1590/S2179-975X2014000400009

HENARES, M. N. P.; CAMARGO, A. F. M. Treatment efficiency of effluent prawn culture by wetland with floating aquatic macrophytes arranged in series. **Brazilian Journal of Biology**, vol. 74, n. 4, pág. 906-912. 2014, DOI: 10.1590/1519-6984.10413

HENRY-SILVA, G. G.; CAMARGO, A. F. M. Nutritive value of free-floating aquatic macrophytes (*Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes* and *Salvinia molesta*), used in aquaculture waste treatment.

Acta Scientiarum Biological Sciences, vol.24, n.2, pág.519-526, 2002,

DOI:10.4025/actascibiolsci.v24i0.2353

HENRY-SILVA, G.G.; CAMARGO, A.F.M. Chemical composition of floating aquatic macrophytes used to treat of aquaculture wastewater. **Planta Daninha**, vol; 24, n. 1, pág. 21-28, 2006a, DOI:10.1590/S0100-83582006000100003.

HENRY-SILVA, G. G.; CAMARGO, A. F. M. Efficiency of aquatic macrophytes to treat Nile tilapia pond effluents. **Scientia Agrícola**, vol.63, n.5, pág.433-438, 2006b, DOI:10.1590/S0103-90162006000500003

HENRY-SILVA, G. G.; CAMARGO, A. F. M.; PEZZATO, M. M. Crescimento de macrófitas aquáticas flutuantes em diferentes concentrações de nutrientes. **Hydrobiologia**, vol. 610, n. 153, 2008, DOI: 10.1007/s10750-008-9430-0

HUSSAIN, N.; ABBASI, T.; ABBAS ABBASI, S. Generation of highly potent organic fertilizer from pernicious aquatic weed *Salvinia molesta*. **Environmental Science and Pollution Research**, vol.25, n.5, pág.4989–5002, 2018, DOI:10.1007/s11356-017-0826-0

LAKRA, K. C.; LAL, B; BANERJEE, T. K. Decontamination of coal mine effluent generated at the Rajrappa coal mine using phytoremediation technology. **International Journal of Phytoremediation**, vol.19, n. 6, pág.530-536, 2017, DOI:10.1080/15226514.2016.1267698

LATERME, P.; LONDONO, A. M.; ORDONEZ, D. C.; ROSALES A.; ESTRADA, E.; BINDELLE, J.; BULGEN A. Nutritional value and intake of aquatic ferns (*Azolla filiculoides* Lam. and *Salvinia molesta* Mitchell.) in sows. **Animal Feed Science and Technology**, vol. 155, n. 1, pág. 55 a 64, 2010, DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2009.10.002

LATERME, P.; LONDONO, M.; MUNOZ J. E.; SUAREZ, J.; BEDOYA, C. A.; SOUFFRANT, W. S.; BULDGEN, A. Nutritional value of aquatic ferns (*Azolla filiculoides* and *Salvinia molesta*) in pigs. **Animal Feed Science and Technology**, vol. 149, n. 1, pág. 135-148, Mar. 2009, DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2008.04.013

LEE, J. H. An overview of phytoremediation as a potentially promising technology for environmental pollution control. **Biotechnology and Bioprocess Engineering**. vol.18, n.3, pág. 431–439, 2013, DOI: 10.1007/s12257-013-0193-8

LU, Q.; HE, Z. L.; GRAETZ, D. A.; STOFFELLA, P. J.; YANG, X. Phytoremediation to remove nutrients and improve eutrophic stormwaters using water lettuce (*Pistia stratiotes* L.). **Environmental Science and Pollution Research**. vol.17, n.1 pág.84-96, 2010, DOI: 10.1007/s11356-008-0094-0

MACEDO, C. F.; SIMPAÚBA-TAVARES, L. H. Eutrofização e qualidade da água na piscicultura: Consequências e recomendações. **Boletim Instituto de Pesca**, vol.36, n.2, pág.149-163, 2010.

MARTINS, D.; COSTA, N.V.; TERRA, M.A.; MARCHI, S.R.; VELINI, E.D. Chemical characterization of aquatic plants assessed in Salto Grande reservoir (Americana-SP, Brazil). **Planta Daninha**, vol.21, pág. 21-25, 2003, DOI: 10.1590/S0100-83582003000400004

MATOS, A. T.; MATOS M. P. Disposição de águas residuárias no solo e em sistemas alagados construídos. **Editora UFV**, Universidade Federal de Viçosa, MG, vol. 1, ed.1, pág 292 – 349, 2017.

MEDEIROS, J. C. C.; COELHO, F. F.; TEIXEIRA, E. Biomass allocation and nutrients balance related to the concentration of Nitrogen and Phosphorus in *Salvinia auriculata* (*Salviniaceae*). **Brazilian Journal of Biology**, vol.76, n.2, pág. 461-468, 2016, DOI: 10.1590/1519-6984.21114

MIRANDA, C. V.; SCHWARTSBURD, P. B. Aquatic ferns from Viçosa (MG, Brazil): *Savinialesl* (Filicopsida; Tracheophyta) **Revista Brasileira de Botânica**, Vol. 39, N. 3, pág 935–942, 2016.

DOI 10.1007/s40415-016-0284-9

MISHIMA, D.; KUNIKI, M.; SEI, K.; SODA, S.; IKE, M.; FUJITA, M. Ethanol production from candidate energy crops: water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and water lettuce (*Pistia stratiotes* L.). **Bioresource Technology**, vol. 99, n. 7, pág 2495 – 2500, 2008, DOI:10.1007/s11356-017-

0826-0

MOURA JÚNIOR, E. G.; POTT, A.; SEVERIC, W.; ZICKELD, C. S. Response of aquatic macrophyte biomass to limnological changes under water level fluctuation in tropical reservoirs.

Brazilian Journal of Biology, vol.79, n.1, pág 120 - 126, 2019, DOI: 10.1590/1519-6984.179656

MUKHERJEE, B.; MAJUMDAR, M.; GANGOPADHYAY, A.; CHAKRABORTY, S.;

CHATERJEE, D. Phytoremediation of parboiled rice mill wastewater using water lettuce (*Pistia stratiotes*). **International journal of phytoremediation**, vol. 17, n.7, pág. 651-656, 2015, DOI:

10.1080/15226514.2014.950415

MUTHUKUMAR, T.; PRABHA, K. Arbuscular mycorrhizal and septate endophyte fungal associations in lycophytes and ferns of south India. **Symbiosis**, vol.59, n.1, pág.15-33, 2013, DOI:

10.1007/s13199-012-0185-z

NACA/FAO. Desenvolvimento da Aquicultura para além de 2000: A Declaração de Bangucoque e Estratégia. **Conferência sobre aquicultura no Terceiro Milênio**, 20 a 25 de fevereiro de 2000,

Bangucoque, Tailândia.

NAJAR, I. A.; KHAN, A. B. Management of fresh water weeds (macrophytes) by vermicomposting using *Eisenia fetida*. **Environmental Science and Pollution Research**, vol.20, n.9, pág. 6406-

6417, 2013, DOI: 10.1007/s11356-013-1687-9

NG, Y. S.; CHAN, D. J. C. Phytoremediation Capabilities of *Spirodela polyrhiza*, *Salvinia molesta* and *Lemna sp.* In Synthetic Wastewater: A Comparative Study. **International Journal of Phytoremediation**, 2017a, DOI: 10.1080/15226514.2017.1375895

NG, Y. S.; CHAN, D. J. C. Wastewater phytoremediation by *Salvinia molesta*. **Journal of Water Process Engineering**, vol.15, pág.107-115, 2017b, DOI: 10.1016/j.jwpe.2016.08.006

OWAMAHA, H. I.; ENABOIFO, M. A.; IZINYONC. O. C. Treatment of wastewater from raw rubber processing industry using water lettuce macrophyte pond and the reuse of its effluent as biofertilizer. **Agricultural Water Management**, vol. 146, pág. 262-269, 2014, DOI:10.1016/j.agwat.2014.08.015

OSTI, J. A. S.; HENARES, M. N. P.; CAMARGO, A. F. M. The efficiency of free-floating and emergent aquatic macrophytes in constructed wetlands for the treatment of a fishpond effluent. **Aquaculture Research**. Vol. 49, n.10, pág 3468-3476, 2018, DOI:10.1111/are.13813

PÍPALOVÁ, I. Grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) grazing on duckweed (*Spirodela polyrhiza*). **Aquaculture International**. Vol. 11, pág. 325–336, 2003, DOI: 10.1023/A:1025703227216

PALMA, S. C.; ALBERTONI, E. F.; TRINDADE, C. R. T.; FURLANETTO, L. M.; ACOSTA, M. C. Uso de *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms para fitorremediação de ambientes eutrofizados subtropicais no sul do Brasil. **Perspectiva**, vol.36, n.133, pág.73-81, 2012.

PEREIRA, A.; BESSA, L.; LEÃO, P.; VASCONCELOS, V.; COSTA, P. M. Bioactivity of *Azolla* aqueous and organic extracts against bacteria and fungi. **Symbiosis**, vol.65, n.1, pág.17-21, 2015, DOI: 10.1007/s13199-015-0316-4

PIE DADE, M.T.F.; JUNK, W.J.; D'ANGELO, S.A.; WITTMANN, F.; SCHONGART, J.; BARBOSA, K.M.N.; LOPES. A. Aquatic herbaceous plants of the Amazon floodplains: state of

the art and research needed. **Acta Limnologica Brasiliensia**, vol. 22, n. 2, pág. 165-178. 2010, DOI: 10.4322/actalb.02202006

PIEIDADE, M. T. F.; LOPES, A.; DEMARCHI, L.O.; JUNK, W.; WITTMANN, F.; SCHONGART, J.; CRUZ, J. Guia de campo de macrófitas aquáticas da várzea amazônica. **Editora do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia**, edição n.1, vol. 1, pág 196 – 227, Manaus 2018.

PISTORI, R. E. T.; HENRY-SILVA, G. G.; BIUDES, J. F. V.; CAMARGO, A. F. M. Influence of aquaculture effluents on the growth of *Salvinia molesta*. **Acta Limnologica Brasiliensia**, vol. 22, n. 2, pág.179-186, 2010, DOI:10.4322/actalb.02202007

POMPEO, M. Monitoramento e manejo de macrófitas aquáticas em reservatórios tropicais brasileiros. **Instituto de Biociências da USP**, vol. 1, ed.1, pág 70 -83, 2017, DOI:10.11606/9788585658670

POTT, V. J. POTT, A. Potencial de uso de plantas aquáticas na despoluição da água. **Embrapa Gado de Corte**, vol. 133, ed. 21, pág. 7 – 25, 2002. Disponível em: www.infoteca.cnptia.embrapa.br

SILVA, M. S. G. M.; LOSEKANN, M. E.; HISANO, H. Aquicultura: manejo e aproveitamento de efluentes. **Embrapa Meio Ambiente**, vol. 95. n. 1, pág 6 – 38, 2013. Disponível em: www.infoteca.cnptia.embrapa.br

SILVA, A. F.; CRUZ, C.; PITELLI, R. L. C. M.; PITELLI, R. A. Utilização da carpa-capim (*Ctenopharyngodon idella*) como agente de controle biológico de macrófitas aquáticas submersas. **Planta daninha**. vol.32, n.4, pág.765-773, 2014, DOI:10.1590/S0100-83582014000400011

RAZAVIPOUR, T.; MOGHADDAM, S. S.; DOAEI, S.; NOORHOSSEINI, S. A.; DAMALAS, C. A. *Azolla* (*Azolla filiculoides*) compost improves grain yield of rice (*Oryza sativa* L.) under

different irrigation regimes. **Agricultural Water Management**, vol. 209, pág. 1-10, 2018,

DOI:10.1016/j.agwat.2018.05.020

SIMPAÚBA-TAVARES, L.H.; DIAS, S.G. Water quality and communities associated with macrophytes in a shallow water-supply reservoir on an aquaculture farm. **Brazilian Journal of Biology**, vol.74, n.2, pág.420-429. 2014DOI: 10.1590/1519-6984.27212.

SILVA, A. F.; CRUZ, C.; PITELLI, R. L. C. M.; PITELLI, R. A. Utilização da carpa-capim (*Ctenopharyngodon idella*) como agente de controle biológico de macrófitas aquáticas submersas.

Planta daninha. vol.32, n.4, pág.765-773, 2014, DOI:10.1590/S0100-83582014000400011

SONG, H. L.; LI, X. N.; LU, X. W.; INAMORI, Y. Investigation of microcystin removal from eutrophic surface water by aquatic vegetable bed. **Ecological Engineering**. vol.35, n.11, pág.1589-1598, 2009, DOI: 10.1016/j.ecoleng.2008.04.005

SULLIVANA, C. O.; ROUNSEFELLA, B.; GRINHAM, A., KLARKE, W.; UDY, J. Anaerobic digestion of harvested aquatic weeds: water hyacinth (*Eichhornia crassipes*), cabomba (*Cabomba Caroliniana*) and salvinia (*Salvinia molesta*). **Ecological Engineering**, vol. 36, n. 10, 2010, pág. 1459-1468, 2010, DOI: 10.1016/j.ecoleng.2010.06.027

THAM, H. T.; UDEN, P. Effect of Water Hyacinth (*Eichhornia Crassipes*) Silage on Intake and Nutrient Digestibility in Cattle Fed Rice Straw and Cottonseed Cake. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, vol.26, n.5, pág. 646-653, 2013, DOI:10.5713/ajas.2012.12498

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. Limnologia. **Editora Oficina de Textos**, vol. 1, Ed. 2, pág 198 a 206, 2008.

TRINDADE, C. R.; ALBERTONI, E. F.; PALMA-SILVA, C. Temporal variation in the biomass and nutrient status of *Azolla filiculoides* Lam. (*Salviniaceae*) in a small shallow dystrophic lake.

Acta Limnologica Brasiliensia, vol.23, n.4, pág.368-375, 2012, DOI:10.1590/S2179-975X2012005000015

VICTOR, K.K.; SEKA, Y.; NORBERT, K. K.; SANOGO, T. A.; CELESTIN, A. B.

Phytoremediation of wastewater toxicity using water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and water lettuce (*Pistia stratiotes*). **International Journal of Phytoremediation**, vol.18, n.10, pág.949-955, 2016, DOI:10.1080/15226514.2016.1183567

WANG, T.; HU, J.; LIU, C.; YU, D. Soil type can determine invasion success of *Eichhornia crassipes*. **Hidrobiologia**, vol. 788, n.1, pág. 281-291, 2017, DOI:10.1007/s10750-016-3003-4

XIAO, L.; YANG, L.; ZHANG, B; GU, Y.; JIANG, L; QIN, B. Solid state fermentation of aquatic macrophytes for crude protein extraction. **Ecological Engineering**. vol.35, n.11, pág.1668-1676, 2009, DOI:10.1016/j.ecoleng.2008.08.004

CAPÍTULO II

PRODUÇÃO E COMPOSIÇÃO DE PLANTAS AQUÁTICAS FLUTUANTES LIVRES DE INTERESSE PARA A PISCICULTURA

RESUMO: Objetivou-se caracterizar quanto a produção e composição bromatológica de oito espécies de macrófitas aquáticas flutuantes de interesse para tratamento de efluente de piscicultura. O estudo foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com oito tratamentos (*Pistia stratiotes*, *Eichornia crassipes*, *Salvinia molesta*, *Salvinia auriculata*, *Salvinia natans*, *Azolla pinnata*, *Azolla filiculoides* e *Spirodela intermedia*), com quatro repetições. As plantas foram cultivadas em tanques de decantação de sólidos de efluente de tilápias, única fonte de nutrientes. As plantas foram colhidas a cada três dias, manteve-se a biomassa residual vegetal de 50% de estande. As amostras coletadas durante o mês compuseram uma amostra. Quantificou-se a produção de massa seca vegetal, composição bromatológica, teores de macronutrientes e a extração dos mesmos pelas plantas. As plantas apresentaram elevada produtividade de massa seca com média de 4,25 MG ha⁻¹ de lâmina de água ao ano, registrou-se elevados teores de fósforo, com média de 2,1 g kg⁻¹ MS, e também bioextração desse elemento de 98,4 kg ha⁻¹ de lâmina de água ao ano. As macrófitas apresentaram elevada produtividade, em intervalo de colheita curto, e extração de macronutrientes. Também obtiveram composição bromatológica atraente para a inclusão na alimentação animal. Pode-se concluir que dentre essas espécies a *P. stratiotes* é a mais eficiente na remoção de macronutrientes do efluente de tilápias.

Palavras Chaves: Bioacumuladores, bromatológico, eutrofização, estoque de nutrientes, fitoremediação

ABSTRAT: The objective of this study was to characterize the production and chemical composition of eight floating aquatic herbaceous species of interest for the treatment of fish farming effluent. The study was conducted in a completely randomized design with eight treatments (*Pistia stratiotes*, *Eichornia crassipes*, *Salvinia molesta*, *Salvinia auriculata*, *Salvinia natans*, *Azolla pinnata*, *Azolla filiculoides* e *Spirodela intermedia*), with four repetitions. The plants were grown in decanting tanks of tilapia effluent solids, the only source of nutrients. The plants were harvested every three days, the residual vegetable biomass of 50% of the stand was maintained. The samples collected during the month comprised a composite. The production of dry vegetable mass, chemical composition, macronutrient contents and their extraction by plants were quantified. The high plants, high dry mass productivity with an average of 4.25 MG ha⁻¹ of water depth per year, registered high levels of phosphorus, with an average of 2.1 g kg⁻¹ DM, and also bioextraction of this element of 98.4 kg ha⁻¹ of water per year Herbs showed high productivity, in a short harvest interval, and macronutrient extraction. They also obtained attractive chemical composition for inclusion in animal feed. It can be concluded that among these species, *P. stratiotes* is the most efficient in removing macronutrients from tilapia effluent

Keywords: Bioaccumulators, bromatological, eutrophication, nutrient stock, phytoremediation

2.1 INTRODUÇÃO

A aquicultura, como nos demais setores da produção animal que utiliza-se dos recursos hídricos, está sujeita as normativas ambientais vigentes, como a do Conselho Nacional do Meio Ambiente, que determina que o efluente de aquicultura deve ser tratado antes de ser devolvido ao meio ambiente (Normativa CONAMA 357/2005) e ainda seguir padrões de qualidade da água (Normativa CONAMA 430/2011).

O efluente de piscicultura é rico em nutrientes e quando lançado nos corpos hídricos causa o enriquecimento artificial da água (PISTORI et al., 2010), eutrofização, cujo o indicador é o fósforo $> 0,03 \text{ mg L}^{-1}$. O tratamento mais utilizado para esse efluente é o uso de tanques de decantação de sólidos, onde a matéria orgânica retida é decomposta e libera nutrientes dissolvidos, em maior parte, nitrogênio e fósforo.

Parte do nitrogênio é perdido via volatilização e parte do fósforo é perdido via lixiviação para o solo. Nesse sentido, o padrão de qualidade exigido pelo CONAMA 357 mais difícil de atender é o nível de fósforo ($P < 0,03$ ou $0,05 \text{ mg L}^{-1}$ a depender do corpo hídrico receptor). Para contornar isso, utiliza-se plantas com potencial biorremediador para captura, sequestro de nutrientes, utilizados pela planta na produção de massa vegetal.

Entre as principais plantas aquáticas utilizadas em tratamentos de efluentes, pode se destacar o uso das macrófitas flutuantes de vida livre como o aguapé (*Eichhornia crassipes*), alface de água (*Pistia stratiotes*) e as *Salvinia sp.*, por apresentar rápida propagação, por isso são consideradas as mais invasoras. Outras alternativas são as *Azolla sp.* que além de apresentarem rápida propagação também possuem altos teores de nitrogênio na matéria seca, um indicativo do potencial de aproveitamento que esta apresenta. Enquanto plantas como a lentilha de água (*Spirodela intermedia*), uma espécie menos produtiva e menos invasivas, têm por vantagem o fácil controle em relação as demais.

Ainda são necessários estudos que auxiliem o produtor a escolher qual planta melhor se adequam ao tipo de efluente e clima da região, por isso Pott e Pott (2002) recomendam que se façam testes de adaptação. As informações mais relevantes na escolha é a produtividade, estoque de nutrientes na biomassa vegetal e alternativa de uso.

Sistemas de tratamento de efluente eficiente utilizam-se de pequenas áreas para tratar grande volume de efluente, nesse sentido, quanto maior a produtividade e estoque de nutriente na biomassa, maior a eficiência de remoção pela planta. Quando bem manejadas, apresentam fluxo contínuo de biomassa vegetal a ser removida do sistema, esse subproduto pode ser melhor aproveitado dentro da própria propriedade e gerar ganhos comerciais para o produtor (XIAO et al.,

2009). A composição bromatológica e estoque de nutrientes na biomassa são fatores que podem auxiliar na gestão desse resíduo (HENRY-SILVA e CAMARGO, 2002).

Dentre os usos alternativos pode-se citar a compostagem (NAJAR e KHAN, 2013), produção de biogás (XIAO et al., 2009; SULLIVANA et al., 2020) e inclusão na alimentação animal (ALALADE e IYAYI et al., 2006; LATERME et al., 2009; LATERME et al., 2010; THAM e UDEM, 2013; BROUWER et al., 2018).

Nesse contexto, esse estudo pode auxiliar os produtores na escolha da herbácea aquática que melhor se adéqua as condições da região, ao fornecer informações de produtividade e a composição bromatológica e química pode ainda contribuir para gestão do uso alternativo desse subproduto do tratamento de efluente. Pois acredita-se que as macrófitas podem apresentar elevada produtividade aliado a estoque de nutrientes, principalmente o fósforo, e conter composição bromatológica atraente para inclusão na alimentação animal.

Objetivou-se quantificar a produtividade, composição bromatológica e estoque de macronutrientes de importantes espécies de macrófitas aquáticas flutuantes de interesse para tratamento de efluente de piscicultura.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na Escola de Medicina Veterinária e Zootecnia, da Universidade Federal do Tocantins, campus de Araguaína, Tocantins, Brasil. Utilizou-se delineamento inteiramente casualizado com oito tratamentos (*Pistia stratiotes*, *Eichornia crassipes*, *Salvinia molesta*, *Salvinia auriculata*, *Salvinia natans*, *Azolla pinnata*, *Azolla filiculoides* e *Spirodela intermedia*) com quatro repetições, com medida repetida no tempo, que corresponderam aos ciclos de colheita, com quatro meses de duração.

Para a produção do efluente, utilizou-se um viveiro de 1 m^3 , onde juvenis de tilápia foram estocadas a 4 kg m^{-3} de biomassa, corrigida a cada quinzena, alimentadas *ad libitum*. A taxa de renovação diária do viveiro foi de 80%, removido da camada mais profunda da coluna de água, do volume total. Interligado ao viveiro, foram instalados tambores de 200 L, utilizado na decantação e decomposição de sólidos do viveiro. A taxa de renovação diária adotada foi de 50% do volume, removido da camada superficial da coluna de água, e o tempo de retenção hidráulica foi de 24 horas.

Exemplares comerciais das plantas foram cultivados nesse ambiente de estudo e tiveram o efluente como única fonte de nutrientes, sem adubação e calagem, condicionadas a temperatura e luz ambiente, sem termostatos e aeradores, em área protegida por tela antipássaros. Após um

período de 20 dias de adaptação, as plantas se propagaram e os exemplares comerciais foram removidas do sistema, restando apenas aquelas que foram cultivadas na área experimental.

Coletou-se o material a cada três dias, tempo mínimo necessário para duplicação da área de estande de plantas de seis (das oito) das espécies, e manutenção de 50% de biomassa residual. Considerados área coberta pelas plantas, o índice de colheita de 50% in natura para estandes completos e manutenção 50% de resíduo para plantas que não completassem a ocupação da área de lâmina de água no período de três dias, como a *P. stratiotes* e *E. Crassipes*.

O material colhido durante o mês compôs a amostra do ciclo mensal e foram submetidas a secagem em estufa de 55 °C por 72 horas, para obtenção da massa seca. As mesmas amostras foram moídas e quantificado seu teor de matéria seca definitiva a 105 °C. Determinou-se a composição bromatológica: Proteína Bruta, via Kjeldahl; Energia Bruta, em bomba calorimétrica; Cinzas, em mufla (Silva e Queiroz, 2012); Fibra via detergente neutro e ácido; lignina (VAN SOEST et al.,1991; VAM SOEST, 1973).

Também foram quantificados os teores de macronutrientes (via digestão seca): fósforo em espectrofotômetro; potássio no fotômetro de chamas; cálcio e magnésio por titulação, segundo metodologia da EMBRAPA (2005). Com base nos estoques de macronutrientes e a produtividade das espécies, estimou-se a extração de macronutrientes pelas plantas aquáticas.

Os dados foram submetidos a teste de normalidade homogeneidade das variâncias (shapiro-wilk e levene), atendidos os pré requisitos, conseguinte análise de variância, observado a significância, foram submetidos ao teste de Student-newman-Keuls a 5% de probabilidade do erro tipo I.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período do estudo, monitorou-se a qualidade da água do viveiro de produção de tilápias, os parâmetros se mantiveram dentro da faixa ideal para produção de peixes. A temperatura da água variou de 25,6 a 29,1 °C, potencial hidrogeniônico (pH) de 6,4 a 8,5; oxigênio dissolvido de 4,1 a 5,3 mg L⁻¹ e condutividade elétrica de 0,2 a 0,4 Sm⁻¹, médias para o período matutino e vespertino consecutivamente, e nitrogênio total de 0,3 mg L⁻¹.

As macrófitas diferiram quanto a produtividade e teor de massa seca (Tabela 2.1). As plantas de maior porte *P. stratiotes* e *E. crassipes* apresentaram maior teor de umidade, e mesmo assim foram capazes de serem tão produtivas em massa seca quanto as *Salvínias sp*. O hábito de crescimento dessas plantas, *P. stratiotes* e *E. crassipes*, é mais acentuado no plano vertical, emitem folhas a uma maior altura e sistema radicular mais profundo e adensado, o que lhes tornam mais

competitivas na captação de luz, e nutrientes por explorar maior área e em maior profundidade na coluna de água.

Tabela 2.1: Produção e teores de matéria seca de plantas aquáticas cultivadas em efluente de tilápias.

	Mg MS ha ⁻¹		%	
	Ciclo	Ano	ASA	MSD
<i>Pistia stratiotes</i>	5,10 ^a	61,13 ^a	6,50 ^c	5,92 ^c
<i>Eichornia crassipes</i>	4,70 ^a	56,31 ^a	6,66 ^c	6,40 ^c
<i>Salvinia molesta</i>	4,49 ^a	53,90 ^a	7,40 ^c	6,86 ^c
<i>Salvinia auriculata</i>	4,46 ^a	53,53 ^a	6,94 ^c	6,39 ^c
<i>Salvinia natans</i>	4,45 ^a	53,32 ^a	7,65 ^c	7,11 ^c
<i>Azolla pinnata</i>	4,19 ^{ab}	50,28 ^{ab}	10,45 ^b	9,44 ^b
<i>Azolla filiculoides</i>	3,33 ^b	40,02 ^b	14,29 ^a	13,08 ^a
<i>Spirodela intermedia</i>	3,33 ^b	40,01 ^b	15,21 ^a	13,83 ^a
Médias	4,26	51,06	9,39	8,59
CV%	9,37	9,38	10,26	7,40

Onde: ASA: Amostra seca ao ar; MSD: Matéria seca definitiva a 105 °C; CV%: Coeficiente de variação. Média seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si, segundo teste de SNK, $P = 0,0001$.

A estrutura dessas plantas é constituída, basicamente, por aerênquimas bem desenvolvidos. A *P. stratiotes* possui espaços intracelulares que chegam a ocupar 71% do volume da planta (BIANCHINI JÚNIOR, 2003), isso influencia no movimento de solutos dentro da planta. Enquanto a *E. crassipes* possui o sistema radicular que pode corresponder até 50% da biomassa total da planta (PIEIDADE et al., 2010), isso a favorece não só em área de absorção efetiva, mas também proporciona maior área para atividade microbiana (BISSEGGER et al., 2016), no qual a planta se beneficia.

Segundo Henares e Camargo (2014_b) macrófitas com alta biomassa aérea e radicular podem ser usadas no tratamento de efluente, em áreas menores, pois essas características, principalmente a de raízes, favorecem a formação de área de maior extensão para reter e adsorver matéria orgânica e absorver nutrientes. Os autores verificaram maior absorção/remoção de nitrogênio e fósforo pela comunidade epifítica aderida à superfície radicular de *E. crassipes*.

As *Salvinia sp.* e as demais plantas possuem hábitos de crescimento semelhantes, se propagam mais no plano horizontal. As plantas de menor porte, *A. filiculoides* e *S. intermedia* tiveram menor produção de massa seca por ciclo e ao ano, mesmo tendo maior teor de massa seca na biomassa vegetal (Tabela 2.1).

Os resultados encontrados nesse estudo são maiores do que os registrados na literatura, menor do que 2 MG ha⁻¹ de lâmina de água ao ano, nas mais diversas condições (MARTINS et al., 2003; GENTELINI et al., 2008; HENRY-SILVA et al., 2008; PISTORI et al., 2010; HENARES e Camargo, 2014; BASÍLICO et al., 2013; SILVA et al., 2014).

Dentre os fatores que afetam a produtividade das plantas aquáticas, e que podem contribuir para essa diferença, pode-se citar: O teor de nutrientes na água, temperatura, radiação luminosa,

velocidade de corrente e competição entre plantas (CAMARGO et al., 2003); pH e concentração de fósforo (BIANCHINI JÚNIOR, 2003); os requerimentos nutricionais inerentes de cada espécie e competição intraespecífica (TUNDISI e TUNDISI, 2008), transparência e turbidez da água (CAMARGO et al., 2003).

Dentre os estudos que quantificaram a produção dessas plantas, destaca-se Brouwer et al. (2018), para esses autores, uma maior produtividade pode ser alcançada através do manejo sistemático da cultura, eles registraram produção de 32,4 MG Ha ano de *A. Filiculoides* manejada sob colheita contínua a cada 3 dias, com manutenção de 77% de biomassa residual.

Alguns estudos apontam a complexidade desses fatores que influenciam a produtividade dessas plantas: Henry-Silva et al. (2008) verificaram que a *S. molesta* não foi responsiva a uma ampla faixa de variação na concentração de nutrientes; Em contraste, Moura Júnior et al. (2019) verificaram que a redução da temperatura da água e dos teores de nutrientes afeta a produção de *P. stratiotes*, *S. auriculata* e *E. crassipes*.

Para Medeiros et al. (2016) a produtividade da *S. auriculata* é afetada pela disponibilidade de nutrientes e estoque de nitrogênio e fósforo na biomassa, utilizados como suprimentos de reserva. Enquanto Hernares et al. (2014) verificou que o teor de nitrogênio na água não alterou o seu estoque na biomassa de *E. crassipes*.

A composição bromatológica das macrófitas estudadas mostrou que a *A. pinnata* e *A. filiculoides* obtiveram maior teor de energia e proteína bruta, do que as demais plantas (Tabela 2.2).

Tabela 2.2: Composição bromatológica de plantas aquáticas flutuantes livres, cultivadas em efluente de tilápias.

	% matéria seca					
	EB*	PB	FDN	FDA	Lignina	Cinzas
<i>P. stratiotes</i>	3504,7 ^{cd}	31,10 ^{abc}	23,16 ^b	9,98 ^b	1,02 ^b	19,37 ^a
<i>E. crassipes</i>	3434,6 ^d	29,13 ^c	23,12 ^{ab}	12,07 ^{ab}	0,61 ^b	16,19 ^{bc}
<i>S. molesta</i>	3943,3 ^b	31,04 ^{abc}	41,40 ^a	16,75 ^a	2,54 ^{ab}	16,14 ^{bc}
<i>S. auriculata</i>	3806,4 ^{bc}	30,64 ^{abc}	34,02 ^{ab}	13,19 ^{ab}	1,70 ^b	16,59 ^b
<i>S. natans</i>	3661,8 ^{bcd}	29,99 ^{bc}	35,90 ^{ab}	13,02 ^{ab}	0,88 ^b	20,54 ^a
<i>A. pinnata</i>	4178,7 ^a	36,21 ^{ab}	28,97 ^{ab}	10,44 ^b	3,71 ^a	13,72 ^c
<i>A. filiculoides</i>	3868,9 ^b	37,26 ^a	42,16 ^a	12,92 ^{ab}	1,34 ^b	14,03 ^{bc}
<i>S. intermedia</i>	3724,4 ^{bcd}	30,69 ^{abc}	34,09 ^{ab}	14,65 ^{ab}	3,45 ^a	15,91 ^{bc}
Médias	3765,4	32,01 ^{abc}	33,60	12,88	1,91	16,66
CV%	3,53	7,81	14,56	17,15	42,17	6,29
<i>P</i> valor	0,001	0,001	0,004	0,041	0,015	0,001

Onde: EB*: Energia Bruta (Cal g⁻¹); PB: Proteína Bruta; FDN e FDA: Fibra em detergente Neutro e Ácido. CV%: Coeficiente de variação.

Média seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si, segundo teste de SNK e significância de *P* valor.

Registrou-se maiores teores de FDN para *S. molesta* e *A. filiculoides*, e de FDA para a *S. molesta*. A herbácea *P. stratiotes* apresentou menores teores dessas duas variáveis e também baixos teores de lignina, o que indica melhor aproveitamento quando incluídas na alimentação de ruminantes.

Somente a *A. pinnata* e *S. intermedia* apresentaram elevados teores de lignina. A lignina é o principal fator de diferenciação das plantas, em função da ampla variação entre as espécies, houve uma variação muito grande em teor de lignina entre a *A. pinnata* e *E. crassipes* (Tabela 2.2).

Diferente desse estudo, Henry-Silva e Camargo (2002) e Laterme et al. (2009) não registraram teor de lignina para a *S. molesta*. Dentre os fatores que podem afetar a composição bromatológica, Laterme et al. (2009) apontaram a idade na *S. molesta*, ao verificar a que a densidade energética da planta diminui com a idade e que isso pode ser um fator limitante para a sua inclusão na alimentação de não ruminantes.

A herbácea *A. filiculoides* apresentou maior teor de nitrogênio na matéria seca (Tabela 2.3). Observou-se que em sua maioria, com exceção da *S. intermedia*, possuem elevado teor de fósforo, um elemento desejável de se remover do efluente para atendimento da normativa do CONAMA.

Tabela 2.3: Estoques de nutrientes na biomassa de plantas aquáticas flutuantes livres cultivadas em efluente de tilápias.

	g kg MS;				mg kg MS	
	Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio	
<i>Pistia stratiotes</i>	4,98 ^{abc}	1,86 ^{ab}	5,43 ^a	9,54 ^b	8,36 ^a	
<i>Eichornia crassipes</i>	4,66 ^c	2,23 ^a	5,45 ^a	10,01 ^b	4,86 ^{bc}	
<i>Salvinia molesta</i>	4,97 ^{abc}	2,24 ^a	3,82 ^b	5,57 ^c	2,82 ^c	
<i>Salvinia auriculata</i>	4,90 ^{abc}	2,28 ^a	3,95 ^b	4,04 ^c	2,12 ^c	
<i>Salvinia natans</i>	4,80 ^{bc}	2,34 ^a	3,82 ^b	5,51 ^c	3,40 ^c	
<i>Azolla pinnata</i>	5,80 ^{ab}	1,82 ^{ab}	3,51 ^b	4,71 ^c	3,04 ^c	
<i>Azolla filiculoides</i>	5,96 ^a	2,23 ^a	4,44 ^b	5,04 ^c	3,24 ^c	
<i>Spirodela intermedia</i>	4,91 ^{abc}	1,46 ^b	5,11 ^a	12,90 ^a	6,12 ^b	
Médias	5,12	2,06	4,44	7,04	4,25	
CV%	7,81	10,95	8,58	16,52	24,67	
<i>P valor</i>	0,009	0,003	0,001	0,001	0,001	

Onde: CV%: Coeficiente de variação.

Média seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si, segundo teste de SNK e significância de *P valor*.

Apesar de a *A. filiculoides* ter menor quantidade de raiz ela pode manter relação simbiótica com uma cyanobactéria *Anabaena azollae* (MIRANDA e SCHWARTSBURD, 2016). Estudo realizado por Brouwer et al. (2018) registraram que maior parte do N estocado na biomassa da *Azolla* foi proveniente de fixação de N.

As *azolla sp.* não são as únicas desse estudo que podem manter simbiose, Muthukumar e Prabha (2013) encontraram associações fúngicas micorrízicas arbusculares na *S. molesta* em locais com baixo teor de nitrogênio na coluna de água. Nessa relação apresentado por essas plantas (*Azolla sp.* e *S. molesta*) lhes permitem se propagar em ambientes com baixos teores de nitrogênio, sem que ele seja um fator limitante.

Observados a produtividade de massa seca e os estoques de nutrientes na biomassa vegetal, a bioextração de macronutrientes (Tabela 2.4), espera-se que quanto maior a produtividade e o estoque do nutriente (em massa seca), maior a extração do elemento pela planta. Osti et al. (2018)

encontrou essa correlação entre a maior biomassa de macrófitas e maior extração de nutrientes, ao atribuir a maior eficiência de remoção de nitrogênio e fósforo pela *E. crassipes* à maior biomassa da planta.

Tabela 2.4: Bioextração de nutrientes do efluente de tilápias por macrófitas flutuantes livres

	Nitrogênio	kg ha ⁻¹ ciclo			g ha ⁻¹ ciclo	
		Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio	
<i>Pistia stratiotes</i>	277,41	104,04 ^a	30,10 ^a	542,85 ^a	466,04 ^a	
<i>Eichornia crassipes</i>	244,02	117,21 ^a	28,53 ^a	527,55 ^a	251,52 ^b	
<i>Salvinia molesta</i>	250,11	112,85 ^a	19,22 ^b	280,38 ^b	142,25 ^{bc}	
<i>Salvinia auriculata</i>	245,95	114,50 ^a	19,79 ^b	202,62 ^b	106,26 ^c	
<i>Salvinia natans</i>	241,06	117,75 ^a	19,19 ^b	227,47 ^b	171,89 ^{bc}	
<i>Azolla pinnata</i>	275,73	86,14 ^a	16,54 ^b	221,98 ^b	146,13 ^{bc}	
<i>Azolla filiculoides</i>	212,13	79,77 ^a	15,73 ^b	181,03 ^b	115,35 ^c	
<i>Spirodela intermedia</i>	176,18	52,39 ^b	18,34 ^b	460,42 ^a	219,64 ^{bc}	
Médias	240,30	98,08	20,93	330,64	202,39	
CV%	15,11	14,62	17,93	25,37	24,19	
<i>P valor</i>	0,06	0,001	0,001	0,001	0,001	

Onde: CV%: Coeficiente de variação.

Média seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si, segundo teste de SNK e significância de *P valor*.

Essa forma de quantificar a remoção de nutrientes via estoque na biomassa é diferente da proposta por Henry-Silva et al. (2008), que quantifica a eficiência de remoção pela diferença percentual do nutriente no efluente tratado e não tratado. Na fitoextração subestima-se o efeito de remoção de nitrogênio via microrganismos, mais acentuada na *P. stratiotes* e *E. crassipes*, e pode também superestimar por efeito da simbiose já registrada na *Azolla sp.* e *S. Molesta*, mas não superestima a remoção de fósforo via estoque na biomassa vegetal pois, nesse estudo, o efluente não teve contato como o solo.

Esse estudo evidenciou a *P. stratiotes*, essa planta teve maior produtividade e teor de umidade, dentre os macrominerais, teve elevado teor potássio e magnésio, e assim, foi a mais eficiente em remover todos os macronutrientes. Nas mesmas condições de cultivo apenas a *S. intermedia* apresentou baixa extração de fósforo.

Um dos principais gargalos no tratamento de água é o atendimento na normativa do CONAMA no requisito teor de fósforo, utilizado como indicador de eutrofização da água, cujo teor máximo é de 0,03 mg L⁻¹. Nesse contexto, para o produtor, se o requisito utilizado na escolha da planta para tratamento de efluente for a extração de fósforo, essas seriam opções a serem consideradas, não isoladamente, mas unido ao destino e/ou aproveitamento da planta dentro do sistema de cultivo. Quanto ao uso alternativo desse subproduto, para fins de alimentação de não ruminantes, a *A. pinnata* e *A. filiculoides* podem ser indicadas por apresentar elevado teor de proteína.

2.4 CONCLUSÕES

As plantas aquáticas flutuantes estudadas apresentam elevada produtividade, entretanto a *P. stratiotes*, se desta pela maior remoção de todos os macronutrientes. Dentre as espécies estudadas somente a *S. intermedia* possui baixa extração de fósforo, as demais demonstram potencial para remoção desse elemento em efluente de piscicultura. As *Azolla sp.* apresentam maiores teores de proteína, enquanto as demais apresentaram baixos teores de lignina, sugestivo de maior aproveitamento da parede celular vegetal, características atraentes para a inclusão na alimentação animal.

REFERÊNCIAS

ALALADE, O. A.; IYAYI, E. A. Chemical composition and the feeding value of *Azolla* (*Azolla pinnata*) meal for egg-type chicks. **International Journal of Poultry Science**, vol. 5, n. 2, pág.137-141, 2006.

Management, vol. 115, pág. 53-59, 2013, DOI: 10.1016/j.jenvman.2012.11.028

BIANCHINI JÚNIOR, I. Modelos de crescimento e decomposição de macrófitas aquáticas. IN: THOMAS, S.M.; BINI, L. M. Ecologia e Manejo de Macrófitas Aquáticas. **Editora da Universidade Estadual de Maringá**, vol. 1, ed. 2, pág. 86 – 127, 2003.

BISSEGGER, S.; RODRIGUEZ, M.; BRISSON, J.; WEBER, K. P. Catabolic profiles of microbial communities in relation to plant identity and diversity in free-floating plant treatment wetland mesocosms. **Ecological Engineering**, vol. 67, n.1, pág. 190-197, 2014,

DOI:10.1016/j.ecoleng.2014.03.063

BROUWER, P.; SCHLUEPMANN, H.; NIEROP, A. K. G. J.; ELDERSON, J.; BIJL, P. K.; MEER, I. V. D.; VISSER, W. REICHART, F. J.; SMEEKENSA, S. WERFC, A. V. Growing *Azolla* to produce sustainable protein feed: the effect of differing species and CO² concentrations on biomass productivity and chemical composition. **Jornal of the Science of Food and Agriculture**, vol. 98, n. 12, pág. 4759 – 4768, 2018, DOI:10.1002/jsfa.9016

BASÍLICO, G.; CABO, L.; FAGGI, A. Impacts of composite wastewater on a Pampean stream (Argentina) and phytoremediation alternative with *Spirodela intermedia* Koch (Lemnaceae) growing in batch reactors. **Journal of Environmental Management**, vol. 115, pág. 53-59, 2013, DOI: 10.1016/j.jenvman.2012.11.028

CAMARGO, A. F. M.; PEZZATO, M. M.; HENRY-SILVA, G. G. Fatores limitantes à produção primária de macrófitas aquáticas. IN: THOMAS, S.M.; BINI, L. M. Ecologia e Manejo de

Macrófitas Aquáticas. **Editora da Universidade Estadual de Maringá**, vol. 1, ed. 2, pág 59 – 85, 2003.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de laboratórios: solo, água, nutrição vegetal, nutrição animal e alimentos**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2005. 334p.

GENTELINI, A. L.; GOMES, S. D.; FEIDEN, A.; ZENATTI, D.; SAMPAIO, S. C.;

COLDEBELLA, A. Biomass production of the aquatic macrophytes *Eichhornia crassipes* (water hyacinth) and *Egeria densa* (egeria) in organic fish farm effluent treatment system. **Semina: Ciências Agrárias**, vol. 29, n. 2, pág. 441-448, 2008, DOI: 10.5433/1679-0359.2008v29n2p441

HENARES, M. N. P.; CAMARGO, A. F. M. Estimating nitrogen and phosphorus saturation point

for *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms and *Salvinia molesta* Mitchell in mesocosms used to treating aquaculture effluent. **Acta Limnologica Brasiliensia**, vol. 26, n. 4, pág. 420-428, 2014, DOI:10.1590/S2179-975X2014000400009

HENARES, M. N. P.; CAMARGO, A. F. M. Treatment efficiency of effluent prawn culture by wetland with floating aquatic macrophytes arranged in series. **Brazilian Journal of Biology**, vol. 74, n. 4, pág. 906-912. 2014b, DOI: 10.1590/1519-6984.10413

HENRY-SILVA, G. G.; CAMARGO, A. F. M. Nutritive value of free-floating aquatic macrophytes (*Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes* and *Salvinia molesta*), used in aquaculture waste treatment

Acta Scientiarum Biological Sciences, vol.24, n.2, pág.519-526, 2002,

DOI:10.4025/actascibiolsci.v24i0.2353

HENRY-SILVA, G. G.; CAMARGO, A. F. M.; PEZZATO, M. M. Crescimento de macrófitas

aquáticas flutuantes em diferentes concentrações de nutrientes. **Hydrobiologia**, vol. 610, n. 153, 2008, DOI: 10.1007/s10750-008-9430-0

- LATERME, P.; LONDONO, A. M.; ORDONEZ, D. C.; ROSALES A.; ESTRADA, E.; BINDELLE, J.; BULDGEN A. Nutritional value and intake of aquatic ferns (*Azolla filiculoides* Lam. and *Salvinia molesta* Mitchell.) in sows. **Animal Feed Science and Technology**, vol. 155, n. 1, pág. 55 a 64, 2010, DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2009.10.002
- LATERME, P.; LONDONO, M.; MUNOZ J. E.; SUAREZ, J.; BEDOYA, C. A.; SOUFFRANT, W. S.; BULDGEN, A. Nutritional value of aquatic ferns (*Azolla filiculoides* and *Salvinia molesta*) in pigs. **Animal Feed Science and Technology**, vol. 149, n. 1, pág. 135-148, Mar. 2009, DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2008.04.013
- MEDEIROS, J. C. C.; COELHO, F. F.; TEIXEIRA, E. Biomass allocation and nutrients balance related to the concentration of Nitrogen and Phosphorus in *Salvinia auriculata* (Salviniaceae). **Brazilian Journal of Biology**, vol.76, n.2, pág. 461-468, 2016, DOI: 10.1590/1519-6984.21114
- MARTINS, D.; COSTA, N.V.; TERRA, M.A.; MARCHI, S.R.; VELINI, E.D. Chemical characterization of aquatic plants assessed in Salto Grande reservoir (Americana-SP, Brazil). **Planta Daninha**, vol.21, pág. 21-25, 2003, DOI: 10.1590/S0100-83582003000400004
- MUTHUKUMAR, T.; PRABHA, K. Arbuscular mycorrhizal and septate endophyte fungal associations in lycophytes and ferns of south India. **Symbiosis**, vol.59, n.1, pág.15-33, 2013, DOI: 10.1007/s13199-012-0185-z
- MIRANDA, C. V.; SCHWARTSBURD, P. B. Aquatic ferns from Viçosa (MG, Brazil): Salviniales (Filicopsida; Tracheophyta) **Revista Brasileira de Botânica**, Vol. 39, N. 3, pág 935–942, 2016. DOI 10.1007/s40415-016-0284-9
- MOURA JÚNIOR, E. G.; POTT, A.; SEVERIC, W.; ZICKELD, C. S. Response of aquatic macrophyte biomass to limnological changes under water level fluctuation in tropical reservoirs. **Brazilian Journal of Biology**, vol.79, n.1, pág 120 - 126, 2019, DOI: 10.1590/1519-6984.179656

NAJAR, I. A.; KHAN, A. B. Management of fresh water weeds (macrophytes) by vermicomposting using *Eisenia fetida*. **Environmental Science and Pollution Research**, vol.20, n.9, páp. 6406-6417, 2013, DOI: 10.1007/s11356-013-1687-9

OSTI, J. A. S.; CARMO, C. F.; CERQUEIRA, M. A. S.; GIAMAS, M. T. D.; PEIXOTO, A. C.; SANTOS, A. M. A.; Mercante, C. T. J. Nitrogen and phosphorus removal from fish farming effluents using artificial floating islands colonized by *Eichhornia crassipes*. **Aquaculture Reports**, vol.17, n.1, 2020, DOI:10.1016/j.aqrep.2020.100324

PIEIDADE, M. T. F.; LOPES, A.; DEMARCHI, L.O.; JUNK, W.; WITTMANN, F.; SCHONGART, J.; CRUZ, J. Guia de campo de herbáceas aquáticas da várzea amazônica. **Editora do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia**, edição n.1, vol. 1, pág 196 – 227, Manaus 2018.

PIEIDADE, M.T.F.; JUNK, W.J.; D'ANGELO, S.A.; WITTMANN, F.; SCHONGART, J.; BARBOSA, K.M.N.; LOPES, A. Aquatic herbaceous plants of the Amazon floodplains: state of the art and research needed. **Acta Limnologica Brasiliensia**, vol. 22, n. 2, pág. 165-178. 2010. DOI: 10.4322/actalb.02202006

PISTORI, R. E. T.; HENRY-SILVA, G. G.; BIUDES, J. F. V.; CAMARGO, A. F. M. Influence of aquaculture effluents on the growth of *Salvinia molesta*. **Acta Limnologica Brasiliensia**, vol. 22, n. 2, pág.179-186, 2010, DOI:10.4322/actalb.02202007

POTT, V. J. POTT, A. Potencial de uso de plantas aquáticas na despoluição da água. **Embrapa Gado de Corte**, vol. 133, ed. 21, pág. 7 – 25, 2002. Disponível em: www.infoteca.cnptia.embrapa.br

SILVA, A. F.; CRUZ, C.; PITELLI, R. L. C. M.; PITELLI, R. A. Utilização da carpa-capim (*Ctenopharyngodon idella*) como agente de controle biológico de macrófitas aquáticas submersas.

Planta daninha. vol.32, n.4, pág.765-773, 2014, DOI:10.1590/S0100-83582014000400011

SULLIVANA, C. O.; ROUNSEFELLA, B.; GRINHAM, A., KLARKE, W.; UDY, J. Anaerobic digestion of harvested aquatic weeds: water hyacinth (*Eichhornia crassipes*), cabomba (*Cabomba Caroliniana*) and salvinia (*Salvinia molesta*). **Ecological Engineering**, vol. 36, n. 10, 2010, pág.

1459-1468, DOI: 10.1016/j.ecoleng.2010.06.027

SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de Alimentos: métodos químicos e biológicos**. 2º Ed.

Viçosa: UFV, 2002. pág. 65.

THAM, H. T.; UDEN, P. Effect of Water Hyacinth (*Eichhornia Crassipes*) Silage on Intake and Nutrient Digestibility in Cattle Fed Rice Straw and Cottonseed Cake. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, vol.26, n.5, pág. 646-653, 2013, DOI:10.5713/ajas.2012.12498

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. Limnologia. Editora Oficina de Textos, vol. 1, Ed. 2, pág. 198 - 206, 2008.

VAN SOEST, P. J.; ROBERTTSON, J. B.; LEWIS, B. A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **J. of Dairy Science**, 1991, vol.74, n.10, pág. 3583-3597.

VAN SOEST, P. J. Collaborative study of acid detergent fiber and lignin. J.. of the **Ass. of Off. Analytical Chemists**, 1973. vol.56, pág.81-784.

XIAO, L.; YANG, L.; ZHANG, B; GU, Y.; JIANG, L; QIN, B. Solid state fermentation of aquatic macrophytes for crude protein extraction. **Ecological Engineering**. vol.35, n.11, pág.1668-1676, 2009, DOI:10.1016/j.ecoleng.2008.08.004

CAPÍTULO III

USO DE PLANTAS AQUÁTICAS FLUTUANTES LIVRES MELHORAM A QUALIDADE DA ÁGUA DO EFLUENTE DE TILÁPIAS

RESUMO: Objetivou-se quantificar a eficiência de remoção, bioextração de nutrientes, o efeito do uso de macrófitas aquáticas flutuantes na qualidade da água do efluente de cultivo de tilápias. O estudo foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com quatro tratamentos (*Salvinia molesta*, *Azolla pinnata* e *Spirodela intermedia*), e um controle, sem uso de plantas, com quatro repetições para cada, com duração de dois meses. As macrófitas foram cultivadas em tanques de decantação de sólidos de efluente de tilápias, mediu-se os parâmetros de qualidade da água, e os teores de macroelementos do efluente não tratado e tratado. As hidrófitas foram colhidas a cada três dias, manteve-se a biomassa residual de 50% de estande de plantas. As amostras coletadas compuseram uma amostra quinzenal, para quantificar a produção de massa seca, teores de macroelementos e sua extração pelas plantas. Maior eficiência de remoção de nitrogênio foi registrada para *Salvinia molesta* e *Spirodela intermedia* com 43,9%. Enquanto a primeira apresentou maior bioextração de N: 205, P: 77 e K: 200 kg ha⁻¹ de lâmina de água ao ano, a segunda apresentou maior bioextração de Ca: 309 e Mg: 136 g ha⁻¹ de lâmina de água ao ano. Conclui-se que o uso dessas macrófitas proporcionou melhoria na qualidade da água do efluente de tilápias em relação ao tratamento convencional.

Palavras Chaves: Bioacumuladores, eutrofização, eficiência de remoção, fitoremediação

ABSTRAT: The objective was to quantify the removal efficiency, bioextraction of nutrients, the effect of the use of floating aquatic macrophytes on the water quality of the tilapia cultivation effluent. The study was conducted in a completely randomized design with four treatments (*Salvinia molesta*, *Azolla pinnata* and *Spirodela intermedia*), and a control, without using plants, with four replicates for each, lasting two months. Herbs were grown in decantation tanks of tilapia effluent solids, quality parameters were measured water content, and the macroelements content of the untreated and treated effluent. The hydrophytes were harvested every three days, the residual biomass of 50% of plant stand was maintained. The collected samples comprised a biweekly sample, to quantify the dry mass production, macroelements content and its extraction by plants. Higher nitrogen removal efficiency was recorded for *Salvinia molesta* and *Spirodela intermedia* with 43.9%. While the first presented greater bioextraction of N: 205, P: 77 and K: 200 kg ha⁻¹ year, the second presented greater bioextraction of Ca: 309 and Mg: 136 g ha⁻¹ year. It is concluded that the use of these herbs provided an improvement in the water quality of the tilapia effluent in relation to the conventional treatment.

Keywords: Bioaccumulators, eutrophication, phytoremediation, removal efficiency

3.1 INTRODUÇÃO

A piscicultura tem sido apontada como uma atividade potencialmente poluidora, ao lançar efluente de produção no meio ambiente, o que pode causar eutrofização, enriquecimento artificial da água. O Conselho Nacional do Meio Ambiente determinou a obrigatoriedade do tratamento do efluente (CONAMA - 357/2005) e ainda padrões de qualidade antes de ser devolvido ao meio ambiente (CONAMA - 430/2011).

Atualmente o tratamento de efluente aquícola mais utilizado envolve o uso de tanques de depuração, lagoas de estabilização, que engloba processos de decantação e decomposição de sólidos, perda de nitrogênio por volatilização e precipitação e/ou lixiviação de fósforo, dentre outros (MATOS e MATOS, 2017).

Com isso alguns produtores, principalmente os que exercem a piscicultura intensiva, tem dificuldades em atender aos requisitos da normativa, principalmente para os níveis de fósforo ($P < 0,03$ e $0,05 \text{ mg L}^{-1}$ a depender do corpo hídrico receptor), pois nesse tratamento convencional, maior fração do fósforo permanece no sistema de forma cumulativa, necessitando de alguma forma de extração.

O uso de plantas aquáticas para sequestro, fixação e conseguinte bioextração com a remoção da planta do tanque, é uma forma de remoção de fósforo e demais nutrientes, também chamado de fitotratamento, que apresenta uma forma de melhoria dentro do sistema de tratamento de água (SILVA et al., 2013; LEE et al., 2013). Dentre os biotipos de macrófitas aquáticas, pode-se destacar as flutuantes livres, pela facilidade de manejo e/ou remoção do taque sem danos à estrutura, contrastando com o uso de filtro, material particulado, na remoção de fósforo, por ser oneroso.

Os estudos com uso de macrófitas aquáticas flutuantes livres no tratamento de efluente estão concentrados no cultivo de *Pistia stratiotes*, *Eichornia crassipes* e *Salvinia molesta* (HENRY-SILVA e CAMARGO, 2006; HENRY-SILVA et al., 2008; MARTINS et al., 2003; GENTELINI et al., 2008), as mais produtivas e mais invasivas no mundo. A *E. Crassipes* e *Salvinia molesta*, apresentam rápida propagação e plasticidade fenotípica, podendo ocupar variados tipos de ambientes, principalmente os eutróficos (LAKRA et al., 2017; COZAD et al., 2019; ANDRADE et al., 2013).

Outras plantas também apresentam potencial no tratamento de efluente, como a *Azolla pinnata* que apresenta rápida propagação e altos teores de nitrogênio na matéria seca, contrastando com a *Spirodela intermedia*, uma espécie menos produtiva e menos invasivas, têm por vantagem o fácil controle em relação as demais (PIEIDADE et al., 2018).

São necessários estudos que permitam compará-las quando submetidas as mesmas condições de cultivo, principalmente considerando os fatores que impactam na geração dessas

informações (CAMARGO et al., 2003; BIANCHINI-JÚNIOR, 2003; TUNDISI e TUNDISI, 2008), como as edafoclimáticas, por exemplo no ecótono cerrado Amazônia, como ocorre no Tocantins, para concluir-se qual espécie pode melhor atender a necessidade do produtor.

Com base nesse contexto, objetivou-se quantificar a eficiência de remoção, bioextração de nutrientes das macrófitas *Salvinia molesta*, *Azolla pinnata* e *Spirodela intermedia*, e o efeito na qualidade da água do efluente de cultivo de tilápias.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na Escola de Medicina Veterinária e Zootecnia, da Universidade Federal do Tocantins - EMVZ/UFT, campus de Araguaína, Tocantins, Brasil. Em conformidade com o Comitê de Ética no Uso de Animais da UFT, projeto protocolado com número 23.101.002.282/2019-65, nos meses de Junho e Julho de 2019 e repetiu-se no mesmo período do ano de 2020.

Conduziu-se em delineamento inteiramente casualizado com uso de três macrófitas (T1: *Salvinia molesta*, T2: *Azolla pinnata* e T3: *Spirodela intermedia*), e um tratamento controle (T4: sem uso de plantas), com quatro repetições para cada, avaliados em quatro ciclos de produção, com duração de quinze dias para cada, por dois anos.

Para produção do efluente utilizou-se dezesseis viveiros de um m³ para o cultivo de tilápias, alimentadas *ad libitum*, estocadas a uma densidade de 2 kg m⁻³, cuja biomassa foi corrigido quinzenalmente. Interligado a cada viveiro, foi instalado um tanque de decantação de sólidos, com capacidade de 200 L⁻¹, como tempo de detenção hidráulica de 24 horas.

A taxa de renovação diária dos viveiros foram dimensionadas em função do volume disponível para tratar o efluente produzido, nesse sentido, utilizou-se uma taxa de renovação de água de 10 % do volume total, do fundo da coluna de água do viveiro. Enquanto a taxa de renovação dos tanques de tratamento foi de 50% do volume total de água, removido da camada superior da coluna de água.

Todas as unidades experimentais foram condicionadas, sem uso de aeradores ou termostatos, a temperatura e luminosidade ambiente, em área protegida por tela anti-pássaros e/ou invasores. Em doze dessas unidades de tratamento de água foram cultivadas as plantas sem adubação, tendo a água do efluente do viveiro de peixes, como única fonte de nutrientes.

Os exemplares das macrófitas foram adquiridas de um produtor comercial, e após vinte dias de adaptação das plantas ao efluente e ambiente, as plantas se propagaram e os exemplares comerciais foram removidas do sistema, restando apenas aquelas que foram reproduzidas no ambiente do estudo.

Nesse intervalo observou-se o crescimento das macrófitas, que apresentaram período de ocupação de três dias, tempo necessário para que os exemplares que ocupavam inicialmente 50% da área, duplicassem a sua biomassa vegetal, ou seja, preencha o estande da lâmina de água. Adotou-se a relação 50/50: manutenção de 50% da área coberta por plantas, colheita de 50% de biomassa residual *in natura*, coletados a cada três dias. As amostras de cada cinco coletas compuseram a amostra do ciclo quinzenal para avaliação dos dados de produção e composição de macroelementos.

As amostras coletadas foram pesadas para obtenção de produção de massa verde, e foram secas em estufa de 55°C por 72 horas, para aquisição dos dados de massa seca (ASA). As mesmas amostras foram moídas e submetidas a análise de quantificação de matéria seca definitiva a 105 °C.

Semanalmente no período matutino e vespertino foram realizadas análises de qualidade da água dos viveiros de cultivo de tilápias e também das unidades de tratamento de água. Mediu-se a temperatura e oxigênio da água com uso de oxímetro, e pH e condutividade elétrica com equipamentos portáteis, potenciômetro e condutímetro (@Hanna Instruments).

Amostras de água foram coletadas para quantificar os teores de macroelementos da água, nitrogênio por destilação (kjeldahl), fósforo em espectrofotômetro; potássio em fotômetro de chama; e cálcio e magnésio por titulação com EDTA, segundo metodologia da EMBRAPA 2005. Com base nesses teores semelhantemente a Herry-Silva e Camargo (2008), calculou-se:

$$\%ER: 100 - (TN_{ET} \times 100 / TN_{ENT});$$

Onde: %ER=Eficiência de remoção; TN= Teor do Nutriente; ET=Efluente tratado; ENT= Efluente não tratado.

Também foram quantificados os teores de macroelementos, via digestão seca, na biomassa das macrófitas: fósforo em espectrofotômetro; potássio em fotômetro de chama; e cálcio e magnésio por titulação com EDTA, segundo metodologia da EMBRAPA 2005. Quantificou-se a bioextração de macronutrientes $BN = P \times TN$; Onde: BN: Bioextração de nutriente; P= Produtividade de massa seca; TN= Teor de nutriente.

Os dados foram submetidos a teste de normalidade e homogeneidade de variâncias (shapiro-wilk e levene), atendidos os pré requisitos, conseguinte análise de variância. Observado a significância; As informações de viveiros e de efluentes tratados foram submetidos ao teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro tipo I; Enquanto as informações de efluentes anterior e posterior ao tratamento foram comparados pelo teste de Fisher.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve variação nos parâmetros de qualidade da água dos viveiros de criação de peixes utilizado para tratamento pelas plantas (Tabela 3.1). Os teores de oxigênio dissolvidos não diferiram entre a água do viveiro e do efluente tratado, e também não variou entre tratamentos e os estudos em cada ano.

Tabela 3.1: Parâmetros de qualidade da água de viveiros de tilápias e efluente tratado por plantas aquáticas flutuantes livres

Amostras	T °C	pH	OD (mg L ⁻¹)	CE (Sm ⁻¹)
Viveiros	28,73 ^a	6,88 ^b	4,70 ^a	0,029 ^b
Efluentes	28,73 ^a	7,19 ^a	4,71 ^a	0,037 ^a
CV%	2,24	6,61	17,14	24,43
DMS	0,33	0,24	0,43	0,004
<i>P (Valor)</i>	0,45	0,009	0,93	0,002

Onde: T °C = Temperaturas; pH=Potencial Hidrogeniônico; OD: Oxigênio Dissolvido; CE= Condutividade elétrica; DMS: Diferença Mínima significativa; CV%: Coeficiente de variação. Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si, segundo teste de F, segundo a significância de *P(Valor)*.

A temperatura da água não diferiu entre fonte, viveiros e efluentes, ou tratamentos. Entretanto registrou-se menor temperatura no estudo de 2019, que apresentou variação média no período matutino e vespertino de 26,5 a 29 °C, enquanto houve variação de 27,5 a 31,9 °C no estudo de 2020 (*P valor* 0,0001).

Esse fator influencia em todos os parâmetros de qualidade da água, embora não tenha ocorrido variação para os dados de oxigênio dissolvido (4,61 = 4,80 mg L⁻¹), verificou-se maiores valores de pH (6,64 < 7,43) e condutividade (0,019 < 0,044 Sm⁻¹) entre os estudos (*P valor* 0,0001)

Elevadas temperaturas tendem a aumentar a adsorção de íons a sólidos, onde a associação com pH ácido, pode aumentar a dessorção de cátions, e aumentar adsorção de ânions, enquanto que associado a pH básico tende a aumentar a dessorção de ânions e aumentar a adsorção de cátions (MATOS e MATOS, 2017).

Segundo esses autores pode ainda aumentar a precipitação de cálcio e magnésio. Essa dinâmica de interação das moléculas com sólidos além de interferir na disponibilidade dos elementos para absorção pelas plantas, pode tornar-se uma via limitante para o sequestro e fixação por plantas flutuantes.

Registrou-se maiores valores de pH e condutividade elétrica no efluente, em relação a água dos viveiros. Enquanto a condutividade elétrica não diferiu entre tratamentos, registrou-se no estudo de 2020, maiores valores de pH no efluente tratado, sem uso de plantas (Tabela 3.2). Esse efeito de acidificação do efluente por plantas colabora com Gentelini et al. (2008) e também foi constatado por Henry-Silva e Camargo (2006). Segundo os autores desses estudos, isso se deve a maior

remoção de bases pelas macrófitas, mas sabe-se que a decomposição da matéria orgânica libera no meio ácidos orgânicos.

Tabela 3.2: pH do efluente tilápias tratado por macrófitas flutuantes e controle, sem uso de plantas.

Tratamento	Matutino	Vespertino
Controle	7,05 ^a	7,41 ^a
<i>Azolla pinnata</i>	6,59 ^{ab}	7,10 ^{ab}
<i>Spirodela intermedia</i>	6,49 ^{bc}	6,94 ^b
<i>Salvinia molesta</i>	5,99 ^c	6,43 ^c
Médias	6,53	6,97
DMS	0,51	0,46
CV%	3,37	3,16
<i>P Valor</i>	0,0005	0,0002

Onde: DMS: Diferença Mínima significativa; CV%: Coeficiente de variação.

Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si, segundo teste de Tukey, segundo a significância de *P(Valor)*.

Os teores de macronutrientes dos viveiros de cultivo de tilápias utilizadas para tratamento pelas plantas (Tabela 3.3) não diferiram entre tratamentos, indicativo de que todas as unidades tiveram o mesmo aporte e/ou entrada de nutrientes no sistema. Entretanto houve maior teor de fósforo ($0,039 > 0,037 \text{ mg L}^{-1}$) nos viveiros, no estudo de 2019, enquanto teve maior teor de nitrogênio ($0,17 < 0,46 \text{ mg L}^{-1}$), cálcio ($0,035 < 0,066 \text{ mg L}^{-1}$) e magnésio ($0,021 < 0,051 \text{ mg L}^{-1}$) no estudo de 2020 (*P valor* 0,0001).

Os teores desses macronutrientes no efluente, submetido ao tratamento por plantas e controle, também diferiram entre os estudos. Contrário do que aconteceu com os teores de nitrogênio nos viveiros, registrou-se menores teores no estudo de 2020 ($0,37 > 0,19 \text{ mg L}^{-1}$), enquanto os demais nutrientes: fósforo ($0,04 > 0,037 \text{ mg L}^{-1}$), potássio ($0,046 > 0,031 \text{ mg L}^{-1}$), cálcio ($0,039 < 0,066 \text{ mg L}^{-1}$) e magnésio ($0,014 < 0,054 \text{ mg L}^{-1}$), seguiram a tendência dos teores registrados nos viveiros (*P valor* 0,001). Comparou-se os teores de macronutrientes entre viveiros e efluentes (Tabela 3.3), e diferiram apenas para os níveis de potássio, maior no efluente.

Tabela 3.3: Teores de macroelementos (mg L^{-1}) da água de viveiros de tilápias e efluente tratado

	Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio
Viveiros	0,310	0,038	0,032 ^b	0,050	0,036
Efluente	0,280	0,038	0,040 ^a	0,053	0,034
Médias	0,290	0,038	0,036	0,051	0,035
DMS	0,080	0,001	0,006	0,004	0,006
CV%	96,99	7,26	59,56	26,93	62,10
<i>P Valor</i>	0,36	0,15	0,02	0,27	0,60

Onde: DMS: Diferença Mínima significativa; CV%: Coeficiente de variação.

Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si, segundo teste de F, segundo a significância de *P(Valor)*.

Esses teores também diferiram entre os tratamentos (Tabela 3.4), registrou-se no estudo de 2019, maior aporte de nitrogênio e fósforo no tratamento controle, sem uso de plantas como bioextratores, e maior aporte de potássio (2019 e 2020). Isso demonstra que o uso de plantas diminui a concentração desses elementos em relação ao tratamento convencional. Verificou-se no

estudo de 2019 que essas plantas foram muito eficientes em reduzir o teor de N, em relação tratamento controle.

Tabela 3.4: Teores de macronutrientes (mg L^{-1}) no efluente de cultivo de plantas aquáticas flutuantes.

Tratamento	Nitrogênio		Fósforo		Potássio		Cálcio		Magnésio	
	2019	2020	2019	2020	2019	2020	2019	2020	2019	2020
Controle	0,749 ^a	0,228	0,043 ^a	0,037	0,077 ^a	0,044 ^a	0,042	0,066	0,016	0,058
<i>Azolla. pinata</i>	0,283 ^b	0,218	0,040 ^b	0,037	0,036 ^b	0,031 ^b	0,041	0,067	0,015	0,049
<i>Spiroleda intermedia</i>	0,251 ^b	0,133	0,039 ^b	0,037	0,039 ^b	0,032 ^b	0,035	0,066	0,014	0,049
<i>Salvinia molesta</i>	0,205 ^b	0,161	0,039 ^b	0,037	0,034 ^b	0,028 ^b	0,036	0,066	0,013	0,057
Médias	0,370	0,180	0,040	0,037	0,046	0,031	0,039	0,066	0,014	0,054
DMS	0,184	0,172	0,002	0,001	0,003	0,001	0,010	0,018	0,011	0,020
CV%	45,69	84,56	4,57	1,08	64,60	30,07	22,71	23,99	72,68	33,58
<i>P (Valor)</i>	0,0001	0,40	0,0001	0,34	0,0031	0,0023	0,14	0,99	0,94	0,45

DMS: Diferença Mínima significativa; CV%: Coeficiente de variação.

Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si, segundo teste de Tukey, segundo a significância de *P(Valor)*.

Nesse estudo, registrou-se níveis de fósforo no efluente dentro do permitido para lançamento em corpo receptor tributário direto de lântico ($>0,05 \text{ mg L}^{-1}$), mas não em ambientes lóticos ($<0,03 \text{ mg L}^{-1}$), segundo a normativa 357 de 2005 do CONAMA. Verificou-se que os tratamentos com uso de plantas tiveram menores teores desses elementos (N, P e K) no efluente do que no efluente do controle, mas não diferiram entre si. Não houve diferença entre tratamentos nos teores de nitrogênio e fósforo estudo de 2020, enquanto os teores de cálcio e magnésio não diferiram entre tratamentos em nenhum dos estudos.

Com base nos teores dos nutrientes presentes nos efluentes antes e após tratamento, estimou-se os dados de eficiência de remoção de nutrientes (Tabela 3.5). Sem o uso de plantas para sequestro de nutrientes, o tratamento controle apresentou maiores teores dos nutrientes dissolvidos: nitrogênio, fósforo e potássio (*P valor*: 0,041; 0,021; 0,014) do que o efluente não tratado.

Tabela 3.5: Variação (%) nos teores de macronutrientes do efluente de tilápias em função dos tratamentos

	Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio
*Efluente(mg L^{-1})	0,31	0,037	0,032	0,050	0,035
<i>A. pinnata</i>	-24,24	+2,70	+9,68	+8,00	-8,57
<i>S. intermedia</i>	-44,12	0,00	+9,38	+2,00	-21,96
<i>S. molesta</i>	-43,75	-2,63	+8,82	-5,56	-5,41
Controle	+54,84	+5,26	+6,47	+10,20	+27,59

Onde: *Efluente não tratado; (-) Eficiência de remoção do elemento, (+) Acúmulo do elemento.

Nesse estudo o efluente tratado pelas plantas, tiveram menores teores de nitrogênio total, o que demonstra que o seu uso pode auxiliar na remoção deste composto, entre as macrófitas, a *S. molesta* e *S. intermedia* apresentaram maior eficiência de remoção de nitrogênio total (*P valor*: 0,043; 0,048).

Pode-se observar que houve aumento na concentração de fósforo no efluente, principalmente no controle, com acúmulo de 5,26%, e 2,7% na *A. pinnata*, mas se mantiveram semelhantes ao do viveiro quando tratados pela *S. intermedia*, e que remoção desse elemento de 5,26% com uso de *S. molesta*.

Esses tanques são utilizados para retenção, decantação e decomposição da matéria orgânica, essa decomposição libera no meio nutrientes dissolvidos. Pistori et al. (2010) verificaram efeito imediato do lançamento de efluente de aquicultura na elevação dos teores de nutrientes no corpo receptor e que isso ocasionou o aumento na produção de *S. molesta*.

Verificou-se efeito do ano na eficiência e/ou acúmulo de nutrientes, no estudo de 2019, a *A. pinnata*, apresentou maior de remoção de cálcio 21,95% (*P* valor: 0,031), enquanto a *S. molesta* e *S. intermedia*, apresentaram maior eficiência de remoção de nitrogênio, com percentuais de 60% e 73,47% (*P* valor: 0,011 e 0,0003). No tratamento controle houve acúmulo de nitrogênio 408,33%, fósforo 13,33 e potássio 23,53% a mais do que o efluente não tratado (*P* valor: 0,0001; 0,016; 0,036; 0,05).

Em um estudo de Herry-Silva e Camargo (2006) com uso de *S. molesta* no tratamento de efluente de tilápias do nilo, a herbácea apresentou eficiência de remoção de 36,4% de nitrogênio, enquanto o estudo realizado por Ng e Cham (2017) registraram eficiência de remoção de 31% de nitrogênio para a *Salvinia* e 64% para a *Spirodela*.

Registrou-se maior bioextração (Tabela 3.6) de nitrogênio, fósforo e potássio pela herbácea *Salvinia molesta*, enquanto houve maior remoção de cálcio e magnésio pela *Spirodela intermedia*.

Tabela 3.6: Bioextração (ha de lâmina de água ao ano) de macronutrientes por macrófitas flutuantes em efluente de tilápias

	kg MS ^l					g MS ⁻¹
	Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio	
<i>A. pinnata</i>	193,77 ^b	72,51 ^b	175,77 ^b	195,99 ^b	106,21 ^b	
<i>S. intermedia</i>	163,97 ^c	57,44 ^c	194,04 ^b	510,97 ^a	185,08 ^a	
<i>S. molesta</i>	256,71 ^a	102,55 ^a	231,59 ^a	219,75 ^b	116,21 ^b	
Média	204,82	77,5	200,46	308,91	135,79	
DMS	26,26	14,23	33,48	59,14	25,7	
CV%	22,53	26,44	24,05	27,57	27,26	
<i>P</i> Valor	0,0001	0,0001	0,0006	0,0001	0,0001	

Onde: DMS: Diferença Mínima significativa; CV%: Coeficiente de variação.

Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si, segundo teste de F, segundo a significância de *P*(Valor).

A *Salvinia molesta* foi a maior extratora de nitrogênio, fósforo e potássio da água, enquanto a *Spirodela intermedia* foi a maior em remover cálcio e magnésio. Segundo Piedade et al. (2018) é possível o cultivo consorciado dessas plantas. O uso de combinações de macrófitas pode aumentar a eficiência do tratamento de água (HENARES e CAMARGO, 2014).

Simpaúba-Tavares e Dias (2014) encontrou correlação do estoque de nitrogênio na biomassa da *S. auriculata* com o teor de amônia na coluna de água, e correlação negativa do estoque de fósforo na macrófita com o teor desse elemento na coluna de água. Para os autores a flutuação livre proporciona mais contato com os compostos voláteis da coluna d'água, como o nitrogênio, enquanto que a remoção do fósforo e demais nutrientes pela planta se limitar aos primeiros centímetros da coluna de água.

Essa relação não ocorre para todas as macrófitas flutuantes livres, Trindade et al. (2012) não encontraram relação entre o teor de nitrogênio da água com o estoque de nitrogênio na *A. filiculoides*, e correlação negativa entre os teores de fósforo na água com o seu estoque na planta. O nitrogênio pode ser fornecido a planta via simbiose com cianobactérias por plantas que realizam esse tipo de associação como as *Azolas sp* (MIRANDA e SCHWARTSBURD, 2016). Esse tipo de associação não é exclusivo das *Azolas sp.*, também já foi identificadas associações fúngicas micorrízicas arbuscular na *S. molesta* em condição de baixa oferta de nitrogênio (MUTHUKUMAR e PRABHA, 2013).

Além da área de atuação do sistema radicular e a capacidade da planta em associar-se simbioticamente, o tempo de exposição da planta ao efluente pode influenciar em maiores remoções, isso foi verificado por Osti et al. (2020), segundo os autores, maiores períodos de tempo de detenção hidráulica, DTH, podem promover maior remoção de fósforo da água. Gentelini et al. (2008) testaram de 4 a 12 horas na produção de *E. Crassipes* e registrou melhores parâmetros de qualidade da água em 12 horas de TDH. Nesse estudo utilizou-se 24 horas, mas para Osti et al. (2020) períodos maiores do que 26 horas para essa planta podem trazer melhores resultados.

Maiores eficiências de remoção foram registradas por Henry-Silva e Camargo (2006) e Henry-Silva et al. (2008) com DHT de 33 horas, em 0,5 cm altura de coluna de água no cultivo de *P. stratiotes*, *E. crassipes* e *S. molesta*, plantas com grande biomassa de raiz. Enquanto nesse estudo, utilizou-se um metro de coluna de água. Nesse sentido, a eficiência do sistema em remover estes nutrientes relaciona a área de atuação do seu sistema radicular, profundidade da coluna de água e maiores DTH.

A contra mão é que menores alturas de coluna de água e maiores DHT requerem maiores áreas para retenção do volume de efluente a ser tratado. Contrapondo isso, quanto mais eficiente for o tratamento proporcionado pelas plantas, menor área de alagado construído é necessária. Como não há um pacote tecnológico (altura de coluna de água; tempo de detenção hidráulica; área alagada; escolha da macrófita) que satisfaça as necessidades do produtor (volume de efluente; carga de poluente) que é totalmente inerente ao sistema de cultivo, quanto mais intensivo maior a exigência de tratamento, para atendimento das normas ambientais para produção sustentável.

3.4 CONCLUSÕES

O uso de macrófitas aquáticas na extração de nutrientes da água proporciona melhoria na qualidade da água do efluente em relação ao tratamento convencional, sem o uso de plantas, por apresentar maior remoção de nitrogênio, fósforo e potássio. Dentre as plantas estudadas, a *Salvinia molesta* e *Spirodela intermedia* possuem maiores eficiência de remoção de nitrogênio (43,9%). A herbácea *Salvinia molesta* apresenta maior bioextração de nitrogênio, fósforo e potássio (205, 77 e 200 kg ha⁻¹ de lâmina de água ao ano), enquanto a *Spirodela intermedia* teve maior remoção de cálcio e magnésio (309 e 136 g ha⁻¹ de lâmina de água ao ano), sugerindo que o uso associado dessas duas macrófitas torna mais eficiente o tratamento de efluente de piscicultura.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, E. A.; BARBOSA, M. E. A.; DEMETRIO, G. R. Density-dependent morphological plasticity and trade-offs among vegetative traits in *Eichhornia crassipes* (Pontederiaceae). **Acta Amazonica**, vol. 43, n.4, pág. 455 – 460, 2013.

BIANCHINI JÚNIOR, I. Modelos de crescimento e decomposição de macrófitas aquáticas. IN: THOMAS, S.M.; BINI, L. M. Ecologia e Manejo de Macrófitas Aquáticas. **Editora da Universidade Estadual de Maringá**, vol. 1, ed. 2, pág. 86 – 127, 2003.

BASÍLICO, G.; CABO, L.; FAGGI, A. Impacts of composite wastewater on a Pampean stream (Argentina) and phytoremediation alternative with *Spirodela intermedia* Koch (*Lemnaceae*) growing in batch reactors. **Journal of Environmental Management**, vol. 115, pág. 53-59, 2013, DOI: 10.1016/j.jenvman.2012.11.028

CAMARGO, A. F. M.; PEZZATO, M. M.; HENRY-SILVA, G. G. Fatores limitantes à produção primária de macrófitas aquáticas. IN: THOMAS, S.M.; BINI, L. M. Ecologia e Manejo de Macrófitas Aquáticas. **Editora da Universidade Estadual de Maringá**, vol. 1, ed. 2, pág 59 – 85, 2003.

COZAD, A.; DIAZ, R.; MUDGE, C. Phenotypic plasticity in the cold tolerance of three populations of the *salvinia* weevil (*Cyrtobagous salviniae*) from Louisiana, USA. **Biocontrol Science and Technology**. vol. 29, n. 9, pág. 912–916, 2019, DOI:10.1080/09583157.2019.1608512

DOMINGUES, F. D.; STARLING, F. L. R. M.; NOVA, C.C.; LOUREIRO, B. R.; SOUZA, L. C.; BRANCO, C. W. C. The control of floating macrophytes by grass carp in net cages: experiments in two tropical hydroelectric reservoirs. **Aquaculture Research**. Vol. 48, n.7, pág. 3356-3368, 2017, DOI: 10.1111/are.13163

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de laboratórios: solo, água, nutrição vegetal, nutrição animal e alimentos**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2005. 334p.

GENTELINI, A. L.; GOMES, S. D.; FEIDEN, A.; ZENATTI, D.; SAMPAIO, S. C.;

COLDEBELLA, A. Biomass production of the aquatic macrophytes *Eichhornia crassipes* (water hyacinth) and *Egeria densa* (egeria) in organic fish farm effluent treatment system. **Semina: Ciências Agrárias**, vol. 29, n. 2, pág. 441-448, 2008, DOI: 10.5433/1679-0359.2008v29n2p441

HENARES, M. N. P; CAMARGO, A. F. M. Treatment efficiency of effluent prawn culture by wetland with floating aquatic macrophytes arranged in series. **Brazilian Journal of Biology**, vol. 74, n. 4, pág. 906-912. 2014, DOI: 10.1590/1519-6984.10413

HENRY-SILVA, G. G.; CAMARGO, A. F. M. Efficiency of aquatic macrophytes to treat Nile tilapia pond effluents. **Scientia Agrícola**, vol.63, n.5, pág.433-438, 2006, DOI:10.1590/S0103-90162006000500003

HENRY-SILVA, G. G.; CAMARGO, A. F. M.; PEZZATO, M. M. Crescimento de macrófitas aquáticas flutuantes em diferentes concentrações de nutrientes. **Hydrobiologia**, vol. 610, n. 153, 2008, DOI: 10.1007/s10750-008-9430-0

LAKRA, K. C.; LAL, B; BANERJEE, T. K. Decontamination of coal mine effluent generated at the Rajrappa coal mine using phytoremediation technology. **International Journal of Phytoremediation**, vol.19, n. 6, pág.530-536, 2017, DOI:10.1080/15226514.2016.1267698

LEE, J. H. An overview of phytoremediation as a potentially promising technology for environmental pollution control. **Biotechnology and Bioprocess Engineering**. vol.18, n.3, pág. 431–439, 2013, DOI: 10.1007/s12257-013-0193-8

- MARTINS, D.; COSTA, N.V.; TERRA, M.A.; MARCHI, S.R.; VELINI, E.D. Chemical characterization of aquatic plants assessed in Salto Grande reservoir (Americana-SP, Brazil). **Planta Daninha**, vol.21, pág. 21-25, 2003, DOI: 10.1590/S0100-83582003000400004
- MUTHUKUMAR, T.; PRABHA, K. Arbuscular mycorrhizal and septate endophyte fungal associations in lycophytes and ferns of south India. **Symbiosis**, vol.59, n.1, pág.15-33, 2013, DOI: 10.1007/s13199-012-0185-z
- MIRANDA, C. V.; SCHWARTSBURD, P. B. Aquatic ferns from Viçosa (MG, Brazil): *Saviniales* (Filicopsida; Tracheophyta). **Brazilian Journal of Botany**, Vol. 39, N. 3, pág 935–942, 2016, DOI: 10.1007/s40415-016-0284-9
- MATOS, A. T.; MATOS M. P. Disposição de águas residuárias no solo e em sistemas alagados construídos. **Editora UFV**, Universidade Federal de Viçosa, MG, vol. 1, ed.1, pág 292 – 349, 2017.
- NG, Y. S.; CHAN, D. J. C. Phytoremediation Capabilities of *Spirodela polyrhiza*, *Salvinia molesta* and *Lemna sp.* In Synthetic Wastewater: A Comparative Study. **International Journal of Phytoremediation**, vol. 20, n. 1, pág. 1179-1186, 2017, DOI: 10.1080/15226514.2017.1375895
- OSTI, J. A. S.; CARMO, C. F.; CERQUEIRA, M. A. S.; GIAMAS, M. T. D.; PEIXOTO, A. C.; SANTOS, A. M. A.; Mercante, C. T. J. Nitrogen and phosphorus removal from fish farming effluents using artificial floating islands colonized by *Eichhornia crassipes*. **Aquaculture Reports**, vol.17, n.1, 2020, DOI:10.1016/j.aqrep.2020.100324
- PÍPALOVÁ, I. Grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) grazing on duckweed (*Spirodela polyrhiza*). **Aquaculture International**. Vol. 11, pág. 325–336, 2003, DOI: 10.1023/A:1025703227216
- PIEIDADE, M. T. F.; LOPES, A.; DEMARCHI, L.O.; JUNK, W.; WITTMANN, F.; SCHONGART, J.; CRUZ, J. Guia de campo de herbáceas aquáticas da várzea amazônica. **Editora**

do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, edição n.1, vol. 1, pág 196 – 227, Manaus 2018.

PISTORI, R. E. T.; HENRY-SILVA, G. G.; BIUDES, J. F. V.; CAMARGO, A. F. M. Influence of aquaculture effluents on the growth of *Salvinia molesta*. **Acta Limnologica Brasiliensia**, vol. 22, n. 2, pág.179-186, 2010, DOI:10.4322/actalb.02202007

SILVA, M. S. G. M.; LOSEKANN, M. E.; HISANO, H. Aquicultura: manejo e aproveitamento de efluentes. **Embrapa Meio Ambiente**, vol. 95. n. 1, pág 6 – 38, 2013. Disponível em:

www.infoteca.cnptia.embrapa.br

SIPAUBA-TAVARES, L.H.; DIAS, S.G. Water quality and communities associated with macrophytes in a shallow water-supply reservoir on an aquaculture farm. **Brazilian Journal of Biology**, vol.74, n.2, pág.420-429. 2014, DOI: 10.1590/1519-6984.27212

TRINDADE, C. R.; ALBERTONI, E. F.; PALMA-SILVA, C. Temporal variation in the biomass and nutrient status of *Azolla filiculoides* Lam. (Salviniaceae) in a small shallow dystrophic lake.

Acta Limnologica Brasiliensia, vol.23, n.4, pág.368-375, 2012, DOI:10.1590/S2179-975X2012005000015

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. Limnologia. Editora Oficina de Textos, vol. 1, Ed. 2, pág. 198 - 206, 2008.

CAPÍTULO IV

PRODUÇÃO E COMPOSIÇÃO DE PLANTAS AQUÁTICAS FLUTUANTES LIVRES CULTIVADAS EM EFLUENTE DE TILÁPIAS

RESUMO: Objetivou-se quantificar a produção e caracterizar, teor de macronutrientes e composição bromatológica, espécies de macrófitas flutuantes utilizadas no tratamento de efluente de tilápias. O estudo foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com três tratamentos (*Salvinia molesta*, *Azolla pinnata* e *Spirodela intermedia*), com quatro repetições para cada, com duração de dois meses. As plantas foram cultivadas em tanques de decantação de sólidos de efluente de tilápias. As amostras coletadas compuseram uma amostra quinzenal, para quantificar a produção de massa seca, composição bromatológica e teores de macronutrientes. Apesar de possuir apenas 10 % de massa seca, a *Salvinia Molesta* apresentou maior produtividade com 50,9 Mg ha⁻¹ de lâmina de água ao ano. As macrófitas *Salvinia Molesta* e *Azolla pinnata* tiveram maiores teores de energia e proteína bruta (4.000 cal g⁻¹ MS; 33,6%), e se diferenciaram quanto ao teor de parede celular (41,4% > 29%). Essas duas também tiveram maiores estoques de nitrogênio e de fósforo (5,55 e 2,22 g kg⁻¹ MS) na biomassa, enquanto a *Spirodela intermedia* teve maiores estoques de potássio e magnésio (5,72 e 5,56 mg kg⁻¹ MS), também de cálcio (15,85 mg kg⁻¹ MS) três vezes maior do que a média das outras macrófitas.

Palavras Chaves: Composição bromatológica, efluente, produtividade, teor de nutrientes

ABSTRAT: The objective was to quantify the production and characterize, macroelement content and chemical composition, species of floating macrophytes used in the tilapia effluent treatment. The study was conducted in a completely randomized design with three treatments (*Salvinia molesta*, *Azolla pinnata* and *Spirodela intermedia*), with four replicates for each, lasting two months. The plants were grown in decantation tanks of tilapia effluent solids. The collected samples comprised a biweekly sample, to quantify the dry mass production, chemical composition and macroelements contents. Despite having 90% humidity, *Salvinia molesta* showed higher productivity with 50.9 Mg ha⁻¹ year. The herbaceous *Salvinia molesta* and *Azolla pinnata* had higher levels of energy and crude protein (4,000 cal g⁻¹ MS; 33.6%), and differed in terms of cell wall content (41.4% > 29%). These two also had higher stocks of nitrogen and phosphorus (5.55 and 2.22 g kg MS⁻¹) in biomass, while *Spirodela intermedia* had higher stocks of potassium and magnesium (5.72 and 5.56 mg kg⁻¹ MS), also of calcium (15.85 mg kg⁻¹ MS) 300% the average of other herbs.

Keywords: Composition bromatological, effluent, production dry matter, nutrient stock

4.1 INTRODUÇÃO

O uso de macrófitas aquáticas flutuantes de vida livre na aquicultura como bioextratores de nutrientes em tanques de tratamento de efluente, proporciona na qualidade da água por removerem compostos potencialmente poluidores (MATOS e MATOS, 2017).

Alguns estudos têm quantificado a produção, composição química e bromatológica de algumas dessas plantas em águas eutróficas como a *Pistia stratiotes*, *Eichornia crassipes* e *Salvinia molesta* (THAM e UDEM, 2013; LATERME et al., 2009; HENRY-SILVA e CAMARGO 2002; HENRY-SILVA e CAMARGO 2006; MARTINS et al., 2003; GENTELINI et al., 2008; PISTORI et al., 2010), sendo estas as mais invasoras e de ampla ocorrência.

Algumas delas podem duplicar sua biomassa em três dias como a *Azolla sp.*, *Salvinia sp.* e *Spirodela intermedia*, e outras demoram seis a quatorze dias como a *Eichornia crassipes* e *Pistia stratiotes* (PIEDADE et al., 2018). Entretanto pouco se tem conhecimento sobre a sua produtividade quando cultivadas condicionadas sobre as mesmas condições.

Para isso Pott et al. (2002) recomendam que se façam testes de adaptação de espécies ao efluente e clima local, para auxiliar na escolha da espécie mais adaptada às condições locais. Há uma carência de estudos que permitam escolher a herbácea que melhor se adéqua a necessidade do produtor.

Com base na produtividade, por exemplo, é possível determinar o período e intensidade de colheita dessas plantas, para melhor fluxo de remoção de nutrientes da água, através do fluxo constante de biomassa vegetal a ser removida do sistema. Isso gera a necessidade de gestão desse subproduto, a maioria dos produtores os descartam nas proximidades da área, em áreas de acesso dos animais, ou fornecem aos peixes como fonte de fibra.

É necessário explorar a utilização como alternativa em se converter a sua biomassa em ganho comercial (XIAO et al., 2009). Isso é vantajoso pois o subproduto do tratamento de efluente de aquicultura retorna para o sistema produtivo para gerar ganho ao produtor. Para isso, são necessários estudos que permitam quantificar a composição bromatológica e estoques de elementos na biomassa vegetal.

Para Sullivan et al. (2010) as macrófitas aquáticas são reservatórios de energia e nutrientes, e a sua composição pode indicar o melhor uso possível desse recurso (HENRY-SILVA e CAMARGO, 2002). A maior parte dos estudos estão concentrados na *Pistia stratiotes*, *Eichornia crassipes* e *Salvinia molesta*.

Há também outras espécies que podem se apresentar vantajosas como a *Azolla pinnata* e *Spirodela intermédia*, que são plantas de menor porte, apresentam maior facilidade de manejo.

Juntas com a *Salvinia molesta*, estas espécies apresentam mesmo ciclo de produção (PIEIDADE et al., 2018).

Nesse contexto, objetivou-se quantificar a produção e caracterizar quanto a composição bromatológica e estoques de macronutrientes das macrófitas aquáticas flutuantes livres: *Salvinia molesta*, *Azolla pinnata* e *Spirodela intermedia*, cultivadas em efluente produzido por tilápias.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na Escola de Medicina Veterinária e Zootecnia, da Universidade Federal do Tocantins - UFT, campus de Araguaína, Tocantins, Brasil. Em conformidade com o Comitê de Ética no Uso de Animais da UFT, projeto protocolado com número 23.101.002.282/2019-65.

Conduziu-se em delineamento inteiramente casualizado com uso de três macrófitas (*Salvinia molesta*, *Azolla pinnata* e *Spirodela intermedia*), e com quatro repetições para cada, avaliados em quatro ciclos de produção, com duração de quinze dias para cada, nos meses de Junho a Junho do ano de 2019 e repetiu-se o estudo no ano de 2020.

Para produção do efluente utilizou-se doze viveiros de um m³ para o cultivo de tilápias, alimentadas *ad libitum*, estocadas a 2 kg m⁻³ de biomassa, corrigido a cada quinzena. Utilizou-se taxa de renovação diária de água, 10 % do volume total, removido da parte inferior da coluna de água do viveiro.

Interligado a cada viveiro, foi instalado um tanque de decantação de sólidos, com capacidade de 200 L⁻¹, e tempo de detenção hidráulica de 24 horas. Adotou-se a taxa de renovação diária de 50% do volume total de água, removido da parte superior da coluna de água.

As plantas foram cultivadas nesses tanques de decantação, sem adubação e/ou calagem, tendo o efluente como única fonte de nutrientes, condicionado a temperatura e luminosidade ambiente, sem termostatos ou aeradores, em área protegida por tela antipássaros e/ou invasores. Exemplos das macrófitas foram adquiridas de um produtor comercial, e após vinte dias de adaptação das plantas ao efluente e condições experimentais (temperatura, pH e demais parâmetros do efluente), as plantas se propagaram e os exemplares comerciais foram removidas do sistema, restando apenas aquelas que foram reproduzidas no ambiente do estudo.

Nesse intervalo observou-se o crescimento das macrófitas, que apresentaram período de ocupação de três dias, tempo necessário para que os exemplares que ocupavam inicialmente 50% da área, duplicassem a sua biomassa vegetal, ou seja, preencha o estande da lâmina de água. Adotou-se a relação 50/50: manutenção de 50% de biomassa residual, colheita de 50% de biomassa in natura, considerado a área de ocupação, coletados a cada três dias. As amostras de cada cinco coletas

compuseram a amostra do ciclo quinzenal para avaliação dos dados de produção, composição de macronutrientes e bromatológica.

As amostras coletadas foram secas em estufa de 55°C por 72 horas, para aquisição dos dados de massa seca (ASA). As mesmas amostras foram moídas e submetidas a análise de quantificação de Matéria Seca Definitiva a 105 °C (MSD). Foram quantificadas a composição bromatológica: Proteína bruta, pelo método kjeldahl; Energia bruta, em bomba calorimétrica; Cinzas em mufla Silva (SILVA e QUEIROZ, 2012); Fibra em detergente neutro (FDN) e ácido (FDA) e Lignina conforme a metodologia de Van Soest et al., 1991 e Van Soest, 1973.

Também foram quantificados os teores de macronutrientes (P; K; Ca e Mg via digestão seca): fósforo em espectrofotômetro; potássio em fotômetro de chamas; e cálcio e magnésio por titulação com EDTA, segundo metodologia da EMBRAPA 2005.

Os dados foram submetidos a teste de normalidade e homogeneidade das variâncias (shapiro-wilk e levene), atendidos os pré requisitos, conseguinte análise de variância, observado a significância, foram submetidos ao teste de Tukey a 5% de probabilidade do tipo I.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A herbácea *Salvinia molesta* apresentou maior produção de biomassa (Tabela 4.1). Houve diferença entre a produção das macrófitas em função do estudo, maior produção ocorreu no estudo de 2019 (médias: 1,97 > 1,57 MG de MS ha⁻¹ de lâmina de água, *P* valor: 0,0001), todas as plantas apresentaram menor produção, mas a *Azolla pinnata* apresentou decréscimo de 25,6% de produção de biomassa, e com isso, sua produção foi igualada a da *Spirodela intermedia* no estudo de 2020.

Tabela 4.1: Produção (MG MS ha⁻¹ lâmina de água) de plantas aquáticas flutuantes cultivadas em efluente de tilápias

	Ciclo		Ano
	2010	2020	Média
<i>Salvinia molesta</i>	2,28 ^a	1,96 ^a	50,86 ^a
<i>Azolla pinnata</i>	1,85 ^b	1,38 ^b	38,80 ^b
<i>Spirodela intermedia</i>	1,77 ^c	1,36 ^b	37,57 ^b
Médias	1,97	1,57	42,41
DMS	0,08	0,16	3,3
CV%	4,56	11,82	13,01
<i>P</i> valor	0,0001	0,0001	0,0001

Onde: DMS: Diferença Mínima Significativa; CV%: Coeficiente de Variação.

Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si, segundo teste de Tukey.

A combinação de elevadas temperaturas e pH básico causam interação de moléculas com partículas sólidas e com isso, afeta a disponibilidade de nutrientes para absorção pelas plantas e ainda afeta a própria capacidade do sistema radicular de absorção de nutrientes (MATOS e MATOS, 2017).

Não houve diferença entre esses parâmetros no efluente a que as plantas foram submetidas, todas tiveram as mesmas condições de temperatura ambiente e pH e CE semelhantes. Segundo

Piedade et al. (2018) a *S. molesta* é uma planta de apresenta adaptações as mais variadas condições ambientais, plasticidade fenotípica, o que justifica a sua maior produção, como sendo uma característica inerente da própria planta.

Estudos de Henry-Silva e Camargo (2006); Henry-Silva et al. (2008); Pistori et al. (2010) e Henares e Camargo (2014), encontraram produção máxima de 10 MG Ha Ano⁻¹, para *S. molesta*. Enquanto BASÍLICO et al., 2013 e SILVA et al., 2010 registraram produção de 8 e 12,8 MG Ha Ano⁻¹ da herbácea *S. intermedia*.

As macrófitas também diferiram entre os teores de umidade na biomassa (Tabela 4.2), as mais produtivas foram as que tiveram menor teor de massa seca, um contraste entre a *S. molesta* e *S. intermedia*.

Tabela 4.2: Teores de massa seca % de plantas aquáticas flutuantes livres cultivadas em efluente de tilápias

	ASA	MSD
<i>Salvinia molesta</i>	7,39 ^c	6,25 ^c
<i>Azolla pinnata</i>	10,45 ^b	9,58 ^b
<i>Spirodela intermedia</i>	15,21 ^a	14,10 ^a
Médias	10,86	9,98
DMS	3,92	0,1
CV%	10,26	1,50
<i>P valor</i>	0,0001	0,0001

Onde: ASA: Amostra seca ao ar; MSD: Matéria seca definitiva, amostra seca em estufa de 105°C.

DMS: Diferença Mínima Significativa; CV%: Coeficiente de Variação.

Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si, segundo teste de Tukey.

A samambaia *A. pinnata* apresentou maiores teores de energia e proteína bruta (Tabela 4.3), com menores teores parede celular, o que a torna atrativa para inclusão na alimentação de não ruminantes.

Tabela 4.3: Composição bromatológica (%MS) de plantas aquáticas flutuantes cultivadas em efluente de tilápias

	(cal g ⁻¹)		%			Lignina Cinzas	
	EB	PB	FDN	FDA			
<i>S. molesta</i>	3943,3 ^{ab}	31,04 ^{ab}	41,40 ^a	16,75 ^a	2,54 ^b	16,14 ^a	
<i>A. pinnata</i>	4178,7 ^a	36,21 ^a	28,97 ^b	10,43 ^b	3,71 ^a	13,72 ^b	
<i>S. intermedia</i>	3724,4 ^b	30,69 ^b	34,09 ^{ab}	14,65 ^a	3,45 ^a	15,91 ^a	
Médias	3948,8	32,65	34,82	13,94	3,23	15,26	
DMS	302,37	5,37	8,29	4,21	0,78	1,61	
CV%	3,53	7,81	14,56	17,15	42,17	6,29	
<i>P valor</i>	0,0001	0,002	0,004	0,041	0,015	0,0001	

Onde: EB: Energia Bruta; PB: Proteína Bruta; FDN: Fibra em Detergente Neutro; FDA: Fibra em Detergente Ácido.

DMS: Diferença Mínima Significativa; CV%: Coeficiente de Variação.

Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si, segundo teste de Tukey, considerando a significância de *P Valor*

Semelhantemente a ela em teor de energia e proteína, a *S. molesta* apresentou maior teor de parede celular (Tabela 4.3), que pode ser melhor aproveitado por ruminantes, pois seu baixo teor de lignina, menor entre as estudadas, implica em maior fração digestível dessa parede celular.

Estudo realizado por Henry-Silva e Camargo (2002) encontraram na *Salvinia molesta* 8,7% de PB; 3,8 % de extrato etéreo; 68,2% de FDN e 13,2% de FDA. Enquanto Laterme et al. (2009)

registraram 15,3 MJ de energia bruta para essa planta. Em ambos os estudos os autores não registraram teor de lignina.

Com base na composição bromatológica e teores de macronutrientes, observa-se que apesar de possuírem baixo teor de matéria seca (<15%), altos teores de FDN, e lignina desconsiderada por muitos autores, que pode ser atrativo para a produção de ruminantes, ou mesmo espécies de peixes com hábitos alimentares onívoros ou herbívoros, que apresentam elevada tolerância ou aproveitamento da fibra.

Alguns estudos com inclusão de macrófitas aquáticas na alimentação animal registraram melhor desempenho: Datta (2011) registrou maior ganho de peso e menor teor de gordura, quando incluiu 25% de farinha de *A. pinnata* desidratada na alimentação do peixe *Labeo rohita*. Segundo Cruz-Velásquez et al. (2014_b) a inclusão de 15% de *A. filiculoides* fermentada na alimentação da pirapitinga (*Piaractus brachypomus*) proporcionou maior ganho de peso e eficiência alimentar.

Resalta-se o estudo de Cruz-Velásquez et al. (2014_a) que registraram aumento na digestibilidade dos nutrientes da *Spirodela polyrhiza* fermentada na alimentação da pirapitinga (*Piaractus brachypomus*). Outros verificaram níveis que não afetam o desempenho animal: Para Alalade e Iyayi (2006) a inclusão de até 10% de farinha de *A. pinnata* na alimentação de pintos de postura; Enquanto Abdel-Tawwab (2008), até 25% de farinha de *A. pinnata* na alimentação de tilápias. Segundo Laterme et al. (2009; 2010) a inclusão de 15% de *Azola* na alimentação de suínos em crescimento e porcas marrãs.

Isso colabora para inclusão da herbácea na alimentação animal e substituição parcial a soja e milho, ingredientes de grande impacto no custo na alimentação animal. Embora alguns estudos tenham identificado fatores antinutricionais e/ou limitantes na inclusão de algumas dessas macrófitas: Cruz-Velásquez et al. (2014_c) verificaram efeito queda no desempenho de tilápias e pirapitinga após 60 dias de consumo de ração contendo 15% de *A. filiculoides*. Brouwer et al. (2018) registraram elevados teores de polifenóis na biomassa da *A. pinnata*. Enquanto Laterme et al. (2009) apontaram que a idade da *S. molesta* afeta negativamente a densidade energética e proteica na biomassa da planta.

O teor de cinzas, apresentado na tabela 4.3, por essas plantas também diferiu, com maiores valores para *S. molesta* e *S. intermedia*. Segundo os estoques de macronutrientes na biomassa vegetal (Tabela 4.4), enquanto a *Salvinia molesta* e *Azolla pinnata* apresentaram maiores estoques de nitrogênio e fósforo, a *Spirodela intermedia* apresentou maiores teores de potássio, cálcio e magnésio na sua biomassa seca.

Tabela 4.4: Estoques macronutrientes na biomassa de plantas aquáticas flutuantes cultivadas em efluente de tilápias

	g kg ⁻¹ MS			I Cálcio	mg kg ⁻¹ MS	
	Nitrogênio	Fósforo	Potássio		Magnésio	
<i>Salvinia molesta</i>	5,47 ^a	2,23 ^a	5,04 ^b	4,84 ^b	2,53 ^c	
<i>Azolla pinnata</i>	5,63 ^a	2,21 ^a	5,18 ^b	5,62 ^b	3,32 ^b	
<i>S. intermedia</i>	4,83 ^b	1,71 ^b	5,72 ^a	15,85 ^a	5,56 ^a	
Médias	5,31	2,05	5,31	8,77	3,79	
DMS	0,41	0,22	0,45	0,99	0,74	
CV%	11,14	15,30	12,13	16,32	28,28	
<i>P valor</i>	0,0001	0,0001	0,0012	0,0001	0,0001	

Onde: MS: Massa Seca; DMS: Diferença Mínima Significativa; CV%: Coeficiente de Variação.

Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si, segundo teste de Tukey, considerando a significância de *P Valor*

Segundo os teores de cálcio presentes na tabela 4.4, observa-se que a *Spirodela intermedia* possui característica que a difere das demais, trata-se de uma planta bioacumuladora para esse elemento, apresentou estoque de cálcio três vezes maior do que a média das outras plantas comparadas no mesmo sistema de cultivo.

Estudos com a *Salvinia molesta* registraram média de 12,47% de N na MS (MARTINS et al., 2003; LATERME et al., 2009; LATERME et al., 2010). Enquanto Henry-Silva e Camargo (2002) e Martins et al. (2003) registraram em média 0,25% de P na MS, Laterme et al. (2009) registrou 0,63 % de P e 0,11% da Ca na MS.

Dentre os fatores que podem influenciar nos estoques de macronutrientes, pode-se citar, a idade da planta e/ou regime de colheita, para Brouwer et al. (2018) a colheita contínua aumenta o rendimento de biomassa enquanto para Laterme et al. (2010) a idade da planta altera a densidade de nutrientes na biomassa. Baseado nisso a variação desses nutrientes na biomassa da planta deve ser considerada no uso ou reaproveitamento desse resíduo.

Uma prática comum de reaproveitamento nas unidades aquícolas é na alimentação de espécies herbívoras como a carpa capim, como fonte de fibra. Domingues et al. (2017) verificaram maior predação da *S. auriculata* pela carpa em tanque rede, enquanto que Pipalová (2003) cultivou *S. polyrhiza* em viveiros de carpa capim. Silva et al. (2014) sugerem o uso da espécie no controle de macrófitas aquáticas.

4.4 CONCLUSÕES

A herbácea *Salvinia Molesta* apresenta maior produtividade com 50,9 Mg ha⁻¹ de lâmina de água ao ano. As macrófitas *Salvinia Molesta* e *Azolla pinnata* possuem maiores teores de energia e proteína bruta (4,000 cal g⁻¹ MS; 33,6%), e se diferem quanto ao teor de parede celular (41,4% > 29%). Essas duas também possuem maiores estoques de nitrogênio e de fósforo (5,55 e 2,22 g kg⁻¹ MS) na biomassa, enquanto a *Spirodela intermedia* teve maiores estoques de potássio e magnésio (5,72 e 5,56 mg kg⁻¹ MS), também de cálcio (15,85 mg kg⁻¹ MS), três vezes maior do que a média das outras macrófitas.

REFERÊNCIAS

- ALALADE, O. A.; IYAYI, E. A. Chemical composition and the feeding value of *Azolla* (*Azolla pinnata*) meal for egg-type chicks. **International Journal of Poultry Science**, vol. 5, n. 2, pág137-141, 2006.
- ABDEL-TAWWAB, M. The preference of the omnivorous–macrophagous, *Tilapia zillii* (Gervais), to consume a natural free-floating Fern, *Azolla pinnata*. **Journal of the World Aquaculture Society** vol. 39, n. 1, pág 104–112, 2008, DOI:10.1111 / j.1749-7345.2007.00131.x
- BASÍLICO, G.; CABO, L.; FAGGI, A. Impacts of composite wastewater on a Pampean stream (Argentina) and phytoremediation alternative with *Spirodela intermedia* Koch (Lemnaceae) growing in batch reactors. **Journal of Environmental Management**, vol. 115, pág. 53-59, 2013, DOI: 10.1016/j.jenvman.2012.11.028
- BROUWER, P.; SCHLUEPMANN, H.; NIEROP, A. K. G. J.; ELDERSON, J.; BIJL, P. K.; MEER, I. V. D.; VISSER, W. REICHART, F. J.; SMEEKENSA, S. WERFC, A. V. Growing *Azolla* to produce sustainable protein feed: the effect of differing species and CO² concentrations on biomass productivity and chemical composition. **Jornal of the Science of Food and Agriculture**, vol. 98, n. 12, pág. 4759 – 4768, 2018, DOI:10.1002/jsfa.9016
- CRUZ-VELÁSQUEZ, Y.; KIJORA, C.; VÁSQUEZ-TORRES, W.; SCHULZ, C. Digestibility coefficients of sun dried and fermented aquatic macrophytes for Cachama blanca, *Piaractus brachypomus* (Cuvier, 1818). **Orinoquia**, vol.18, n.1, pág.220-228, 2014_a.
- CRUZ-VELÁSQUEZ, Y.; KIJORA, C.; AGUDELO-MARTÍNEZ, V.; SCHULZ, C. Inclusion of fermented aquatic plants as feed resource for Cachama blanca, *Piaractus brachypomus*, fed low-fish meal diets. **Orinoquia**, vol.18, n.1, pág. 229-236, 2014_b

CRUZ-VELÁSQUEZ, Y.; KIJORA, C.; VERGARA-HERNÁNDEZ, W.; SCHULZ, C. On-farm evaluation of Cachama blanca and Nile tilapia fed fermented aquatic plants in a polyculture.

Orinoquia, vol.18, n.1, pág.269-277, 2014.

DATTA, S. N. Culture of *Azolla* and its efficacy in diet of *Labeo rohita*. **Aquaculture**. vol. 310, n.4, pág. 376-379, 2011, DOI: 10.1016/j.aquaculture.2010.11.008

DOMINGUES, F. D.; STARLING, F. L. R. M.; NOVA, C.C.; LOUREIRO, B. R.; SOUZA, L. C.; BRANCO, C. W. C. The control of floating macrophytes by grass carp in net cages: experiments in two tropical hydroelectric reservoirs. **Aquaculture Research**. Vol. 48, n.7, pág. 3356-3368, 2017, DOI: 10.1111/are.13163

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de laboratórios: solo, água, nutrição vegetal, nutrição animal e alimentos**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2005. 334p.

HENARES, M. N. P.; CAMARGO, A. F. M. Estimating nitrogen and phosphorus saturation point for *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms and *Salvinia molesta* Mitchell in mesocosms used to treating aquaculture effluent. **Acta Limnologica Brasiliensia**, vol. 26, n. 4, pág. 420-428, 2014, DOI:10.1590/S2179-975X2014000400009

HENRY-SILVA, G. G.; CAMARGO, A. F. M. Nutritive value of free-floating aquatic macrophytes (*Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes* and *Salvinia molesta*), used in aquaculture waste treatment **Acta Scientiarum Biological Sciences**, vol.24, n.2, pág.519-526, 2002, DOI:10.4025/actascibiolsci.v24i0.2353

HENRY-SILVA, G.G.; CAMARGO, A.F.M. Chemical composition of floating aquatic macrophytes used to treat of aquaculture wastewater. **Planta Daninha**, vol, 24, n. 1, pág. 21-28, 2006a, DOI:10.1590/S0100-83582006000100003.

HENRY-SILVA, G. G.; CAMARGO, A. F. M.; PEZZATO, M. M. Crescimento de macrófitas aquáticas flutuantes em diferentes concentrações de nutrientes. **Hydrobiologia**, vol. 610, n. 153, 2008, DOI: 10.1007/s10750-008-9430-0

LATERME, P.; LONDONO, M.; MUNOZ J. E.; SUAREZ, J.; BEDOYA, C. A.; SOUFFRANT, W. S.; BULDGEN, A. Nutritional value of aquatic ferns (*Azolla filiculoides* and *Salvinia molesta*) in pigs. **Animal Feed Science and Technology**, vol. 149, n. 1, pág. 135-148, 2009, DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2008.04.013

LATERME, P.; LONDONO, A. M.; ORDONEZ, D. C.; ROSALES A.; ESTRADA, E.; BINDELLE, J.; BULDGEN A. Nutritional value and intake of aquatic ferns (*Azolla filiculoides* Lam. and *Salvinia molesta* Mitchell.) in sows. **Animal Feed Science and Technology**, vol. 155, n. 1, pág. 55 a 64, 2010, DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2009.10.002

MARTINS, D.; COSTA, N.V.; TERRA, M.A.; MARCHI, S.R.; VELINI, E.D. Chemical characterization of aquatic plants assessed in Salto Grande reservoir (Americana-SP, Brazil). **Planta Daninha**, vol.21, pág. 21-25, 2003, DOI: 10.1590/S0100-83582003000400004

MATOS, A. T.; MATOS M. P. Disposição de águas residuárias no solo e em sistemas alagados construídos. **Editora UFV**, Universidade Federal de Viçosa, MG, vol. 1, ed.1, pág 292 – 349, 2017.

PIEPADE, M. T. F.; LOPES, A.; DEMARCHI, L.O.; JUNK, W.; WITTMANN, F.; SCHONGART, J.; CRUZ, J. Guia de campo de herbáceas aquáticas da várzea amazônica. **Editora do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia**, edição n.1, vol. 1, pág 196 – 227, Manaus 2018.

PÍPALOVÁ, I. Grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) grazing on duckweed (*Spirodela polyrhiza*). **Aquaculture International**. Vol. 11, pág. 325–336, 2003, DOI: 10.1023/A:1025703227216

PIEIDADE, M. T. F.; JUNK, W. J.; D'ANGELO, S. A.; WITTMANN, F.; SCHONGART, J.; BARBOSA, K. M. N.; LOPES, A. Aquatic herbaceous plants of the Amazon floodplains: state of the art and research needed. **Acta Limnologica Brasiliensia**, vol. 22, n. 2, pág. 165-178. 2010, DOI: 10.4322/actalb.02202006

PISTORI, R. E. T.; HENRY-SILVA, G. G.; BIUDES, J. F. V.; CAMARGO, A. F. M. Influence of aquaculture effluents on the growth of *Salvinia molesta*. **Acta Limnologica Brasiliensia**, vol. 22, n. 2, pág.179-186, 2010, DOI:10.4322/actalb.02202007

POTT, V. J. POTT, A. Potencial de uso de plantas aquáticas na despoluição da água. **Embrapa Gado de Corte**, vol. 133, ed. 21, pág. 7 – 25, 2002. Disponível em: www.infoteca.cnptia.embrapa.br

SILVA, M. S. G. M.; LOSEKANN, M. E.; HISANO, H. Aquicultura: manejo e aproveitamento de efluentes. **Embrapa Meio Ambiente**, vol. 95. n. 1, pág 6 – 38, 2013. Disponível em: www.infoteca.cnptia.embrapa.br

SULLIVANA, C. O.; ROUNSEFELLA, B.; GRINHAM, A., KLARKE, W.; UDY, J. Anaerobic digestion of harvested aquatic weeds: water hyacinth (*Eichhornia crassipes*), cabomba (*Cabomba Caroliniana*) and salvinia (*Salvinia molesta*). **Ecological Engineering**, vol. 36, n. 10, 2010, pág. 1459-1468, DOI: 10.1016/j.ecoleng.2010.06.027

SILVA, A. F.; CRUZ, C.; PITELLI, R. L. C. M.; PITELLI, R. A. Utilização da carpa-capim (*Ctenopharyngodon idella*) como agente de controle biológico de macrófitas aquáticas submersas. **Planta daninha**. vol.32, n.4, pág.765-773, 2014, DOI:10.1590/S0100-83582014000400011

SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de Alimentos: métodos químicos e biológicos**. 2º Ed. Viçosa: UFV, 2002. pág. 65.

VAN SOEST, P. J.; ROBERTTSON, J. B.; LEWIS, B. A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **J. of Dairy Science**, 1991, vol.74, n.10, pág. 3583-3597.

VAN SOEST, P. J. Collaborative study of acid detergent fiber and lignin. J.. of the **Ass. of Off. Analytical Chemists**, 1973. vol.56, pág.81-784

XIAO, L.; YANG, L.; ZHANG, B; GU, Y.; JIANG, L; QIN, B. Solid state fermentation of aquatic macrophytes for crude protein extraction. **Ecological Engineering**. vol.35, n.11, pág.1668-1676, 2009, DOI:10.1016/j.ecoleng.2008.08.004

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dentre as principais espécies de macrófitas aquáticas flutuantes livres identificou-se oito espécies: *Pistia stratiotes*, *Eichornia crassipes*, *Salvinia molesta*, *Salvinia auriculata*, *Salvinia natans*, *Azolla pinnata*, *Azolla filiculoides* e *Spirodela intermedia* com potencial bioextrator de nutrientes do efluente de aquicultura, elas apresentam elevada produtividade de massa seca, em média de 4,25 MG ha⁻¹ de lâmina de água ao ano, com altos teores de fósforo, em média de 2,1 g kg⁻¹ MS, e também bioextração desse elemento de 98,4 kg ha⁻¹ de lâmina de água ao ano. Dentre as plantas estudadas a *P. stratiotes* possui maior capacidade de extrair os macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) do efluente de produção de tilápias. Dentre as macrófitas *S. molesta*, *A. pinnata* e *S. intermedia* a primeira teve maior produtividade, com 50,9 Mg ha⁻¹ e maior bioextração de N: 205, P: 77 e K: 200 kg ha⁻¹ de lâmina de água ao ano, enquanto a *S. intermedia* teve maior remoção de Ca: 309 e Mg: 136 g ha⁻¹ de lâmina de água ao ano. As macrófitas *S. Molesta* e *A. pinnata* concentram maiores teores de energia e proteína bruta (4.000 cal g⁻¹ MS; 33,6%), e maiores estoques de nitrogênio e de fósforo (5,55 e 2,22 g kg⁻¹ MS), enquanto a *S. intermedia* teve maiores estoques de potássio e magnésio (5,72 e 5,56 mg kg⁻¹ MS), também de cálcio (15,85 mg kg⁻¹ MS).

ANEXOS



Figura 1: Exemplos de macrófitas aquáticas flutuantes livres cultivadas em efluente de tilápias. (a) *Eichornia crassipes*; (b) *Pistia stratiotes*; (c) *Salvinia molesta*; (d) *Spirodela intermedia*.(e) *Azolla Pinnata*; (f) *Azolla filiculoides*;



Figura 2: Área de estudo, contendo os tanques de cultivos de peixes interligados aos tanques de decantação de sólidos, área de cultivo das macrófitas. Cada viveiro + tanque de decantação constitui em uma unidade experimental. O fluxo de água era controlado por registros nos tambores, que eram acionados eliminando parte do efluente que corresponde a parte superior da coluna de água, sem que houvesse perda de exemplares das plantas, logo após era fechado esse registro. Em seguida era aberto o registro das mangueiras, em sistema de sifão, pela diferença na coluna de água entre os dois, o efluente do fundo do viveiro, 10% do volume de água, era depositado no tanque de decantação até igualar as colunas de água. Esse registro era fechado e aberto o de água que alimenta o setor, para reposição do volume de água perdido pelos viveiros, e logo após o enchimento, era fechado pelas boias de água de cada viveiro (Arquivo pessoal).

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS DE ARAGUAINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
CIÊNCIA ANIMAL TROPICAL**

BR 153, Km 112, Zona Rural | CEP: 77804-970 | Araguaina/TO
(63) 341812-5424 | www.uf.edu.br | ppgcat@uf.edu.br



ATA DE DEFESA

Ata de defesa da tese: "Produção e caracterização de macrofitas aquáticas emergentes livres cultivadas em efluente de produção de tilápias"- no Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal Tropical (PPGCat) da Universidade Federal do Tocantins, (UFT) da Escola de Medicina Veterinária e Zootecnia (EMVZ).

Às 14h00min do dia 28 de junho de 2021- pelo Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIA ANIMAL TROPICAL- esteve reunida a banca de defesa da doutoranda: Tatiane de Sousa Cruz, constituída pelos seguintes membros: Prof. Dr. Antonio Clementino dos Santos; Prof. Dr. Luciano Fernandes; Prof. Drª Roberta Gomes Marçal Vieira Vaz; Prof. Dr. José Geraldo Donizette dos Santos e o Dr em Ciência Animal Tropical Otacílio Silveira Junior

Cabe ressaltar e constar em ata que os membros realizaram os trabalhos a distância por meio da tecnologia da informação, via internet.

Após finalizar os trabalhos a doutoranda foi APROVADA e os membros presentes assinaram a ata de defesa.

Observações para o doutoranda:

- () Aprovada.
 () Reprovada.
 () Aprovada com correções a serem conferidas pela banca.
 (x) Aprovada com correções a serem conferidas pelo orientador

MEMBROS DA BANCA	FUNÇÃO PRECIPUA	ASSINATURAS
Prof. Dr. Antonio Clementino dos Santos	Presidente da banca e orientador	
Prof. Dr. Luciano Fernandes Sousa	Avaliador	Participação a distância de acordo com Resolução do Conselho - UFT Nº 09, DE 14 DE MARÇO DE 2018. Presidente da banca e orientador
Prof. Drª Roberta Gomes Marçal Vieira Vaz	Avaliadora	Participação a distância de acordo com Resolução do Conselho - UFT Nº 09, DE 14 DE MARÇO DE 2018. Presidente da banca e orientador
Prof. Dr. José Geraldo Donizette dos Santos	Avaliador	Participação a distância de acordo com Resolução do Conselho - UFT Nº 09, DE 14 DE MARÇO DE 2018. Presidente da banca e orientador
Dr em Ciência Animal Tropical Otacílio Silveira	Avaliador	Participação a distância de acordo com Resolução do Conselho - UFT Nº 09, DE 14 DE MARÇO DE 2018. Presidente da banca e orientador

Prazo para entrega da tese corrigida: 60 dias

Observações: _____

Prof. Dr. Antonio Clementino dos Santos
Presidente da banca e orientador

UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CÂMPUS DE ARAGUAÍNA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
CIÊNCIA ANIMAL TROPICAL

BR 153, Km 112, Zona Rural | CEP: 77804-970 | Araguaína/TO
(63) 341012-5424 | www.uf.edu.br | ppgcat@uf.edu.br



HOMOLOGAÇÃO DA ATA DE DEFESA

O Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal Tropical da Universidade Federal do Tocantins, Escola de Medicina Veterinária e Zootecnia homologa a ata de defesa da tese da doutoranda: Tatiane de Sousa Cruz, defendida às 14h00 do dia 28 de junho de 2021. A banca de defesa foi constituída pelos seguintes membros: Prof. Dr. Antonio Clementino dos Santos; Prof. Dr. Luciano Fernandes; Prof. Dr. Roberta Gomes Marçal Vieira Vaz; Prof. Dr. José Geraldo Donizette dos Santos e o Dr em Ciência Animal Tropical Otacilio Silveira Junior.

Cabe ressaltar e constar em ata que os membros realizaram os trabalhos a distância por meio da tecnologia da informação, via internet.

MEMBROS DO COLEGIADO DO PPGCat	ASSINATURAS
A Ata de defesa da doutoranda Tatiane de Sousa Cruz foi homologada por meio do Colegiado do PPGCat, em reunião realizada on-line, devido a pandemia da Covid-19.	
ANTONIO CLEMENTINO DOS SANTOS	<i>Antonio Clementino dos Santos</i>

Antonio Clementino dos Santos

Prof. Dr. Antonio Clementino dos Santos
Presidente da banca e orientador