



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AQUICULTURA

ANA PAULA FIORI PIRES MERCADANTE

**AVALIAÇÃO DE LEMNAS (*Landoltia punctata*) APLICADAS À
REMOÇÃO DE NUTRIENTES E À VALORIZAÇÃO DE EFLUENTES
DA PISCICULTURA, EM SISTEMA DE RECIRCULAÇÃO**

FLORIANÓPOLIS-SC

2020

Ana Paula Fiori Pires Mercadante

**AVALIAÇÃO DE LEMNAS (*Landoltia punctata*) APLICADAS À
REMOÇÃO DE NUTRIENTES E À VALORIZAÇÃO DE EFLUENTES
DA PISCICULTURA, EM SISTEMA DE RECIRCULAÇÃO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação
em Aquicultura da Universidade Federal de Santa
Catarina para a obtenção do título de mestre em
Aquicultura

Orientador: Prof. Dr. Evoy Zaniboni Filho
Coorientador: Prof. Dr. Rodrigo de Almeida Mohedano

Florianópolis-SC

2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Mercadante, Ana Paula Fiori Pires

Avaliação de lemnas (*Landoltia punctata*) aplicadas à remoção de nutrientes e à valorização de efluentes da piscicultura, em sistema de recirculação / Ana Paula Fiori Pires Mercadante ; orientador, Evoy Zaniboni Filho, coorientador, Rodrigo de Almeida Mohedano, 2020.

39 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós Graduação em Aquicultura, Florianópolis, 2020.

Inclui referências.

1. Aquicultura. 2. Efluente da Piscicultura. 3. Fitorremediação. 4. Qualidade de água. 5. Macrófitas. I. Zaniboni Filho, Evoy . II. Mohedano, Rodrigo de Almeida . III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Aquicultura. IV. Título.

Ana Paula Fiori Pires Mercadante

**Avaliação de lemnas (*Landoltia punctata*) aplicadas à remoção de nutrientes e à
valorização de efluentes da piscicultura, em sistema de recirculação**

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora
composta pelos seguintes membros:

Prof. Evoy Zaniboni Filho, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Prof. Alex Pires De Oliveira Nuñez, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Profa. Catiane Pelissari, Dra.
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado
adequado para obtenção do título de mestre em Aquicultura.

Profa. Dra. Leila Hayashi
Coordenadora do Programa

Prof. Dr. Evoy Zaniboni Filho
Orientador

Florianópolis, 16 de dezembro de 2019.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, em especial ao meu marido pela paciência e apoio e à minha filha pelo amor e inspiração.

À UFSC e ao programa de Programa de Pós-Graduação em Aquicultura.

Ao meu orientador Evoy Zaniboni Filho e ao meu amigo e coorientador Rodrigo de Almeida Mohedano.

Aos laboratórios da UFSC: LAPAD, LABNUTRI, LIMNOS, LABFLU, LIMA. Em especial as pessoas que fizeram parte da minha rotina e me deram tanto apoio: Samira, Clara, Leo, Mary, Michelle, Maria Fernanda, Bruno, Pedrão, Renata, Carol, Bruna, Augusto.

À CAPES pelas bolsas concedidas e pelo direito à licença maternidade, sendo que “o presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (Portaria 206/CAPES/2018) – Código de Financiamento 001”.

Muito Obrigada!

RESUMO

A piscicultura, como uma atividade que depende diretamente da disponibilidade de água de boa qualidade, deve ser desenvolvida de forma a reduzir os impactos sobre este recurso incrementando a sua sustentabilidade. Deste modo, a consolidação de sistemas de tratamento de efluentes eficientes e com baixo custo são fundamentais para a perpetuação da atividade. Neste contexto o presente estudo avaliou a eficiência da macrófita aquática lemna *Landoltia punctata* (Lemnoideae) no tratamento de efluentes ricos em nutrientes oriundos da piscicultura. Para isso foi desenvolvido um experimento em escala piloto no qual foram testados três efluentes com concentrações baixa (tratamento 1), média (tratamento 2) e alta (tratamento 3) de cada um dos seguintes nutrientes: amônia (0,03; 0,06; 0,09 mg/l), nitrito (3,5; 7,00; 10,50 mg/l), nitrato (6,00; 12,00; 18,00 mg/l) e fosfato (15,00; 30,00; 45,00 mg/l). Estes valores foram definidos com base em resultados obtidos em sistema de recirculação em escala real. O experimento foi realizado nas dependências do LAPAD - Laboratório de Biologia e Cultivo de Peixes de Água Doce/UFSC por 30 dias nos meses de julho e agosto de 2019. Além da eficiência de remoção de NH_4 , NO_2 , NO_3 e PO_4 , foi avaliado o crescimento da biomassa das plantas e sua composição nutricional, para fins de valorização. Como resultado, observou-se que a biomassa das lemnas apresentou um crescimento mais acentuado nos tratamentos com a maior quantidade de nutrientes, o ganho de biomassa foi tratamento 1: $48,94 \pm 2,89 \text{g.m}^2.\text{dia}$; tratamento 2: $56,60 \pm 0,77 \text{g.m}^2.\text{dia}$ e o tratamento 3: $62,97 \pm 1,37 \text{g.m}^2.\text{dia}$. A remoção da amônia do tratamento 1 foi de 76%, do tratamento 2 de 78% e do tratamento 3 de 86%. O nitrito obteve 100% de remoção no dia 9 do experimento para todos os tratamentos, independente da concentração inicial. Todos os tratamentos obtiveram sucesso na remoção do nitrato, sua taxa de remoção do tratamento 1 foi de 96%, do tratamento 2 de 98% e do tratamento 3 de 99% e ao final do experimento todas as concentrações ficaram entre 0,24 e 0,28 mg/l em todos os tratamentos, todos por volta do dia 20. O fosfato, diferente do que se esperava, não foi removido durante todo período experimental. A biomassa final das plantas foi diferente entre os tratamentos e diretamente influenciada pela carga de nutrientes do efluente testado. A análise bromatológica avaliou a composição centesimal nos dias 21 e 30. No dia 30 a composição das lemnas não foi afetada pelos tratamentos. No dia 21 observou-se que as quantidades de proteína bruta e as cinzas foram afetadas nas plantas, porém o extrato etéreo, fibra e matéria seca não foram afetados pelos tratamentos. Portanto o uso de lemnas *Landoltia punctata* (Lemnoideae) para o polimento do efluente de piscicultura em recirculação se demonstrou viável para remoção dos compostos nitrogenados.

Palavras-chave: Aquicultura. Efluente da Piscicultura. Fitorremediação. Qualidade de água. Macrófitas.

ABSTRACT

Fish farming, as an activity that directly depends on the availability of good quality water, should be developed in order to reduce the impacts on this resource increasing its sustainability. Thus, the consolidation of efficient and low cost effluent treatment systems is fundamental for the perpetuation of the activity. In this context the present study evaluated the efficiency of the aquatic macrophyte duckweed *Landoltia punctata* (Lemnoideae) in the treatment of nutrient rich effluents from fish farming. For this, a pilot scale experiment was developed in which three effluents with low (treatment 1), medium (treatment 2) and high (treatment 3) concentrations of each of the following nutrients: ammonia (0,03; 0,06; 0,09 mg / l), nitrite (3,5; 7,00; 10,50 mg / l), nitrate (6,00; 12,00; 18,00 mg / l) and phosphate (15,00; 30,00; 45,00 mg / l). These values were defined based on results obtained in full scale recirculation system. The experiment was carried out at LAPAD - Laboratory of Freshwater Fish Biology and Cultivation / UFSC for 30 days in July and August 2019. In addition to the removal efficiency of NH_4 , NO_2 , NO_3 and PO_4 , it was evaluated the growth of plant biomass and nutritional composition for recovery purposes. As a result, it was observed that the duckweed biomass presented a more accentuated growth in the treatments with the highest amount of nutrients, the biomass gain was treatment 1: $48.94 \pm 2.89 \text{ g.m}^2.\text{day}$; treatment 2: $56.60 \pm 0.77 \text{ g.m}^2.\text{day}$ and treatment 3: $62.97 \pm 1.37 \text{ g.m}^2.\text{day}$. Ammonia removal from treatment 1 was 76%, treatment 2 78% and treatment 3 86%. Nitrite obtained 100% removal on day 9 of the experiment for all treatments, regardless of initial concentration. All treatments were successful in nitrate removal, their removal rate from treatment 1 was 96%, treatment 2 98% and treatment 3 99% and at the end of the experiment all concentrations were between 0.24 and 0.28 mg / l in all treatments, all around day 20. Phosphate, unlike expected, was not removed during the entire experimental period. The final biomass of the plants was different between the treatments and directly influenced by the nutrient load of the tested effluent. Bromatological analysis evaluated the centesimal composition on days 21 and 30. On day 30 the composition of the duckweed were not affected by the treatments. On day 21 it was observed that the amounts of crude protein and ash were affected in the plants, but the ether extract, fiber and dry matter were not affected by the treatments. Therefore, the use of *Landoltia punctata* (Lemnoideae) duckweed for the recirculating fish culture effluent polishing proved to be viable for the removal of nitrogen compounds.

Keywords: Aquaculture. Fish farming effluent. Phytoremediation. Water quality. Macrophytes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Concentração de Amônia em cada tratamento (mg/l) durante os 30 dias de experimento	23
Figura 2 – Regressão polinomial de segunda ordem da relação das concentrações de amônia na água com o período experimental dos tratamentos T2 e T3. Valores apresentados como Média \pm SEM. A: Tratamento T2, B: Tratamento T3.....	24
Figura 3 – Regressão polinomial de segunda ordem da relação das concentrações de nitrito na água com o período experimental do tratamento T1. Valores apresentados como Média \pm SEM. A: Tratamento T1, B: Tratamento T2	25
Figura 4 – Regressão polinomial de segunda ordem da relação das concentrações de nitrito na água com o período experimental do tratamento T3. Valores apresentados como Média \pm SEM.....	26
Figura 5 – Concentrações de nitrato (mg L ⁻¹) na água de todos os tratamentos até o 30º dia experimental	27
Figura 6 – Regressão polinomial de segunda ordem da relação das concentrações de nitrato na água com o período experimental do tratamento T1. Valores apresentados como Média \pm SEM. A: Tratamento T1, B: Tratamento T2	27
Figura 7 – Concentrações de fosfato (mg L ⁻¹) na água de todos os tratamentos até o 30º dia experimental	28
Figura 8 – Valores da proteína da composição centesimal em 21 e 30 dias de experimento...	30

LISTA DE IMAGENS

Imagem 1 – Local da coleta.....	19
Imagem 2 – Amostra da coleta.....	19
Imagem 3 – Retirada parcial de lemnas no 21° dia de experimento	21
Imagem 4 – Retirada total de lemnas no 30° dia de experimento	21
Imagem 5 – Lemnas no primeiro dia de experimento (dia 0)	29
Imagem 6 – Lemnas durante o experimento (dia 21).....	29
Imagem 7 – Lemnas no final do experimento (dia 30).....	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Análise da qualidade da água e do efluente produzido no LAPAD/UFSC	20
Tabela 2 – Concentração de nutrientes do experimento.....	20
Tabela 3 – Média da análise dos parâmetros da água.....	22
Tabela 4 – Resultados da análise de amônia	23
Tabela 5 – Concentrações de nitrito (mg L ⁻¹) na água de todos os tratamentos até o dia 9 do experimento	24
Tabela 6 – Resultados da análise de nitrato.....	26
Tabela 7 – Biomassa de lemnas gerada no experimento	28
Tabela 8 – Composição Centesimal de Lemnas expostas a diferentes concentrações de efluente durante 21 dias	30
Tabela 9 – Composição Centesimal de Lemnas expostas a diferentes concentrações de efluente durante 30 dias	30

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CASAN - Companhia Catarinense de Águas e Saneamento

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

KH_2PO_4 - Fosfato Monobásico de Potássio

KNO_2 - Nitrito de Potássio

Na_2CO_3 – Carbonato de Cálcio

NaHCO_3 – Bicarbonato de Cálcio

NaNO_3 - Nitrato de Sódio

NH_4Cl - Cloreto de Amônio

NH_3 – Amônia

NH_4^+ - Amônia ionizada

NO_2 - Nitrito

NO_3 - Nitrato

pH - Potencial de Hidrogênio

LABFLU – Laboratório de Efluentes Líquidos e Gasosos

LABNUTRI - Laboratório de Nutrição de espécies Aquícolas

LIMA – Laboratório Integrado de meio Ambiente

LIMNOS – Laboratório de Ecologia de Águas Continentais

LAPAD - Laboratório de Biologia e Cultivo de Peixes de Água Doce

ONU - Organização das Nações Unidas

T1 – Tratamento 1

T2- Tratamento 2

T3 – Tratamento 3

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	12
1.1	REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
1.2	OBJETIVOS.....	15
1.2.1	Objetivo Geral	15
1.2.2	Objetivos Específicos.....	15
2	ARTIGO.....	17
2.1	INTRODUÇÃO.....	18
2.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	19
2.2.1	Área de estudo	19
2.2.2	Delineamento Experimental	20
2.2.3	Amostragem e Análise de dados.....	21
2.2.4	Análise Estatística.....	22
2.3	RESULTADOS	22
2.5	DISCUSSÃO.....	31
2.6	CONCLUSÃO.....	33
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	34
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS DA INTRODUÇÃO GERAL	38

1 INTRODUÇÃO GERAL

1.1 REFERENCIAL TEÓRICO

As diversas questões ambientais e sociais que envolvem a água tornam a ciência cada dia mais imprescindível para sua preservação e uso consciente. Segundo a ONU, a qualidade da água em todo o mundo é ameaçada de forma crescente e um dos seus objetivos para mudar este panorama é: "Até 2020, proteger e restaurar ecossistemas relacionados com a água, incluindo montanhas, florestas, zonas úmidas, rios, aquíferos e lagos" pois "a água potável limpa, segura e adequada é vital para a sobrevivência de todos os organismos vivos e para o funcionamento dos ecossistemas, comunidades e economias" (ONU, 2010).

No Brasil, a importância da conservação dos recursos hídricos é ainda mais relevante ao considerarmos a posição estratégica de nosso país como detentor de grandes reservas de água no mundo. Deste modo, contamos com um arcabouço legal fundamentado na garantia aos usos múltiplos (Lei 9433/97) e com as resoluções do CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. O CONAMA "estabelece as condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água". A partir destas diretrizes a aquicultura se embasa e obtém suporte para atividades sustentáveis e em conformidade com as leis.

A Resolução do CONAMA nº 357/2005 estabelece nove classes de qualidade de água, em função dos principais usos, de acordo com essa Resolução as águas destinadas ao cultivo de organismos aquáticos para alimentação humana devem se manter no padrão da Classe 2. Para manter este padrão dentro dos limites máximos e mínimos estabelecidos é necessário monitorar os parâmetros: temperatura, oxigênio dissolvido, pH, a alcalinidade, dureza, a condutividade, transparência, amônia, nitrito, nitrato, nitrogênio total, fósforo total e a comunidade planctônica (VINATEA, 2003).

O cultivo de peixes é totalmente dependente de uma água de qualidade, porém no Brasil existe uma dificuldade para a percepção da fragilidade e das limitações deste recurso devido sua abundância (ZANIBONI-FILHO, 2005).

A aquicultura de água doce pode aumentar a carga de nutrientes dos sistemas fluviais, e segundo a FAO (2018) a tendência da aquicultura é crescer e desta forma estes nutrientes precisam ser avaliados e observados. A piscicultura, apesar da sua importância para suprimento mundial de proteína animal, é uma atividade causadora de degradação ambiental, pois gera um ambiente rico em nutrientes. As elevadas densidades de peixes produzem

matéria fecal, as altas taxas de alimentação geram restos de ração (ZANIBONI-FILHO, 2005).

Atualmente, sistemas de recirculação de água têm sido muito utilizados na aquicultura. Este método, em que a água é continuamente tratada e reutilizada, diminui a quantidade de água necessária ao cultivo, porém, alguns nutrientes tendem a se acumular e podem mudar as características da água.

A filtração biológica é um processo que facilita a retirada de nutrientes e que pode ser acelerado com o uso de equipamentos, mas que ocorre naturalmente em lagoas de tratamentos. Segundo Jordão e Pessoa (2005), as primeiras lagoas de depuração surgiram acidentalmente no ano de 1924 na Califórnia e na Dakota do Norte em 1928. As lagoas facultativas são a variante mais simples dos sistemas de lagoas de estabilização. Entre as vantagens destes sistemas estão a simplicidade de operação e a confiabilidade do funcionamento (SPERLING, 1996).

Dentre as configurações de lagoas de estabilização encontram-se as lagoas de macrófitas aquáticas, caracterizadas pelo recobrimento de sua superfície por uma ou mais espécies de macrófitas flutuantes. Nesse contexto, as lagoas de lemnas apresentam-se como uma tecnologia alternativa e promissora para a remoção de nutrientes aliado à produção de biomassa passível de valorização, e com baixo custo de implantação e manutenção (CAICEDO, 2005; MOHEDANO, 2012). Muitas macrófitas aquáticas são capazes de recuperar ou extrair nutrientes devido às elevadas taxas de crescimento, promovendo a fitorremediação de águas residuais (ANSAL *et al.*, 2010).

Os sistemas de lagoas aplicadas necessitam de uma etapa terciária de tratamento, para adequação do efluente às exigências dos padrões estabelecidos na legislação ambiental, esta etapa com o auxílio de lemnas resulta no polimento do efluente (VON SPERLING *apud* GOMES, 2010).

A nomenclatura “macrófita aquática” é a mais empregada no nosso país e foi sugerida por Weaner e Clements em 1938. Ela é sinônima de tantas outras nomenclaturas, como: plantas aquáticas, hidrófitas, eulófitas, limnófitos, entre outros (TONON, 2016). Já o termo “lentilha d’água” é utilizado na tradução da palavra em inglês “duckweed”. No Brasil, é utilizado o termo lemna, derivada da palavra grega “limne” que significa lagoa, este termo se refere a um gênero de plantas aquáticas flutuantes, pertencentes a subfamília Lemnoideae (APG III, 2015).

As lemnas são plantas aquáticas de livre flutuação e caracterizadas por um crescimento rápido e contínuo podendo cobrir completamente a superfície de água formando

uma camada verde espessa (SHAMMOUT *et al.*, 2015). Elas são uma das menores plantas no mundo e de mais rápido crescimento, frequentemente dobrando sua biomassa em condições ótimas em até dois dias (CULLEY *et al.*, 1981, CHENG *et al.*, 2002) ou ainda em apenas 36 horas (POPA *et al.*, 2017).

A espécie escolhida para este estudo foi a *Landoltia punctata*. Esta espécie apresenta seu tamanho variando entre 3 e 5 mm e é caracterizada por ter corpo achatado, verde escuro na parte superior e com células de pigmento marrom na epiderme (LES E CRAWFORD, 1999). A classificação taxonômica desta espécie é:

Reino: Plantae

Divisão: Angiospermae

Classe: Monocotyledoneae

Ordem: Arales

Família: Araceae (Lemnaceae até 2000)

Sub-família: Lemnoideae

Gênero: *Landoltia*

Espécie: *Landoltia punctata*

A produção de macrófitas aquáticas em efluentes da aquicultura é considerada uma alternativa para reduzir o aporte nutrientes lançados na água e no solo, neste contexto, as plantas da sub-família Lemnoideae mostraram grande habilidade na capacidade de assimilar nutrientes e de criar condições favoráveis para a decomposição microbiana da matéria orgânica (GALAVIZ-VILLA, 2016). Embora seja uma planta de pequeno porte suas propriedades a tornam adequada para diversas utilizações, como: produção de biocombustível, aquaponia, fonte de alimento, tratamento de águas residuais (POPA *et al.*, 2017).

Compostos nitrogenados como amônia, nitrito e nitrato são considerados os principais contaminantes da aquicultura, sua presença além de interferir no oxigênio dissolvido na água pode também interferir na taxa de crescimento dos peixes e os tornam mais susceptíveis a doenças (SIRAKOV *et al.*, 2015).

Macrófitas inseridas em sistemas de tratamento da aquicultura contribuem para a transformação de nutrientes através de processos físicos, químicos e biológicos, atuando na remoção de nutrientes para seu próprio crescimento (SIRAKOV *et al.*, 2015). As lemnas podem diminuir com sucesso compostos nitrogenados e fosfatados dissolvidos na água (POPA *et al.*, 2017).

A utilização de lagoas de lemnas tem demonstrado grande eficiência na remoção de matéria orgânica, nutrientes e micropoluentes, com eficiências em torno de 95% (SMITH e MOELYOWATI, 2001; RAN *et al.*, 2004; MANDAL *et al.*, 2010; MOHEDANO *et al.*, 2012.). Para nutrientes da aquicultura as lemnas possuem excelente desempenho, com eficiência de 94% na remoção de fósforo (MOHEDANO *et al.*, 2012), sendo que as lemnas apresentam mais fósforo em seu tecido que outras plantas aquáticas flutuantes tornando-as uma boa opção na eficiência da remoção deste composto (FARREL, 2012).

Estudos tem demonstrado que as lemnas podem substituir a farinha de peixe das rações e desta forma diminuir custos, pois ela pode conter de 35% a 45% de proteína bruta, um bom equilíbrio de aminoácidos e perfil mineral (MOHEDANO *et al.*, 2005; POPA *et al.*, 2017). Métodos abrangentes de biotransformação, além de trazer benefícios ecológicos e sociais, permitem a produção adicional de alimentos sem outros custos de insumos (GALAVIZ-VILLA, 2016 *apud* TROELL *et al.*, 2005).

A remoção de nutrientes pelas macrófitas é uma forma barata e de fácil implementação comercial (MATOS *et al.*, 2014). Tratamentos de efluentes com auxílio de lemnas são relativamente simples na operação e manutenção, não exigem tecnologias ou equipamentos caros. Portanto, esta tecnologia pode ser considerada econômica e ecológica (POPA *et al.*, 2017).

Desta forma o objetivo foi avaliar a potencialidade das lemnas no tratamento do efluente de pisciculturas de água doce em recirculação.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar o uso de lemnas *Landoltia punctata* (Lemnoideae) para o polimento do efluente de piscicultura em recirculação.

1.2.2 Objetivos Específicos

Avaliar a capacidade de lemna *Landoltia punctata* (Lemnoideae) para a remoção de compostos nitrogenados e fosfatados dissolvidos.

Avaliar a dinâmica de alteração da qualidade da água contendo distintas cargas de nutrientes quando expostas a uma determinada biomassa de lemna.

Estimar o tempo de detenção necessário para fazer o polimento de cada efluente testado.

Avaliar a produtividade de biomassa das plantas e sua potencialidade de uso como ingrediente para formulação de ração animal.

2 ARTIGO

“APLICAÇÃO DE LEMNAS *Landoltia punctata* (LEMNOIDEAE) NO PROCESSO DE FITORREMEDIAÇÃO DE EFLUENTES DA PISCICULTURA RICOS EM COMPOSTOS NITROGENADOS E FOSFATADOS”

Este artigo será submetido a revista “Chemosphere”

Fator de impacto: 5,108

ABSTRACT

Fish farming, as an activity that directly depends on the availability of good quality water, should be developed in order to reduce the impacts on this resource increasing its sustainability. Thus, the consolidation of efficient and low cost effluent treatment systems is fundamental for the perpetuation of the activity. In this context the present study evaluated the efficiency of the aquatic macrophyte duckweed *Landoltia punctata* (Lemnoideae) in the treatment of nutrient rich effluents from fish farming. For this, a pilot scale experiment was developed in which three effluents with low (treatment 1), medium (treatment 2) and high (treatment 3) concentrations of each of the following nutrients: ammonia (0,03; 0,06; 0,09 mg / l), nitrite (3.5; 7.00; 10.50 mg / l), nitrate (6.00; 12.00; 18.00 mg / l) and phosphate (15,00; 30.00; 45.00 mg / l). These values were defined based on results obtained in full scale recirculation system. The experiment was carried out at LAPAD - Laboratory of Freshwater Fish Biology and Cultivation / UFSC for 30 days in July and August 2019. In addition to the removal efficiency of NH_4 , NO_2 , NO_3 and PO_4 , it was evaluated the growth of plant biomass and nutritional composition for recovery purposes. As a result, it was observed that the duckweed biomass presented a more accentuated growth in the treatments with the highest amount of nutrients, the biomass gain was treatment 1: $48.94 \pm 2.89 \text{ g.m}^2.\text{day}$; treatment 2: $56.60 \pm 0.77 \text{ g.m}^2.\text{day}$ and treatment 3: $62.97 \pm 1.37 \text{ g.m}^2.\text{day}$. Ammonia removal from treatment 1 was 76%, treatment 2 78% and treatment 3 86%. Nitrite obtained 100% removal on day 9 of the experiment for all treatments, regardless of initial concentration. All treatments were successful in nitrate removal, their removal rate from treatment 1 was 96%, treatment 2 98% and treatment 3 99% and at the end of the experiment all concentrations were between 0.24 and 0.28 mg / l in all treatments, all around day 20. Phosphate, unlike expected, was not removed during the entire experimental period. The final biomass of the plants was different between the treatments and directly influenced by the nutrient load of the tested effluent. Bromatological analysis evaluated the centesimal composition on days 21 and 30. On day 30 the composition of the duckweed were not affected by the treatments. On day 21 it was observed that the amounts of crude protein and ash were affected in the plants, but the ether extract, fiber and dry matter were not affected by the treatments. Therefore, the use of *Landoltia punctata* (Lemnoideae) duckweed for the recirculating fish culture effluent polishing proved to be viable for the removal of nitrogen compounds.

2.1 INTRODUÇÃO

As diversas questões ambientais e sociais que envolvem a água tornam a ciência cada dia mais imprescindível para sua preservação e uso consciente. Segundo ONU (2010) a qualidade da água em todo o mundo é ameaçada de forma crescente. No Brasil, a importância da conservação dos recursos hídricos é ainda mais relevante ao considerarmos a posição estratégica de nosso país como detentor de grandes reservas de água.

O cultivo de peixes é totalmente dependente de uma água de qualidade, porém no Brasil existe uma dificuldade para a percepção da fragilidade e das limitações deste recurso devido sua abundância (ZANIBONI-FILHO, 2005).

Atualmente, sistemas de recirculação têm sido muito utilizados na aquicultura, este método em que a água do sistema de criação é continuamente tratada e reutilizada diminui a quantidade de água utilizada no sistema, porém alguns nutrientes tendem a sempre se elevarem. A produção de macrófitas aquáticas em efluentes da aquicultura é considerada uma alternativa para reduzir o aporte nutrientes lançados na água e no solo, neste contexto, as plantas da sub-família Lemnoideae mostraram grande habilidade na capacidade de assimilar nutrientes e de criar condições favoráveis para a decomposição microbiana da matéria orgânica (GALAVIZ-VILLA, 2016).

Compostos nitrogenados como, amônia, nitrito e nitrato são considerados os principais contaminantes da aquicultura, sua presença além de interferir no oxigênio dissolvido na água pode também interferir na taxa de crescimento dos peixes e estes ficam mais susceptíveis a doenças (SIRAKOV *et al.*, 2015).

A remoção de nutrientes pelas macrófitas é uma forma barata e de fácil implementação comercial (MATOS *et al.*, 2014). Tratamentos de efluentes com auxílio de lemnas são relativamente simples na operação e manutenção, não exigem tecnologias ou equipamentos caros. Portanto, esta tecnologia pode ser considerada econômica e ecológica (POPA *et al.*, 2017). Desta forma o objetivo foi avaliar a potencialidade das lemnas no tratamento do efluente de pisciculturas de água doce em recirculação com diferentes cargas de nutrientes.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Área de estudo

O experimento foi realizado na cidade de Florianópolis, capital de Santa Catarina, a cidade se encontra nas seguintes coordenadas geográficas: Latitude: 27° 35' 49" Sul, Longitude: 48° 32' 58" Oeste. Na classificação climática de Köppen, a mais utilizada em todo o mundo, o território catarinense se enquadra nos climas do grupo C: mesotérmico e Florianópolis tem clima Cfa: Clima mesotérmico úmido com chuvas bem distribuídas, verões quentes e invernos brandos. Devido estas características o experimento foi conduzido ao abrigo de chuva e em condições naturais de radiação solar, havendo exposição direta de luz solar sobre as unidades experimentais por cerca de 10 horas diárias.

As macrófitas utilizadas foram provenientes de uma lagoa artificial existente dentro do Campus Universitário da UFSC (Imagem 1). A coleta foi realizada manualmente com auxílio de rede de nylon, as macrófitas foram armazenadas em sacos plásticos e transportadas imediatamente para o LAPAD, onde foram lavadas com água e depois pesadas numa balança de precisão. A identificação da espécie (Imagem 2) foi confirmada pelo biólogo Dr. Rodrigo de Almeida Mohedano, professor do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC.

Imagem 1- Local de coleta.



Fonte: A autora (2019).

Imagem 2- Amostra da coleta.



Fonte: A autora (2019).

2.2.2 Delineamento Experimental

O LAPAD é um laboratório que mantém diferentes espécies de peixes em uma água em recirculação e alimentados com ração comercial. Foi feita uma análise prévia do efluente da retrolavagem do LAPAD no mês abril de 2019, como mostra a tabela 1.

Tabela 1 - Análise da qualidade da água e do efluente produzido no LAPAD/UFSC.

LAPAD/UFSC	08/04/2019
Análises preliminares	retrolavagem
Alcalinidade (mg/l)	73,40
Nitrito (mg/l)	3,55
Nitrato (mg/l)	5,86
Amônia (mg/l)	0,03
Nitrogênio Total (mg/l)	25,61
Fósforo total (mg/l)	14,88
pH	7,65

Foi elaborado um efluente sintético com água da rede municipal declorada e adicionado Nitrito de Potássio (KNO_2), Nitrato de Sódio (NaNO_3), Cloreto de Amônio (NH_4Cl) e Fosfato Monobásico de Potássio (KH_2PO_4), de modo a preparar soluções contendo as concentrações apresentadas na tabela 2. A solução com a menor concentração de nutrientes está de acordo àquela observada na água descartada na retrolavagem do filtro rotativo do sistema de recirculação de água, que mantém uma biomassa de 150 kg de peixe. Os demais tratamentos mantém a mesma proporção de nutrientes considerando valores de 200% e 300% desse efluente.

Tabela 2 – Concentração de nutrientes do experimento.

	Nitrito (mg/l)	Nitrato (mg/l)	Amônia (mg/l)	Fósforo (mg/l)
Tratamento 1	3,50	6,00	0,03	15,00
Tratamento 2	7,00	12,00	0,06	30,00
Tratamento 3	10,50	18,00	0,09	45,00

Foram avaliados efluentes com três concentrações distintas, em triplicata, totalizando 9 unidades experimentais. Foram utilizados tanques circulares, com diâmetro de 70cm e 150 litros de volume. Cada unidade experimental recebeu 100 litros de água contendo os nutrientes previstos para os distintos tratamentos e definidos por sorteio. Posteriormente, cada

tanque recebeu 154 g de lemnas, quantidade equivalente a biomassa de 300 gramas por metro quadrado. O experimento foi realizado durante o inverno e conduzido por 30 dias.

2.2.3 Amostragem e Análise de dados

O monitoramento da qualidade de água foi realizada a cada três dias, sempre as 9:00h. Uma amostra de 400 ml era retirada de cada unidade experimental e dividida em duas frações iguais, sendo uma delas filtrada com auxílio da Bomba Gamma, modelo G2762/BR/QB80/Periférica e congelada e a outra congelada na forma bruta. Foram mantidas numa temperatura de -20°C até a realização das análises. Foi feito um monitoramento diário do crescimento da população de macrófitas, sendo feita uma remoção parcial no 21º dia do experimento, de forma a ficarem homogêneas nos tanques e para manterem a densidade ótima, uma vez que o excesso ou a falta de macrófitas acarretam em perda de eficiência. No ultimo dia do experimento todas as macrófitas foram retiradas (Imagem 4), pesadas e armazenadas para posterior análise bromatológica.

Imagens 3 e 4- Retirada parcial de lemnas no 21º dia de experimento e retirada total das lemnas no 30º dia, respectivamente.



Fonte: A autora (2019).

As variáveis de qualidade d'água analisadas em todos os dias de coleta foram: condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$), pH, oxigênio dissolvido (mg L^{-1}), temperatura ($^{\circ}\text{C}$), com auxílio de um multiparâmetro (sonda YSI – Professional Series).

Para avaliação e determinação de amônia, nitrito, nitrato e fosfato foi utilizado o cromatógrafo de íons seguindo a metodologia descrita pelo fabricante (EITH, *et al*, 2006). Foi

utilizado o cromatógrafo modelo Compact IC flex 930 da Metrohm® equipado com a coluna Metrosep A Supp 17-150/4.0 a 25°C. O eluente utilizado foi a solução de carbonato de sódio (Na_2CO_3)-5,0 mmol/L e bicarbonato de sódio (NaHCO_3)- 0,2 mmol/L sob fluxo de 0,6 mL/min. A solução de supressão utilizada foi ácido sulfúrico 100 mmol/L. As amostras foram filtradas (0,45 μm). Foi utilizada uma diluição de 10 vezes, sendo que o volume de amostra bruta injetada foi de 1 ml em 9ml de água ultrapura.

A biomassa total de plantas produzida em cada unidade experimental foi obtida pelo somatório do valor removido no 21º dia e aquele obtido no encerramento do experimento. As análises bromatológicas foram realizadas com 100g de biomassa de cada unidade experimental do 21º dia e do 30º dia.

Em todas as frações foram realizadas análises da composição centesimal de acordo com metodologia padronizada pela AOAC (1999): proteína bruta (microKjeldhal, com fator de conversão de 6,25; método 945.01), extrato etéreo (Soxhlet; método 920.39C), matéria seca (por gravimetria a 105 °C; método 950.01), cinzas (incineração em forno mufla; método 942.05); Fibra em detergente neutro: Método Van Soest.

2.2.4 Análise Estatística

Os valores de qualidade de água foram submetidos à análise de regressão polinomial de segunda ordem. Para os resultados da composição centesimal das plantas foram testados quanto à homocedasticidade e normalidade antes de uma ANOVA de uma via, sendo aplicado o teste de Tukey para comparar as médias, quando necessário. Para todas as análises, foi utilizado o software Statistica 10.0 (Statsoft Inc., Tulsa, EUA) e adotado um nível de significância de 5%.

2.3 RESULTADOS

Os resultados dos parâmetros da água temperatura, oxigênio dissolvido, pH, salinidade e condutividade da qualidade da água se encontra na Tabela 3.

Tabela 3 - Média da análise dos parâmetros da água. Valores apresentados como Média \pm SD.

	Temp. (°C)	O.D. (mg/l)	pH	Sal. (mg/l)	Conditiv. (uS/cm)
Tratamento 1	19,10 \pm 3,43	7,24 \pm 1,47	6,66 \pm 0,28	0,06 \pm 0,00	124,65 \pm 10,14
Tratamento 2	19,09 \pm 6,42	7,26 \pm 1,04	6,70 \pm 0,39	0,08 \pm 0,01	156,37 \pm 09,43
Tratamento 3	19,21 \pm 3,62	7,22 \pm 0,98	6,62 \pm 0,26	0,09 \pm 0,01	195,74 \pm 14,63

Os resultados dos parâmetros de amônia se encontram na Tabela 4, Figura 1 e 2.

Tabela 4: Resultados da análise de amônia (mg/l).

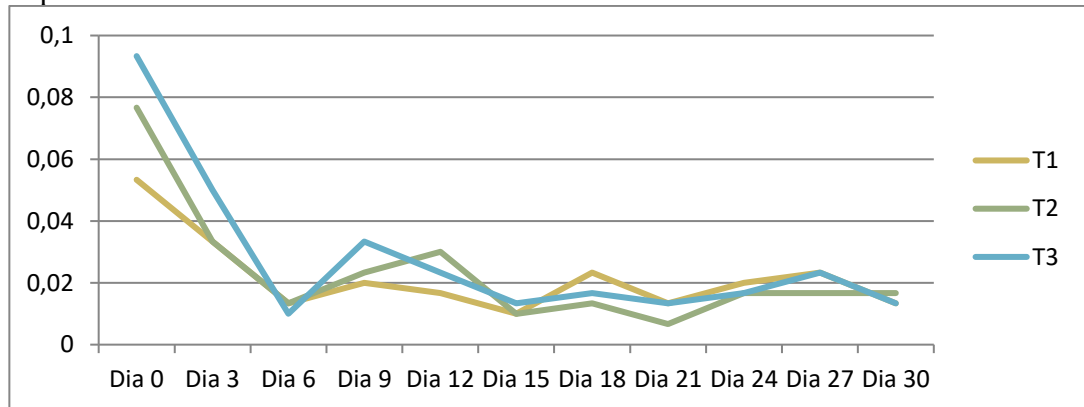
AMÔNIA	Dia 0	Dia 3	Dia 6	Dia 9	Dia 12	Dia 15	Dia 18	Dia 21	Dia 24	Dia 27	Dia 30
T1	0,053	0,033	0,013	0,02	0,017	0,01	0,0233	0,0133	0,02	0,0233	0,0133
T2	0,077	0,033	0,013	0,023	0,03	0,01	0,0133	0,0067	0,0167	0,0167	0,0167
T3	0,093	0,05	0,01	0,033	0,023	0,013	0,0167	0,0133	0,0167	0,0233	0,0133

A amônia do T1 obteve uma média de remoção de 76%.

A amônia do T2 obteve uma média de remoção de 78%.

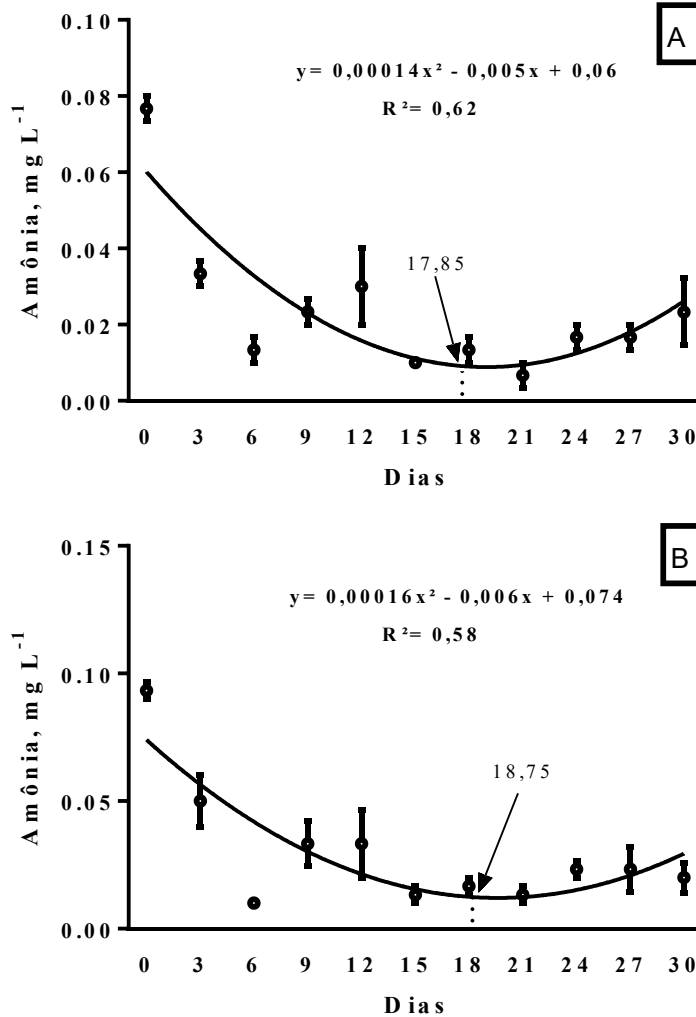
A amônia do T3 obteve uma média de remoção de 86%.

Figura 1: Concentração de Amônia em cada tratamento (mg/l) durante os 30 dias de experimento.



A amônia do tratamento T2 apresentou seu menor valor no 17º dia de experimento (Figura 2A). A amônia do T3 apresentou seu menor valor no 18º dia (Figura 2B). Os tratamentos T2 e T3 apresentaram relação com a remoção da amônia com o período experimental (Figuras 2A e 2B).

Figura 2 - Regressão polinomial de segunda ordem da relação das concentrações de amônia na água com o período experimental dos tratamentos T2 e T3. Valores apresentados como Média \pm SEM. A: Tratamento T2, B: Tratamento T3.



O nitrito foi totalmente consumido depois de nove dias de exposição dos efluentes às plantas, independente da carga de nutrientes testada foi observada uma taxa de remoção de 100% (Tabela 5).

Tabela 5 - Concentrações de nitrito (mg.L^{-1}) na água de todos os tratamentos até o dia 9 do experimento*. Valores apresentados como Média \pm SD.

Tratamento	Dias de experimento				P	y^{**}	R^2
	0	3	6	9			
T1	$0,55 \pm 0,19$	$0,06 \pm 0,04$	$0,06 \pm 0,04$	$0,00 \pm 0,00$	0,0005	$0,001x^2 - 0,04x + 0,35$	0,57
T2	$0,33 \pm 0,03$	$0,07 \pm 0,01$	$0,13 \pm 0,01$	$0,00 \pm 0,00$	<0,0001	$0,006x^2 - 0,02x + 0,24$	0,76
T3	$0,80 \pm 0,23$	$0,12 \pm 0,04$	$0,12 \pm 0,01$	$0,00 \pm 0,00$	<0,0001	$0,001x^2 - 0,06x + 0,54$	0,64

* Do dia 9 ao dia 30, todos os tratamentos apresentaram médias de nitrito igual a $0,00 \text{ mg L}^{-1}$.

** Equação gerada a partir de todos os dados dos 30 dias de experimento

O nitrito do tratamento T1 apresentou seu menor valor no 18º dia de experimento (Figura 3A). O nitrito do T2 apresentou seu menos valor no 16º dia (Figura 3B). Os tratamentos T1 e T2 apresentaram relação com a remoção do nitrito com o período experimental (Figuras 3A e 3B).

Figura 3 - Regressão polinomial de segunda ordem da relação das concentrações de nitrito na água com o período experimental do tratamento T1. Valores apresentados como Média \pm SEM. A: Tratamento T1, B: Tratamento T2.

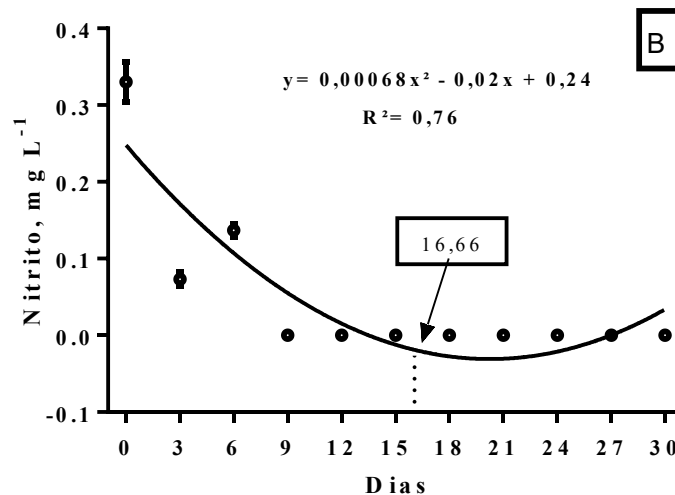
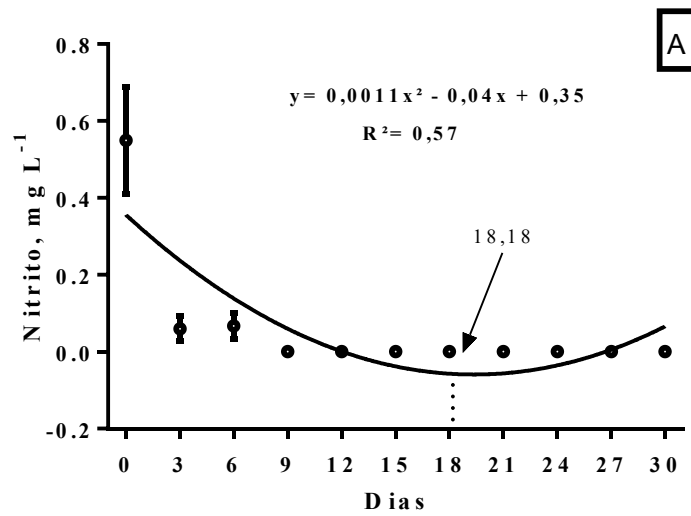
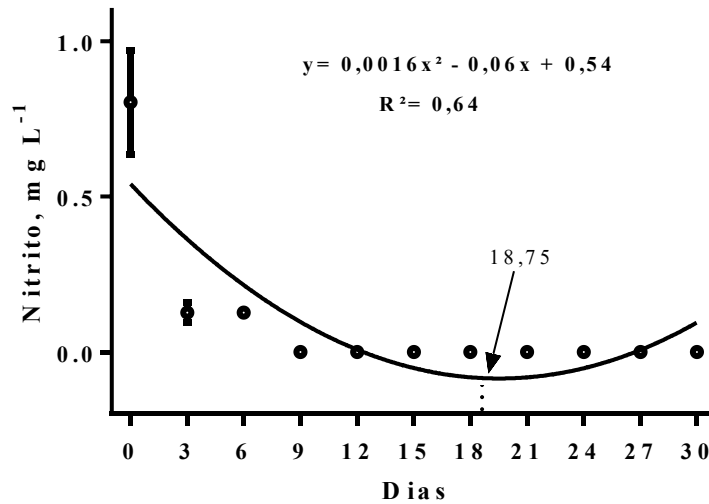


Figura 4 - Regressão polinomial de segunda ordem da relação das concentrações de nitrito na água com o período experimental do tratamento T3. Valores apresentados como Média \pm SEM.



Todos os tratamentos obtiveram sucesso na remoção do nitrato, ao final do experimento todas as concentrações ficaram entre 0,24 e 0,28 mg/l (Tabela 6). Houve uma maior taxa de remoção de nitrato naqueles tratamentos contendo maior carga de nutrientes.

Os tratamentos T1 e T2 apresentaram relação da remoção do nitrato com o período experimental (Figuras 5 e 7). O tratamento T3 apresentou o mesmo comportamento de desaparecimento dos demais tratamentos.

Tabela 6 – Resultados da análise de Nitrato (mg/l).

NITRATO	Dia 0	Dia 3	Dia 6	Dia 9	Dia 12	Dia 15	Dia 18	Dia 21	Dia 24	Dia 27	Dia 30
T1	6,27	6,84	2,41	0,29	0,22	0,11	0,46	0,18	0,42	0,20	0,24
T2	16,11	15,33	9,82	4,55	2,66	0,51	0,16	0,12	0,31	0,19	0,25
T3	21,05	23,74	18,12	12,69	10,31	6,89	3,59	1,81	0,24	0,19	0,28

O nitrato do T1 obteve uma média de remoção de 96%.

O nitrato do T2 obteve uma média de remoção de 98%.

O nitrato do T3 obteve uma média de remoção de 99%.

Figura 5 – Concentrações de nitrato (mg L^{-1}) na água de todos os tratamentos até o 30º dia experimental.

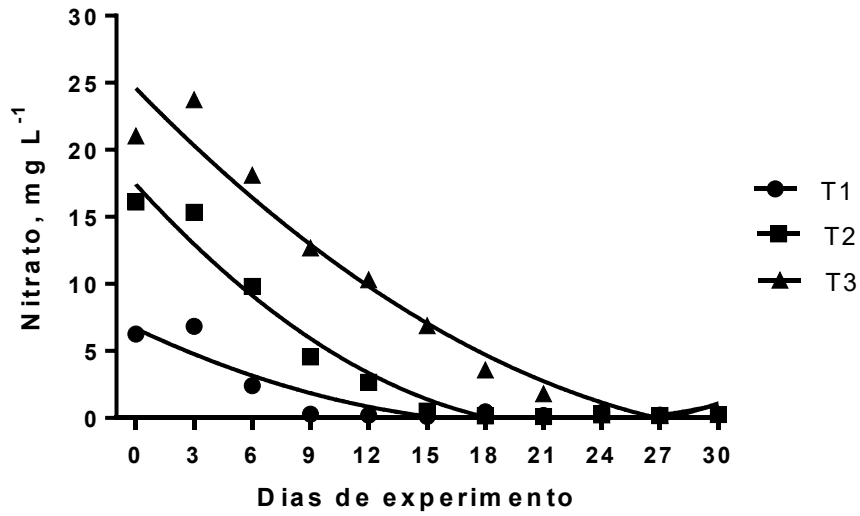
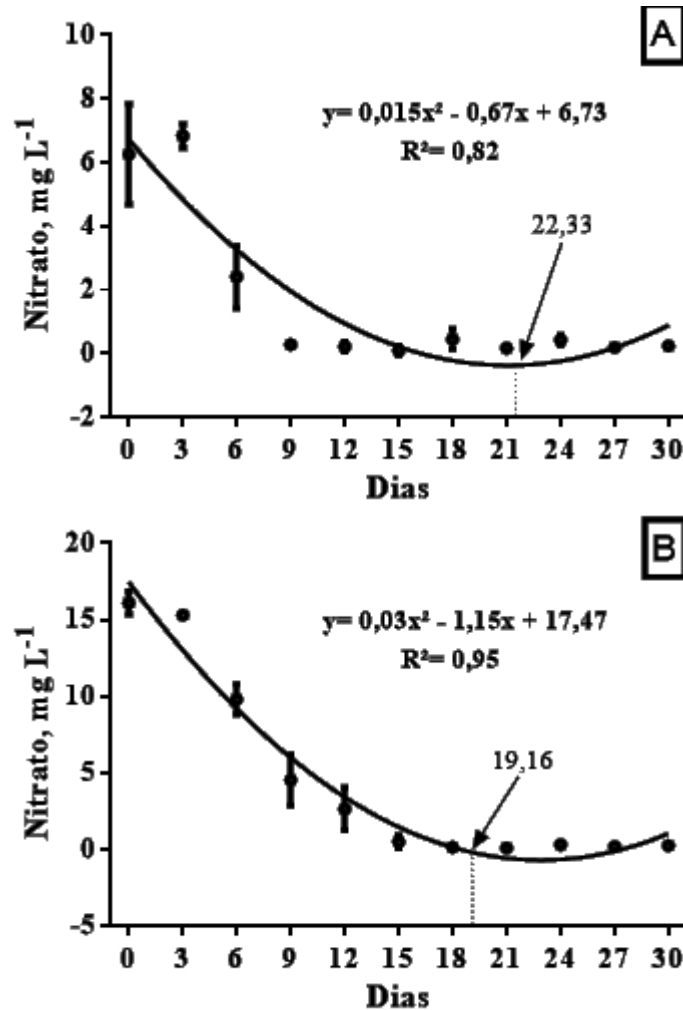
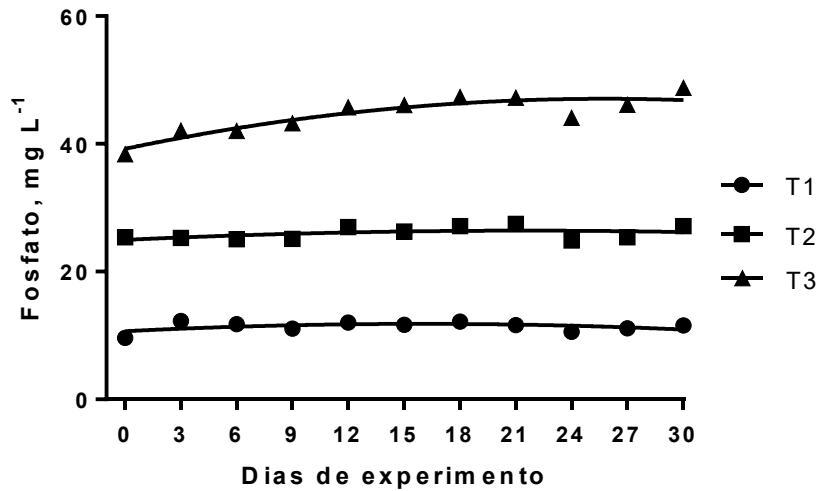


Figura 6 - Regressão polinomial de segunda ordem da relação das concentrações de nitrato na água com o período experimental do tratamento T1. Valores apresentados como Média \pm SEM. A: Tratamento T1, B: Tratamento T2.



As concentrações de fosfato na água não apresentaram relação com o período experimental (Figura 7).

Figura 7 – Concentrações de fosfato (mg L⁻¹) na água de todos os tratamentos até o 30º dia experimental.



As lemnas foram pesadas no início e no final do experimento a fim de averiguar a biomassa gerada (Tabela 8) e realizar a análise bromatológica.

Tabela 7 – Média \pm desvio padrão da biomassa de lemnas gerada no experimento (Valor de P da ANOVA: 0,0009)

	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Biomassa gerada (g)	Biomassa gerada (g.m ² .dia)
Tratamento 1	154,0	711,9	557,94 \pm 33,03	48,94 \pm 2,89
Tratamento 2	154,0	799,3	645,33 \pm 08,79	56,60 \pm 0,77
Tratamento 3	154,0	871,9	717,87 \pm 15,71	62,97 \pm 1,37

O tratamento T3 teve maior biomassa que T1 e T2. O tratamento T2 teve maior biomassa que T1.

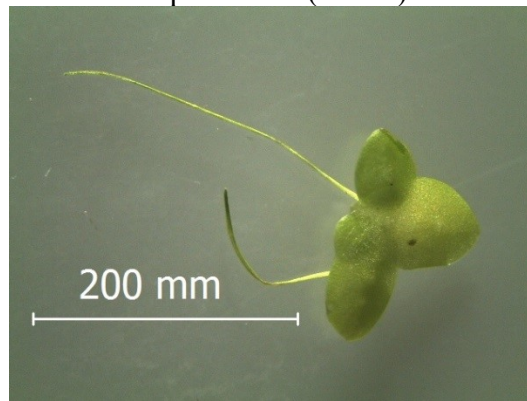
Foi realizado registro fotográfico das lemnas com o microscópio Leica DM 300 Led, resolução 100x e câmera Basler 1300 nos dias 0, 21 e 30 como mostram as imagens 5, 6 e 7.

Imagem 5: Lemnas no primeiro dia de experimento (dia 0)



Fonte: A autora (2019).

Imagem 6: Lemnas durante o experimento (dia 21)



Fonte: A autora (2019).

Imagem 7: Lemnas no final do experimento (dia 30)



Fonte: A autora (2019).

Aos 21 dias de exposição das plantas aos distintos efluentes houve diferença no teor de proteína bruta e de cinzas das plantas (Tabela 9). Os tratamentos T1 e T2 são iguais estatisticamente tanto para proteína bruta quanto para cinzas, bem como os tratamentos T2 e T3. O tratamento T3 apresentou médias maiores que T1. Independente da concentração de

nutrientes dos efluentes, o extrato etéreo, teor de fibra e de matéria seca das plantas se manteve semelhante.

Tabela 8 – Composição centesimal de lemnas expostas a diferentes concentrações de efluente durante 21 dias. Valores apresentados como Média \pm SD. Letras diferentes indicam diferença estatística entre as linhas (tratamentos).

Tratamento	Proteína Bruta	Extrato Etéreo	Cinzas	Fibras	Matéria Seca
T1	21,22 \pm 2,94 ^b	3,84 \pm 0,22	10,80 \pm 0,49 ^b	40,36 \pm 2,86	7,19 \pm 0,60
T2	25,28 \pm 0,43 ^{ab}	4,47 \pm 0,29	12,33 \pm 0,75 ^{ab}	39,08 \pm 1,62	7,39 \pm 1,19
T3	28,41 \pm 2,69 ^a	5,11 \pm ,67	12,60 \pm 0,42 ^a	38,12 \pm 1,63	6,71 \pm 0,56
P ANOVA	0,0496	0,0746	0,0417	0,5973	0,7178

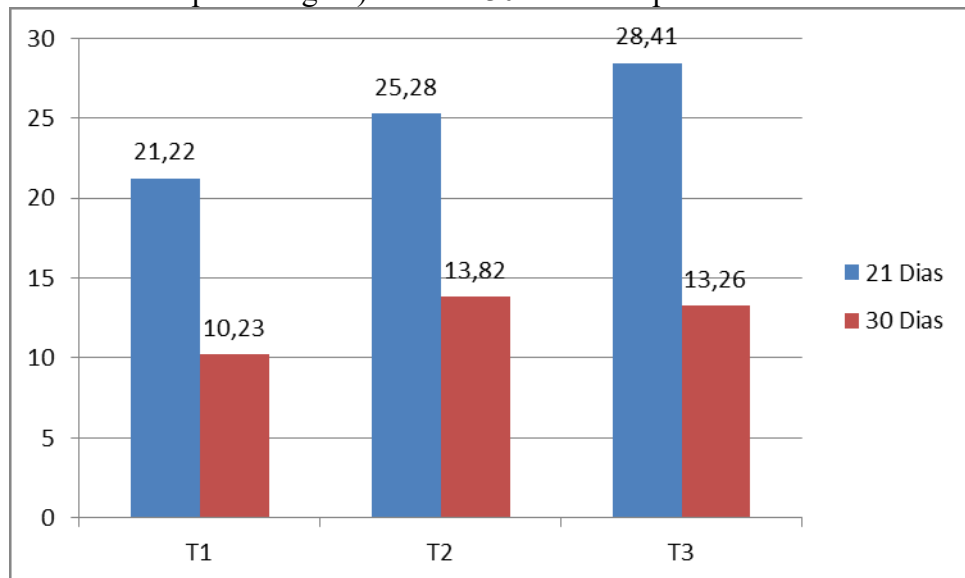
Diferente do observado no 21º dia de exposição, a composição das lemnas não foi afetada pelos distintos efluentes testados no 30º dia (Tabela 10).

Tabela 9 – Composição centesimal de lemnas expostas a diferentes concentrações de efluente durante 30 dias. Valores apresentados em porcentagem e como Média \pm SD.

Tratamento	Proteína Bruta	Extrato Etéreo	Cinzas	Fibras	Matéria Seca
T1	10,23 \pm 1,42	2,96 \pm 0,57	23,61 \pm 6,49	43,79 \pm 5,42	12,68 \pm 2,63
T2	13,82 \pm 2,33	3,27 \pm 0,49	23,38 \pm 6,12	41,37 \pm 3,84	11,98 \pm 0,44
T3	13,26 \pm 1,48	3,30 \pm 0,36	23,87 \pm 9,33	42,73 \pm 4,58	11,92 \pm 1,12
P ANOVA	0,1811	0,7486	0,9977	0,8789	0,8838

Os valores de proteína em 21 dias de experimento são maiores ao comparados com 30 dias, em ambos os tratamentos como mostra a Figura 8.

Figura 8: Valores da proteína bruta da composição centesimal (em porcentagem) em 21 e 30 dias de experimento.



2.5 DISCUSSÃO

As variáveis temperatura, salinidade, condutividade, pH e oxigênio dissolvido não apresentaram variações substanciais em todas as etapas. Vale ressaltar que a cobertura das lemnas diminui a difusão do oxigênio dissolvido do ar para água, apesar disso, talvez devido a reduzida concentração de matéria orgânica nas unidades experimentais, os valores de oxigênio dissolvido se mantiveram elevados, com médias variando entre 6 e 7 mg/l. A média do pH esteve sempre próxima de 6,5, dentro da faixa ideal para crescimento da lemna, que segundo Caicedo (2005) é entre 6 e 8.

Segundo Landolt e Kandeler (1987) a temperatura ótima para o desenvolvimento desta espécie está entre 21 e 30°C, acima dos valores observados neste experimento, com médias variando entre 18 e 19 °C. Apesar disso, as plantas mostraram um adequado desempenho de crescimento. Mohedano *et al.*, 2012 não encontraram relações estatísticas entre a eficiência do tratamento com *Landoltia punctata* e as estações do ano nesta mesma região, mas relatou que a densidade de biomassa se tornou baixa no final da primavera (novembro). Este estudo foi realizado durante o inverno (julho e agosto).

Amônia (NH₃), nitrito (NO₂) e nitrato (NO₃) são compostos nitrogenados que se acumulam na água e podem colocar em risco o desempenho, a saúde e a sobrevivência dos peixes (KUBITZA, 2018). A amônia pode ser encontrada de duas formas, não ionizada (NH₃) e ionizada (NH₄⁺), a forma química mais tóxica é a amônia não ionizada, pois afeta as brânquias dos peixes (VINATEA, 2010). A forma não ionizada é uma molécula de menor tamanho que consegue atravessar membranas celulares por simples difusão, desta forma o NH₃ é tido como mais tóxico do que o NH₄⁺ quando presentes na água (KUBITZA, 2018). A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) estabelece um limite de 0,02 mg L⁻¹ de nitrogênio em forma de NH₃ nas águas, para proteção da vida aquática. A Resolução CONAMA 357/2005 estabelece os limites máximos de 0,40 mg L⁻¹ para a amônia. Neste experimento os valores estiveram sempre abaixo destes limites, mas vale ressaltar que a taxa de remoção da amônia foi de 76% no tratamento 1, 78% no tratamento 2 e de 86% no tratamento 3, demonstrando que a lemna pode ser um bom aliado na manutenção da remoção da amônia. Em alguns momentos do experimento houve aumento da concentração da amônia, isto pode ser explicado pela proteína da planta que começou a ser degradada e a ser transformada em amônia. Como observado, o teor de proteína bruta das plantas foi reduzido entre o dia 21 e o dia 30 de experimento.

O nitrito é tóxico para peixes e impede o transporte de oxigênio (VINATEA, 2010). O nitrito é o resultado intermediário da oxidação da amônia pelas bactérias nitrificantes e posteriormente é transformado em nitrato, por ser o produto intermediário da transformação de amônia em nitrato, sua produção é constante, fazendo com que os organismos aquáticos sempre estejam expostos a eles (EBELING *et al.*, 2006) e com o auxílio das lemnas este nutriente pode ser removido. Os peixes podem sofrer déficits de oxigênio mesmo com adequados níveis de oxigênio na água (KUBITZA, 2018). Neste experimento o nitrito foi totalmente removido até o nono dia de experimento, demonstrando que as lemnas podem contribuir para a manutenção da retirada deste nutriente em cultivos.

O nitrato é o produto final da oxidação da amônia pelas bactérias nitrificantes e em organismos aquáticos possui baixa toxicidade (VINATEA, 2010). Pelo fato de não ser um composto muito importante em matéria de toxidez, poucos trabalhos tem sido realizados para medir seus efeitos, porém este composto pode tornar-se potencialmente tóxico em sistemas de recirculação de água, em que altos níveis podem ser alcançados como resultado da nitrificação da amônia (VINATEA, 1996). Nitrato em altas concentrações, acima de 100 mg/l, pode prejudicar o desempenho dos peixes e camarões, problemas com excessiva concentração dificilmente ocorrem em viveiros, porém em sistemas de recirculação pode atingir concentrações na água bastante elevadas e por isso precisa ser monitorado com atenção (KUBITZA, 2018). Contudo podemos utilizar as lemnas como forma de remoção do nitrato, pois neste experimento a taxa de remoção de nitrato foi de 96% para o tratamento 1, 98% para o tratamento 2 e 99% para o tratamento 3.

As unidades experimentais operadas para a remoção de nutrientes pelas lemnas não removeram o fósforo conforme esperado. Ainda, a concentração do tratamento T3 aumentou ao longo do período experimental, provavelmente este aumento do fósforo está associado à evaporação da água e ao fósforo presente nas plantas degradadas.

Não foram encontradas explicações plausíveis para este resultado, uma vez que as plantas se desenvolveram de forma saudável. Podemos utilizar como exemplo o melhor crescimento: pelo balanço de massa, se as lemnas do tratamento 3 cresceram 700g e se elas tem 15% de matéria seca, ou seja 105g, se a lemna tem em média 1% de fósforo, então elas removeriam 1g, ou 1000mg de fósforo da unidade experimental, mas isto não foi observado. Iqbal (1999) mostram que o crescimento da biomassa está diretamente relacionado a remoção dos compostos fosfatados, porém neste estudo se comprova que a não absorção do fósforo não influencia no crescimento da macrófita, haja vista o alto índice de crescimento de plantas saudáveis mesmo sem o registro de absorção do fósforo.

Neste experimento o fosfato não foi removido, acredita-se que o forma que ele foi introduzido ao sistema, Fosfato Monobásico de Potássio (KH_2PO_4), tenha prejudicado esta absorção pelas lemnas. Dessa forma, fica registrada como sugestão para novos trabalhos a utilização de outras fontes de fosfato.

A biomassa das lemnas apresentou um crescimento correspondente à quantidade de nutrientes de cada tratamento, T1: $48,94 \pm 2,89\text{g.m}^2.\text{dia}$; T2: $56,60 \pm 0,77\text{g.m}^2.\text{dia}$ e o T3: $62,97 \pm 1,37\text{g.m}^2$. Isso mostra que quanto maior a concentração de nutrientes dissolvidos na água maior a taxa de crescimento. As lemnas são multiplicadas por propagação vegetativa (GAIGHER e SHORT, 1986) e o aporte de nutrientes acelera o processo de fotossíntese (ODUM, 1988).

Quando ocorre a mudança de coloração na macrófita, de verde para marrom é identificada sua morte (LENG, 1990), e esta mudança de coloração foi observada neste trabalho, e registrada em fotografia microscópica, em todos os efluentes testados depois de 21 dias de contato com as plantas.

Além da mudança de coloração ao final do experimento foi observado um crescimento anômalo das raízes das plantas, sendo considerado, segundo CHAUDHARY e SHARMA (2014) como indicador de condição de estresse das lemnas na busca de nutrientes.

Na avaliação bromatológica desta macrófita foi verificado que a proteína bruta e matéria seca são afetadas pelos diferentes tratamentos no período de 21 dias, isto mostra que efluentes ricos em nutrientes geram uma macrófita rica em proteína. Comparando a proteína bruta (PB) se observa uma grande variação em seus valores durante o período experimental. Esta mudança ocorre devido a falta de nutrientes na água, uma vez que eles foram removidos em sua quase totalidade até o 21º dia. Mohedano *et al.* (2012) apresentaram teores médios de proteína bruta das lemnas entre 28% e 35%. Tavares (2004) demonstrou que a quantidade de nutrientes presentes no meio é proporcional a proteína das plantas, e comprovou o sucesso do uso de lemnas como ingrediente da ração usada na engorda de peixes. Segundo Bergmann *et al.*, 2000 *apud* Mohedano *et al.* (2012) variedade *Landoltia punctata* é a melhor na produção de proteínas. A biomassa gerada pode conter alto valor nutricional e alta produtividade, além dos benefícios ambientais (MOHEDANO *et al.*, 2012)

2.6 CONCLUSÃO

O uso de lemnas *Landoltia punctata* (Lemnoideae) para o polimento do efluente de piscicultura em recirculação é eficiente para remoção dos compostos nitrogenados, já os

valores de fosfatos não foram polidos conforme desejado neste experimento. O tratamento com a maior a concentração de nutrientes gerou uma biomassa maior. Durante os nove primeiros dias de tratamento o nitrito foi removido quase em sua totalidade, já a amônia e nitrato precisaram de, em média, 20 dias para seu esgotamento. A biomassa gerada durante os 21 primeiros dias tem maior valor de proteína. Essa biomassa pode ser utilizada como insumo para demandas nutricionais de animais, como a dos próprios peixes da criação que gera este efluente utilizado para a produção das lemnas. A relação custo benefício do uso de lemnas para tratamento de efluentes de piscicultura pode ser promissor devido ao fato da ração ter alto custo e as lemnas apresentaram alto valor nutricional proteico e baixo custo para serem produzidas, além do fato de que desta forma os nutrientes são reaproveitados e tornam cíclicos, não prejudicando os corpos de água e sendo uma atividade ambientalmente sustentável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

ANSAL, M.D.; DHAWAN A.; KAUR, V. I. **Duckweed based bio-remediation of village ponds: An ecologically and economically viable integrated approach for rural development through aquaculture.** Livestock Research for Rural Development. 22 (7) 2010.

APG (Angiosperm Phylogeny Group) III. Disponível em: <<http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/welcome.html>> Acesso em 18 de setembro, 2019.

BERGMANN, B. A.; CHENG, J; CLASSEN, J.; STOMP, A.M. **In vitro selection of Duckweed Geographic Isolates for Potential Use in Swine Lagoon Effluent Renovation.** Bioresource Technol. 73:13-20, 2000.

CAICEDO, J.R. **Effect of Operational Variables on Nitrogen Transformations in Duckweed Stabilization Ponds.** Tese. Delft, The Netherlands. 163pp, 2005.

CHAUDHARY, E.; SHARMA, P. **Use of Duckweed in Wastewater Treatment.** International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. Vol 3 (6), 2014.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução N° 357**, de 17 de março de 2005.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução N° 430**, de 13 de maio de 2011.

EBELING, James M.; TIMMONS, Michael B.; BISOGNI, J.j.. **Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of**

ammonia–nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture*. v. 257, n. 1-4, p.346-358, jun. 2006.

EITH, C.; KOLB, M.; SEUBERT, A; VIEHEGER, M. K. H.; **Práticas em cromatografia de íons: Uma introdução.** 142p. Metrohm. 2006.

FAO. **A Guide to Recirculation Aquaculture: An introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems.** Hungary, 90 p. 2015.

FAO. **O Estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación.** Roma. 2018.

GAIGHER, LG.; SHORT, R. **An evaluation of duckweed (Lemnaceae) as a candidate for aquaculture in South Africa.** *Aquaculture* (eds. R.D. Walmsley & J.G Wan). Foundation for Research and Development, 81-90, Pretoria, 1986.

GALAVIZ-VILLA, I.; SOSA-VILLALOBOS, C.; GARCÍA-SÁNCHEZ, A. Et al. **Evaluation of the Efficiency of Duckweeds, Lemna sp. and Spirodela sp., in the Treatment of Tilapia Effluents.** *Journal of Agricultural Science*. Vol 8, N 12. 2016.

GOMES, M.C.R.L. **Polimento de efluentes de sistema de tratamento de dejetos suínos em filtro de pedras e lagoa-filtro.** Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2010.

IQBAL, S. **Duckweed Aquaculture: Potentials, possibilities and limitations for combined wastewater treatment and animal feed production in developing countries.** EAWAG and SANDEC: Duebendorf, Switzerland. 1999.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos.** 4ª Ed.,Rio de Janeiro, 2005.

KUBITZA, F. **O impacto da amônia, do nitrito e do nitrato sobre o desempenho e a saúde dos peixes e camarões.** A água na aquicultura | Parte 3. Panorama da Aquicultura. Edição 164. 2018

LANDOLT, E.; KANDELER, R. **Biosystematic investigations in the family of duckweeds (Lemnaceae),** Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes ETH, Stiftung Rübel, Zürich. 1987.

LENG, R. A. **Duckweed – a tiny aquatic plant with enormous potential for agriculture and environment.** FAO Animal Production and Health Paper.231p, 1999.

LES, D. H., CRAWFORD, D. J. **Landoltia (Lemnaceae), a New Genus of Duckweeds.** *Journal for Botanical Nomenclature*. V. 9, n. 4, p. 530-533, 1999.

MANDAL, R. N.; DATTA, A.K.; SARANGI, N.; MUKHOPADHYAY, P.K.; **Diversity of aquatic macrophytes as food and feed components to herbivorous fish: A review.** *Indian Journal Fisheries* 57:65–73. 2010.

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

MOHEDANO, R. A.; RODRIGUES, J. B. R.; FRACALOSSI, D. M.. **Lemna valdiviana, uma planta que além de tratar efluentes alimenta os peixes cultivados**. Panorama da Aqüicultura 15:33–40. 2005.

ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro, Editora Guanabara Koogan S.A. 434 p, 1988.

ONU. Organização das Nações Unidas. **Declaração da “ONU Água” para o Dia Mundial da Água 2010**. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/acao/agua/>>. Acesso em: 20 nov. 2018.

POPA, R.; MOGA, J.C.; RISSDORFER, M.; ILIS, M.L.G.; PETRESCU, G.; CRACIUN, N.; MATAACHE, M.G.; COVALIU, C.I.; STOIAN, G. **Duckweed utilization for fresh water conservation (management) in recirculated aquaculture systems**. International journal of conservation science. V8. N4. 715-722. 2017.

RAN, N.; AGAMI, M.; ORON, G. **A pilot study of constructed wetlands using duckweed (Lemna gibba L.) for treatment of domestic primary effluent in Israel**. Water Research 38:2241–2248. 2004.

SIRAKOV, I.; VELICHKOVA, K.; STOYANOVA, S.; DINEV, D.; STAYKOV, Y. **Application of natural zeolites and macrophytes for water treatment in recirculation aquaculture systems**. Bulgarian Journal of Agricultural Science, Supplement 1, 21: 147–153. 2015.

SMITH, M.D.; MOELYOWATI, I. **Duckweed based wastewater treatment (DWWT): design guidelines for hot climates**. Water Science and Technology. V43. N11. pp291–299. 2001.

TAVARES, F. A.; **Eficiência da Lemna sp. no tratamento de efluentes líquidos de suinocultura e sua utilização como fonte alternativa de alimentos para tilápia**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Aqüicultura, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2004.

TONON, G. **Avaliação de lagoas de lemnas para o polimento de esgoto doméstico: emissões de ge e valorização de biomassa na produção de biometano**. 154 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2016.

VINATEA, L. A. **Fundamentos de aqüicultura**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2003.

VINATEA, L. A. **Princípios químicos da qualidade da água em aqüicultura: uma revisão para peixes e camarões**. Florianópolis: Ed. Da UFSC, 166 p. 1996.

VINATEA, L. A. **Qualidade da Água em Aqüicultura: princípios e práticas**. 3. ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 2010.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; UFMG, 243p. 1996.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Princípios básicos de tratamento de esgotos**. 6ª edição, Editora DESA UFMG, Belo Horizonte, 1996.

ZANIBONI-FILHO, E. **Tratamento de efluentes da piscicultura**. Anais do Zootec'2005, Campo Grande-MS, 2005.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DA INTRODUÇÃO GERAL

ANSAL, M.D.; DHAWAN A.; KAUR, V. I. **Duckweed based bio-remediation of village ponds: An ecologically and economically viable integrated approach for rural development through aquaculture.** *Livestock Research for Rural Development.* 22 (7) 2010.

APG (Angiosperm Phylogeny Group) III. Disponível em:
<<http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/welcome.html>> Acesso em 18 de setembro, 2019.

CAICEDO, J.R. **Effect of Operational Variables on Nitrogen Transformations in Duckweed Stabilization Ponds.** Tese. Delft, The Netherlands. 163pp, 2005.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução N° 357**, de 17 de março de 2005.

CULLEY, D.D. Jr.; REJMÁNKOVÁ, E.; Květ, J.; FRYE, J. B. **Production, chemical quality and use of duckweeds (Lemnaceae) in aquaculture, waste management, and animal feeds.** *Journal of the World Mariculture Society.* V12. P27-49. 1981

FARREL, J. B. **Duckweed Uptake of Phosphorus and Five Pharmaceuticals: Microcosm and Wastewater Lagoon Studies.** All Graduate Theses and Dissertations, Utah State University Merrill-Cazier Library, Logan, Utah. 2012.

FAO. *O Estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación.* Roma. 2018.

GALAVIZ-VILLA, I.; SOSA-VILLALOBOS, C.; GARCÍA-SÁNCHEZ, A. Et al. **Evaluation of the Efficiency of Duckweeds, Lemna sp. and Spirodela sp., in the Treatment of Tilapia Effluents.** *Journal of Agricultural Science.* Vol 8, N 12. 2016.

GOMES, M.C.R.L. **Polimento de efluentes de sistema de tratamento de dejetos suínos em filtro de pedras e lagoa-filtro.** Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2010.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos.** 4ª Ed., Rio de Janeiro, 2005.

LES, D. H., CRAWFORD, D. J. **Landoltia (Lemnaceae), a New Genus of Duckweeds.** *Journal for Botanical Nomenclature.* V. 9, n. 4, p. 530-533, 1999.

MANDAL, R. N.; DATTA, A.K.; SARANGI, N.; MUKHOPADHYAY, P.K.; **Diversity of aquatic macrophytes as food and feed components to herbivorous fish: A review.** *Indian Journal Fisheries* 57:65–73. 2010.

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

MOHEDANO, R. A.; RODRIGUES, J. B. R.; FRACALOSSI, D. M.. **Lemna valdiviana, uma planta que além de tratar efluentes alimenta os peixes cultivados**. Panorama da Aqüicultura 15:33–40. 2005.

ONU. Organização das Nações Unidas. **Declaração da “ONU Água” para o Dia Mundial da Água 2010**. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/acao/agua/>>. Acesso em: 20 nov. 2018.

POPA, R.; MOGA, J.C.; RISSDORFER, M.; ILIS, M.L.G.; PETRESCU, G.; CRACIUN, N.; MATAACHE, M.G.; COVALIU, C.I.; STOIAN, G. **Duckweed utilization for fresh water conservation (management) in recirculated aquaculture systems**. International journal of conservation science. V8. N4. 715-722. 2017.

RAN, N.; AGAMI, M.; ORON, G. **A pilot study of constructed wetlands using duckweed (Lemna gibba L.) for treatment of domestic primary effluent in Israel**. Water Research 38:2241–2248. 2004.

SHAMMOUT, M. W.; ZAKARIA, H. **Water lentils (duckweed) in Jordan irrigation ponds as a natural water bioremediation agent and protein source for broilers**. Ecological Engineering. V 83, P 71-77. 2015

SIRAKOV, I.; VELICHKOVA, K.; STOYANOVA, S.; DINEV, D.; STAYKOV, Y. **Application of natural zeolites and macrophytes for water treatment in recirculation aquaculture systems**. Bulgarian Journal of Agricultural Science, Supplement 1, 21: 147–153. 2015.

SMITH, M.D.; MOELYOWATI, I. **Duckweed based wastewater treatment (DWWT): design guidelines for hot climates**. Water Science and Technology. V43. N11. P 291–299. 2001.

TROELL, M.; NEORI, A.; CHOPIN, T.; BUSCHMANN, A. **Biological wastewater treatment in aquaculture - More than just bacteria**. World Aquaculture. V36, P27-29. 2005

VINATEA, L. A. **Fundamentos de aqüicultura**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2003.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; UFMG, 243p. 1996.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Princípios básicos de tratamento de esgotos**. 6ª edição, Editora DESA UFMG, Belo Horizonte, 1996.

WEANER, J. E.; CLEMENTS, F. E.. **Plant Ecology**. Mc. Graw Hill, New York. 1983

ZANIBONI-FILHO, E. **Tratamento de efluentes da piscicultura**. Anais do Zootec`2005, Campo Grande-MS, 2005.