

LUIZ AUGUSTO CIPRIANI

**A INGESTÃO ESPONTÂNEA DE LEMNA AFETA O DESEMPENHO ZOOTÉCNICO DE JUVENIS DE
TILÁPIA DO NILO?**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação
em Ciência Animal, na Universidade do Estado de Santa
Catarina, como requisito para obtenção do título de
Mestre em Ciência Animal.

Orientador: Prof. Dr. Thiago El Hadi Perez Fabregat

**LAGES
2020**

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CAV/UDESC,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Cipriani, Luiz Augusto

A ingestão espontânea de lemna afeta o desempenho zootécnico de juvenis de tilápia do Nilo? / Luiz Augusto Cipriani. -- 2020.

43 p.

Orientador: Thiago El Hadi Perez Fabregat

Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, Lages, 2020.


1. Índice de ingestão. 2. Lemna minor. 3. Oreochromis niloticus. 4. Recirculação. I. Fabregat, Thiago El Hadi Perez. II. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal. III. Título.

LUIZ AUGUSTO CIPRIANI

**A INGESTÃO ESPONTÂNEA DE LEMNA AFETA O DESEMPENHO
ZOOTÉCNICO DE JUVENIS DE TILÁPIA DO NILO?**

Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em Ciência Animal da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC/CAV, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciência Animal.

Banca Examinadora:

Orientador: 
Prof. Dr. Thiago El Hadi Perez Fabregat
Universidade do Estado de Santa Catarina-UDESC/CAV/SC

Membro: 
Prof. Dr. Juliano Uczay
Universidade Federal de Santa Maria – UFSM/RS

Membro: 
Prof. Dr. Everton Skoronski
Universidade do Estado de Santa Catarina-UDESC/CAV/SC

Lages, 18 de fevereiro de 2020.

Dedico este trabalho ao meu pai, Norberto Cipriani e a minha mãe, Maria Goretti Minatti Cipriani, por toda educação, apoio e amor.

AGRADECIMENTOS

Ao meu pai e minha mãe, que sempre estiveram ao meu lado, por toda a dedicação e suporte incondicionais.

Ao Prof. Dr. Thiago El Hadi Perez Fabregat pela brilhante orientação e experientes ensinamentos.

Aos Professores Dr. Everton Skoronski e Dr. Juliano Uczay, pela participação na banca avaliadora e pelas valiosas sugestões.

Ao Dr. Juliano Uczay por toda a colaboração em análises laboratoriais.

À Natalia Ha por toda a imensa ajuda e companheirismo.

À equipe do Laboratório de Piscicultura da UDESC-CAV, pela indispensável parceria, trabalho em equipe e amizade eterna: Erick William Hessa Melim, Fernanda Regina Delzivo, Kayane Pereira Besen, Larissa da Cunha, Nandara Soares de Oliveira, Natalia Ha, Samara Campos Nascimento e Prof. Thiago El Hadi Perez Fabregat.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, pela bolsa de mestrado concedida durante todo o curso.

A todos os professores, funcionários, técnicos de laboratório da UDESC-CAV/Lages-SC, em especial aos funcionários da secretaria Ederson, Leandro e Lara, por toda dedicação e auxílio nestes anos.

A todos os meus familiares e amigos que ajudaram direta ou indiretamente.

A todos meu muito obrigado!

*"Never did nature say one thing and wisdom
say another"
Edmund Burke*

RESUMO

Cipriani, Luiz Augusto. **A ingestão espontânea de lemna afeta o desempenho zootécnico de juvenis de tilápia do Nilo?** 2020. 43 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Centro de Ciências Agroveterinárias (UDESC/CAV). Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, Lages, SC, 2020.

Os principais custos da piscicultura são envolvidos com compra de dieta comercial. Além disto, o fornecimento adequado e a qualidade da alimentação dos peixes são diretamente relacionados ao controle de desperdícios e conseqüente impacto ambiental. Avaliou-se, no presente estudo, o consumo espontâneo da macrófita aquática, lemna (*Lemna minor*), disponibilizada em forma fresca em um sistema de recirculação, assim como o efeito do consumo de lemna sobre o desempenho zootécnico da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado sendo dois tratamentos e sete repetições. 140 tilápias foram acomodadas em 14 caixas de polietileno de 70 litros. Os peixes foram submetidos a um período de aclimação de sete dias seguidos do período experimental, que foi realizado no decorrer de 28 dias. Todos os peixes foram diariamente alimentados com dieta comercial extrusada, três vezes ao dia, até a saciedade aparente. Os peixes do tratamento controle receberam apenas a dieta comercial e os peixes do segundo tratamento além da dieta receberam a lemna fresca constantemente. O índice de ingestão espontânea de lemna fresca pelos peixes foi quantificado. Duas biometrias foram realizadas para determinar o desempenho zootécnico dos peixes. As tilápias consumiram a lemna disponibilizada em uma razão de $0,32 \pm 0,08\%$ do peso vivo. Os peixes que foram expostos a lemna consumiram menos alimento comercial na primeira semana de experimento e, na terceira semana, mais alimento comercial em relação ao tratamento controle. Na segunda e quarta semanas, não houve diferença no consumo de dieta comercial entre os tratamentos. No tratamento controle o consumo da dieta comercial foi menor na primeira semana em relação aos outros períodos. No tratamento com lemna não houve diferença entre os períodos. A disponibilização da lemna fresca para o consumo espontâneo não afeta o ganho de peso, a conversão alimentar e a taxa de crescimento específico de juvenis de tilápias do Nilo. A lemna pode ser consumida pela tilápia, sem que o desempenho zootécnico dos peixes seja prejudicado.

Palavras-chave: Índice de ingestão. *Lemna minor*. *Oreochromis niloticus*. Recirculação.

ABSTRACT

Cipriani, Luiz Augusto. **Does the spontaneous consumption of duckweed affect the growth performance of Nile tilapia juveniles?** 2020. 43 p. Dissertation (Master in Animal Science) - University of the State of Santa Catarina. Agroveterinary Science Center (UDESC/CAV). Postgraduate Program on Animal Science, Lages, SC, 2020.

The main costs of fish farming are involved with feed purchase. Moreover, the adequate supply and the quality of fish feeds directly relate to wastage control and consequent environmental impact. In the present study, the effect of spontaneous consumption of the aquatic macrophyte, duckweed (*Lemna minor*), provided on fresh form in a recirculating aquaculture system was evaluated, as well as the effect of duckweed consumption on the growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). The experimental design was completely randomized with two treatments and seven replicates. 140 tilapia were housed in fourteen 70-liter polyethylene reservoirs. The fish were submitted to an acclimatization period of seven days followed by the experimental period, which was performed during 28 days. All fish were daily fed with extruded commercial feed three times per day, until apparent satiety. The fish of the control treatment received only the commercial feed and the fish from the second treatment were constantly exposed to fresh duckweed. The spontaneous intake index of fresh duckweed by fish was quantified. Two biometries were performed to determine fish growth performance. The tilapia consumed the available duckweed in a ratio of $0.32 \pm 0.08\%$ of live weight. Fish that were exposed to duckweed consumed less commercial feed in the first week of the experiment and, in the third week, more commercial feed, compared to the control treatment. In the second and fourth weeks, there was no difference in feed intake between treatments. In the control treatment the feed intake was lower in the first week compared to the other periods. In the treatment with duckweed, there was no difference between the periods. Fresh duckweed availability for spontaneous consumption does not affect weight gain, feed conversion and specific growth rate of Nile tilapia juveniles. Duckweed may be consumed by the tilapia without jeopardizing the fish growth performance.

Keywords: Spontaneous intake index. *Lemna minor*. *Oreochromis niloticus*. Recirculating aquaculture system.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 – Índice de ingestão espontânea (% do peso vivo de matéria seca) de lemna por tilápias em recirculação durante 28 dias 31
- Figura 2 – Índice de ingestão da dieta comercial (% do peso vivo de matéria seca) por tilápias do Nilo expostas ou não a lemna durante 28 dias 32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição de aminoácidos do farelo de soja, farinha de peixe e diferentes espécies de lemna em g 100g ⁻¹ da proteína bruta.....	26
Tabela 2 – Trabalhos realizados que utilizaram macrófitas aquáticas ou lemnas na alimentação de tilápias.....	28
Tabela 3 – Ganho de peso (GP), consumo total, conversão alimentar (CA) e taxa de crescimento específico (TCE) de tilápias do Nilo alimentadas diariamente com lemna a vontade em concomitância com dieta comercial	31

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1	MACRÓFITAS AQUÁTICAS	23
2.2	LEMNA	24
2.3	INCLUSÃO DE LEMNA EM DIETAS PARA PEIXES	26
3.	MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1	ANIMAIS E INSTALAÇÃO	29
3.2	ENSAIO DE DESEMPENHO	29
3.3	ANÁLISES ESTATÍSTICAS	30
4	RESULTADOS	31
5	DISCUSSÃO	33
6	CONCLUSÃO	35
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

1 INTRODUÇÃO

A piscicultura tem histórica e atualmente apresentado desenvolvimento contínuo e as tilápias (*Oreochromis* spp.) destacam-se como o principal grupo de peixes de cultivo em águas continentais (FAO, 2018). A pesquisa e o desenvolvimento de alimentos capazes de substituir ingredientes mais onerosos asseguram qualidade, viabilidade econômica e sustentabilidade dos empreendimentos piscícolas (GATLIN III et al., 2007; HASAN et al., 2007). Além disto, o consumidor tem se tornado mais exigente no que diz respeito ao bem-estar e a forma com que os animais são cultivados (COLSON et al., 2015; VOLPATO et al., 2009).

Na produção de peixes em modelo intensivo os aspectos do ambiente de cultivo põem em xeque certos componentes do bem-estar (OBIRIKORANG et al., 2019). Sistemas intensivos de produção submetem os peixes a níveis crônicos de estresse, devido as altas densidades e manejo frequente (ASHLEY, 2007). Dentre as estratégias para melhorar as condições de cultivo, o uso de enriquecimento ambiental é capaz de estimular a robustez comportamental dos peixes, permitindo a redução do estresse dos animais (BERGENDAHL; SALVANES e BRAITHWAITE, 2016). Uma estratégia ainda pouco avaliada é o fornecimento de macrófitas vivas como objetos de enriquecimento ambiental e como suplemento alimentar. As macrófitas já são utilizadas nos sistemas de tratamento de efluentes (FERDOUSHI et al., 2008; GOOPY e MURRAY, 2003; UTAMI et al., 2018) e fazem parte da dieta natural de peixes de interesse comercial, como a tilápia (HALVER e HARDY, 2002; IQBAL, 1999; RAO et al., 2015).

Várias espécies de plantas aquáticas são aptas para a alimentação da tilápia (BOYD, 1971; OGELLO et al., 2014). Dentre elas, destaca-se o grupo taxonômico das lemnas, que é comportado pela família Araceae (GOOPY e MURRAY, 2003; IQBAL, 1999; IQBAL; JAVED e BAIG, 2019). As lemnas incluem, dentre outros, os gêneros *Azolla*, *Landoltia*, *Lemna* e *Wolffia* (APG IV, 2016; MAYO; BOGNER e BOYCE, 1997; POTT, 2002). Muitas espécies de lemna apresentam alta aplicabilidade para a aquicultura pelo seu alto potencial de fitorremediação, remoção do excesso de nutrientes, capacidade de produção de biomassa e valor nutricional comparável e, por vezes, superior a ingredientes de rações bem estabelecidos (GOOPY e MURRAY, 2003; HAMMOUDA; GABER e ABDEL-HAMEED, 1995; OGELLO et al., 2014; TIMMERMAN e HOVING, 2016).

A utilização da lemna para a alimentação de tilápias pode proceder através da sua secagem, moagem e fornecimento como ingrediente de dietas (GOOPY e MURRAY, 2003;

LANDESMAN et al., 2002). A lemna apresenta elevado teor de proteína e teor de aminoácidos compatível com as exigências da tilápia e comparável ao de outras fontes proteicas vegetais alternativas a farinha de peixe (ASIMI et al., 2018; CHAKRABARTI et al., 2018; RUSOFF; BLAKENEY Jr. e CULLEY Jr., 1980; SKILLICORN; SPIRA e JOURNEY, 1993). Possui, contudo, características antinutricionais, que podem gerar problemas de desempenho aos peixes quando incluídas em alto nível de substituição da proteína da dieta (EL-SHAFAI et al., 2004; FASAKIN; BALOGUN e FASURU, 1999; GAIGHER; PORATH e GRANOTH, 1984; TAVARES et al., 2010).

Como alternativa, é possível o fornecimento da lemna fresca aos peixes, como forma de simular as condições naturais de alimentação (LÓPEZ-OLMEDA; NOBLE e SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, 2012; VOLPATO; GONÇALVEZ-DE-FREITAS e FERNANDES-DE-CASTILHO, 2007). E por meio da disponibilização contínua da lemna fresca nos tanques é possível incrementar-se o bem-estar das tilápias por meio da quebra da monotonia do viveiro de cultivo por efeito de objetos dinâmicos (BERGENDAHL; SALVANES e BRAITHWAITE, 2016; POUNDER et al., 2016). Níveis adequados de inclusão de lemna não proporcionam resultados negativos sobre o desempenho (EL-SHAFAI et al., 2004; FASAKIN; BALOGUN e FASURU, 1999; GAIGHER; PORATH e GRANOTH, 1984; TAVARES et al., 2010; UTAMI et al., 2018). Estudos demonstraram que os peixes podem espontaneamente modular o consumo dos itens da dieta de forma a evitar problemas nutricionais (FORBES, 2001; FORTES-SILVA et al., 2012; FORTES-SILVA; KITAGAWA e SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, 2016; VIVAS et al., 2006). Assim sendo, o objetivo deste trabalho é avaliar o efeito do comportamento de ingestão espontânea de lemna fresca sobre o desempenho zootécnico de juvenis de tilápia do Nilo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MACRÓFITAS AQUÁTICAS

Macrófitas aquáticas são vegetais superiores com ciclo de vida completa ou periodicamente dependente de imersão em ambiente aquático (STEVESON; BOTHWELL e LOWE, 1996; THOMAZ et al., 2008). Ocorrem praticamente em todos os corpos d'água e oceanos do mundo, com exceção do continente antártico (CHAMBERS et al., 2008). Tem o potencial de ocupar inteiramente os corpos de água doce, tornando-se o elemento dominante da biomassa total destes ecossistemas (STEVESON; BOTHWELL e LOWE, 1996). A maioria das macrófitas possui estruturas emersas, podendo enraizar-se no substrato (CARPENTER e LODGE, 1986) dispendo, através da coluna d'água, estruturas como folhas, talos e raízes.

As macrófitas participam da manutenção da qualidade da água tanto de formas diretas quanto indiretas. São eficientes produtores primários (BOYD, 1971) participando da oxigenação (CARACO e COLE, 2002), da regulação do pH, da ciclagem de carbono inorgânico (BOYD, 1970; ESTEVES e CAMARGO, 1986), da absorção de nutrientes dissolvidos na água e da remediação por absorção de substâncias xenobióticas (BOKHARI et al., 2016). Suas estruturas vegetativas atuam sobre a dinâmica do ecossistema (RAO et al., 2015) ao gerar resistência a passagem de água, provocando a redução de sua velocidade e prevenindo a ressuspensão de partículas (BOYD, 1970; RAO et al., 2015). Providenciam, ainda, amparo estrutural aos componentes das paredes do corpo d'água no qual se desenvolvem, preservando sua integridade e colaborando para a manutenção de sua profundidade (ESTEVES e CAMARGO, 1986).

Em relação a ecologia do ambiente aquático, a presença de macrófitas inibe a ocupação do ecossistema por outros organismos fotossintetizantes, muitas vezes prejudiciais ao desenvolvimento de peixes, por meio da competição por luz solar ou alelopatia (STEVESON; BOTHWELL e LOWE, 1996). Também servem de abrigo a macro invertebrados, ovos e larvas de peixes, as macrófitas servem de substrato e abrigo para que perifíton e zooplâncton prosperem (BOYD, 1970; RAO et al., 2015; THOMAZ e Da CUNHA, 2010). As macrófitas também atuam indiretamente sobre a redução da turbidez da água e da manutenção da temperatura através das suas interações com o ecossistema (CHAMBERS et al., 2008). Além disso, devido a sua capacidade de produção de biomassa

nutritiva, macrófitas são recursos recorrentes para a alimentação natural de organismos forrageadores e detritívoros (RAO et al., 2015; THOMAZ e Da CUNHA, 2010).

A atratividade das macrófitas aquáticas como alimento para peixes provém tanto do seu valor nutricional (OGELLO et al., 2014), quanto da disponibilização de organismos que compõe o biofilme formado sobre suas estruturas (LI; LIU e GU, 2009). Dentre os organismos que se alimentam das macrófitas, há peixes que apresentam interesse comercial, como as tilápias (HALVER e HARDY, 2002). Diversos estudos têm avaliado as macrófitas com relação ao fornecimento *in natura* ou como ingredientes da dieta, a exemplo da elodea (*Egeria* sp.), do hyacinthus aquático (*Eichhornia crassipes*), e do mosquitofern ou veludo aquático (*Azola* spp.) (EL-SHAFAI et al., 2004; GOOPY e MURRAY, 2003; HASAN et al., 2007; TALUKDAR; SHAHJAHAN e RAHMAN, 2012; TAVARES et al., 2008). As espécies que mais se destacam em termos de qualidade nutricional, produtividade de biomassa e em potencial para o tratamento de efluentes pertencem a família Araceae, mais especificamente, ao grupo taxonômico da lemna (GOOPY e MURRAY, 2003; IQBAL, 1999; IQBAL; JAVED e BAIG, 2019).

2.2 LEMNA

A lemna é uma angiosperma flutuante que se desenvolve em corpos de água estagnada doce ou salobra, comumente cobrindo suas superfícies (IQBAL, 1999). A morfologia das espécies de lemna é adaptada para a sobrevivência em ambiente aquático, sendo simplificada a uma fronde flutuante com raízes suspensas abaixo da superfície da água (LANDOLT, 1990; POTT, 2002; SKILLICORN; SPIRA e JOURNEY, 1993). São vegetais exigentes em nutrientes, em especial, em nitrogênio e fósforo, sendo capazes de absorver estes elementos dissolvidos na água com eficiência, enquanto os convertem em tecido vegetal (ALAERTS; MAHBUBAR e KELDERMAN, 1996; GOOPY e MURRAY, 2003; IQBAL, 1999; SKILLICORN; SPIRA e JOURNEY, 1993). Além disto, a amônia também é aproveitada pela lemna, sendo diretamente metabolizada da água (De MATOS et al., 2014; IQBAL; JAVED e BAIG, 2019; IATROU; KORA e STASINAKIS, 2019; MOHEDANO et al., 2012; PORATH e POLLOCK, 1982; WANG et al., 2014; ZHANG et al., 2014).

O valor nutricional da lemna se destaca quando comparado com outros alimentos alternativos para peixes como, por exemplo, o farelo de soja (HAMMOUDA; GABER e ABDEL-HAMEED, 1995; IQBAL, 1999; MBAGWU; OKOYE e ADENIJI, 1990; SKILLICORN; SPIRA e JOURNEY, 1993; TIMMERMAN e HOVING, 2016). Possui um

notável teor proteico, que pode chegar a 45% de proteína bruta na matéria seca (CHAKRABARTI et al., 2018; LANDOLT, 1990; RUSOFF; BLAKENEY Jr. e CULLEY Jr., 1980; TAVARES et al., 2010). Comparada com outros alimentos de origem vegetal, a lemna apresenta teor de fibras benéfico para a digestibilidade por animais, sendo este em torno de 14% (PORATH, HEPHER e KOTON, 1979; SKILLICORN; SPIRA e JOURNEY, 1993). Em níveis de inclusão elevados, contudo, o teor de fibras, aliado a outros fatores antinutricionais da lemna, pode provocar impacto negativo sobre o desempenho zootécnico de peixes (CHAKRABARTI et al., 2018; GOOPY e MURRAY, 2003). Dentre estes fatores antinutricionais estão fatores de inibição organoléptica como oxalatos e flavonoides (GOOPY e MURRAY, 2003; KUMAR e BARMAN, 2012; SUN et al., 2017; VINOGRADSKAYA e KASUMYAN, 2019). Além disto, a lemna possui elevado teor de umidade (GAIGHER; PORATH e GRANOTH, 1984; IQBAL, 1999; MBAGWU; OKOYE e ADENIJI, 1990) e contém aerênquimas na estrutura de suas frondes, que por sua vez, incrementam o volume do alimento, em detrimento da digestibilidade (GAIGHER; PORATH e GRANOTH, 1984; JUNG; LEE e CHOI, 2008).

O perfil de aminoácidos da lemna é apresentado na Tabela 1, juntamente com o perfil da soja e da farinha de peixe. Lemnas possuem proteína de alta qualidade, porém, os teores de lisina, metionina e triptofano presentes na lemna são comparativamente inferiores aos teores da farinha de peixe (CHAKRABARTI et al., 2018; PORATH; HEPHER e KOTON, 1979; RUSOFF; BLAKENEY Jr. e CULLEY Jr., 1980). Quando comparada com o farelo de soja, os valores de balanço de aminoácidos da lemna são numericamente semelhantes (CHAKRABARTI et al., 2018; ROSTAGNO et al., 2017). Com base no perfil de aminoácidos, as lemnas podem substituir parcialmente a farinha de peixe e o farelo de soja que, por sua vez, são os ingredientes proteicos mais utilizados nas rações de peixes.

Tabela 1 - Composição de aminoácidos de farelo de soja, farinha de peixe e diferentes espécies de lemna em g 100g⁻¹ da proteína bruta.

	Farelo de soja (ROSTAGNO et al., 2017)	Farinha de peixe (ROSTAGNO et al., 2017)	<i>Lemna minor</i> (CHAKRABARTI et al., 2018)
	%	%	%
Proteína Bruta*	45,40	54,6	36,07
Arginina	3,35	3,25	3,06
Fenilalanina	2,34	2,05	2,57
Histidina	1,20	1,03	0,89
Isoleucina	2,13	2,08	2,043
Leucina	3,51	3,52	4,13
Lisina	2,80	3,33	2,68
Metionina	0,61	1,29	0,86
Treonina	1,78	2,20	1,92
Triptofano	0,64	0,44	0,37
Valina	2,22	2,59	2,66

*Em g 100g⁻¹ de matéria seca.

2.3 INCLUSÃO DE LEMNA EM DIETAS PARA PEIXES

Trabalhos utilizando espécies de lemna para a alimentação de tilápias são relacionados na Tabela 2. No geral, a inclusão de até 50% de lemna seca à dieta, em substituição a ingredientes, como a farinha de peixe, não provoca redução do desempenho de tilápias (EL-SHAFAI et al., 2004; FASAKIN; BALOGUN e FASURU, 1999; De MATOS et al., 2014; TAVARES et al., 2008; UTAMI et al., 2018). Quando avaliado o consumo de lemna em ambiente natural por tilápias azuis (*O. aureus*), as tilápias consumiram 59% de seu peso vivo em lemna fresca (HEATON e ROGERS, 2017). Entretanto, por conta de fatores como o teor de umidade, presença de estruturas morfológicas e de fatores antinutricionais capazes de reduzir a digestibilidade ou a palatabilidade da lemna, o fornecimento de mais de 20% de lemna seca pode reduzir o desempenho zootécnico das tilápias (EL-SHAFAI et al., 2004; GAIGHER; PORATH e GRANOTH, 1984; TAVARES et al., 2010).

A lemna pode ser fornecida fresca ou seca a peixes adaptados ao hábito da fitofagia, sejam estes herbívoros, como a carpa capim, ou onívoros, como a tilápia (HALVER e HARDY, 2002; IQBAL, 1999; RAO et al., 2015; SKILLICORN; SPIRA e JOURNEY, 1993). Mesmo que o desempenho de tilápias não seja promovido, é possível o uso da lemna para a suplementação alimentar, para o incremento do bem-estar dos peixes por meio do enriquecimento ambiental e para a manutenção da ciclagem de nutrientes (BERGENDAHL;

SALVANES e BRAITHWAITE, 2016; NÄSLUND e JOHNSSON, 2016; POUNDER et al., 2016; VOLPATO et al., 2009). A lemna é capaz de remover da água o nitrogênio em forma amoniacal, podendo ser utilizada para o reaproveitamento do excesso de biomassa efluente no sistema, uma vez que é capaz de absorver amônia diretamente da água enquanto é, simultaneamente, fornecida como alimento para tilápias (ALAERTS; MAHBUBAR e KELDERMAN, 1996; De MATOS et al., 2014; FERDOUSHI et al., 2008; GOOPY e MURRAY, 2003; IATROU; KORA e STASINAKIS, 2019; MOHEDANO et al., 2012; PORATH e POLLOCK, 1982; SKILLICORN; SPIRA e JOURNEY, 1993; TAVARES et al., 2010; WANG et al., 2014; ZHANG et al., 2014). Mais estudos são necessários para a quantificação dos benefícios do cultivo de peixes alimentados com lemna e para o desenvolvimento de sistemas de cultivo integrado de produção de peixes e lemnas.

Tabela 2 - Trabalhos realizados que utilizaram macrófitas aquáticas ou lemnas na alimentação de tilápias.

Espécie e peso médio inicial	Macrófita fornecida	Avaliação	Resultados	Referência
<i>O. niloticus</i> (90g)	<i>Lemna minor</i> fresca e seca	Inclusão de 20 e 40% de lemna em substituição a farinha de peixe	Substituição de até 20% não afeta a taxa de crescimento específico	El-Shafai et al. (2004)
<i>O. niloticus</i> (13,83g)	<i>Spirodela polyrrhiza</i> seca e moída	Cinco níveis de inclusão em substituição a farinha de peixe	Substituição de até 20% não altera desempenho zootécnico	Fasakin; Balogun e Fasuru (1999)
<i>O. niloticus</i> x <i>O. aureus</i> . (124,8g)	<i>Lemna gibba</i> fresca e dieta comercial peletizada	Consumo diário e desempenho zootécnico	Alimentação somente a base de lemna provoca desempenho desfavorável	Gaigher; Porath e Granoth (1984)
<i>O. aureus</i> (6,95g)	<i>Lemna minor</i> em reservatório de irrigação	Índice de consumo de macrófitas frescas	Ingestão de aproximadamente 59% do peso vivo por dia	Heaton e Rogers (2017)
<i>O. mossambicus</i> x <i>O. niloticus</i> (0,8g)	<i>Lemna valdiviana</i> peletizada	Substituição total da dieta comercial por lemna peletizada	A alimentação somente com lemna peletizada não afetou o desempenho zootécnico	De Matos et al. (2014)
<i>Sarotherodon galilaeus</i> (5 a 55g)	<i>Lemna aequinoctialis</i>	Substituição parcial da proteína por lemna	Melhor crescimento dos peixes e digestibilidade da ração	Mbagwu; Okoye e Adeniji (1990)
<i>O. niloticus</i> (3,2g)	<i>Lemna valdiviana</i> seca e moída	Três níveis de substituição da dieta por lemna seca	Pode substituir até 50% da ração sem afetar o desempenho zootécnico	Tavares et al. (2008)
<i>O. mossambicus</i> x <i>O. niloticus</i> (23g)	<i>Lemna valdiviana</i> seca	Dieta composta apenas por lemna seca	A alimentação somente com lemna seca resultou na redução do desempenho zootécnico	Tavares et al. (2010)
<i>O. niloticus</i> (36,27g)	<i>Lemna perpusilla</i> fresca	Fornecimento de 2% da biomassa de lemna fresca	Uniformidade e conversão alimentar melhorados	Utami et al. (2018)

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Piscicultura do Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV) da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC). O projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética e Experimentação Animal da universidade sob o número de protocolo 1566021219. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com dois tratamentos e sete repetições.

3.1 ANIMAIS E INSTALAÇÕES

Foram utilizadas 140 juvenis de tilápia do Nilo (peso médio inicial igual a $21,95 \pm 0,22$ g), obtidos de produtor comercial. Os peixes foram distribuídos em 14 caixas de polietileno com 70 litros de volume útil, ligadas em sistema de recirculação com filtros físico e biológico. A recirculação foi equipada com aquecedores com termostato e à cada caixa foi providenciada aeração constante através de pedra porosa, ligada a compressor de ar. Os peixes foram submetidos a um período de sete dias de aclimatação, nos quais foram alimentados com a mesma dieta comercial extrusada (32% de proteína bruta e diâmetro de 5mm). Periodicamente, foi realizada a manutenção de filtros espuma e a remoção de dejetos do fundo das caixas por meio do uso de sifão.

Diariamente, foram retirados restos de alimentos e observados o comportamento e a saúde dos animais. A qualidade da água foi monitorada semanalmente e as médias de temperatura ($21,14 \pm 1,29^\circ\text{C}$), pH ($8,22 \pm 0,26$), oxigênio dissolvido ($6,70 \pm 0,12\text{mg l}^{-1}$) e nitrogênio amoniacal total ($0,2 \pm 0,1\text{mg de NH}_3 \text{ l}^{-1}$) mantiveram-se conforme os parâmetros recomendados para a piscicultura (BOYD, 2015).

3.2 ENSAIO DE DESEMPENHO

O ensaio de desempenho foi realizado no decorrer de 28 dias, durante os quais os peixes foram submetidos aos dois tratamentos, um no qual os peixes foram expostos à lemna à vontade e um cujos peixes não receberam lemna. Os peixes foram alimentados três vezes ao dia (10:00, 14:00 e 18:00 horas) até a saciedade aparente, com a mesma dieta comercial extrusada fornecida durante a aclimatação.

A lemna foi obtida a partir de viveiros externos do laboratório e foram cultivadas e reproduzidas em caixas plásticas de 500 litros. Diariamente, um montante de lemna foi

manualmente coletado, lavado e seco, para então ser pesado e fornecido às caixas de tilápias. A lemna foi fornecida uma vez por dia antes da primeira alimentação com dieta comercial. De forma a assegurar a disponibilização constante de lemna aos peixes, foi fornecida quantidade suficiente para que restassem plantas até o momento da reposição de lemna, no dia seguinte. Antes do fornecimento, toda a lemna restante do dia anterior em cada caixa foi coletada, seca e quantificada de forma a estimar o consumo diário. Amostras de lemna desidratada foram armazenadas congeladas a -6°C para que sejam efetuadas análises bromatológicas (AOAC, 2000) que ainda não foram realizadas.

No início e no final do experimento, foram realizadas biometrias, de maneira a avaliar o desempenho zootécnico das tilápias expostas ou não ao fornecimento de lemna fresca. Os peixes foram submetidos a um período de jejum de 24 horas e, em seguida, foram anestesiados em solução de óleo de cravo ($1\text{g } 10\text{l}^{-1}$ de água) (SIMÕES, PAIVA e GOMES, 2010) e então submetidos a biometria. Desta forma obtiveram-se os componentes do desempenho zootécnico dos peixes de cada tratamento, sendo eles: ganho de peso (GP, $\text{g} = \text{peso médio final} - \text{peso médio inicial}$), consumo total (g); conversão alimentar (CA = $\text{consumo de ração/ganho de peso total}$); taxa de crescimento específico (TCE, $\% \text{ dia}^{-1} = [(\ln \text{ peso final} - \ln \text{ peso inicial})/\text{período experimental}] * 100$) (TACON, 1990). Além disto, calculou-se o índice de ingestão (índice de ingestão = $[\text{consumo de ração (g)}/\text{biomassa do aquário (g)} * 100]$). Para o cálculo do índice de ingestão diário foi realizada uma estimativa do peso diário com base nas biometrias.

3.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Todos dados foram submetidos a testes para a verificação da normalidade dos erros e homocedasticidade das variâncias. Os resultados foram analisados estatisticamente por meio de Análise de Variância Paramétrica (ANOVA) ao nível de 5% de significância. De forma a comparar o comportamento do consumo de lemna e de dieta comercial nos tratamentos, no decorrer do período experimental, utilizou-se descrição por meio de equação quadrática. Significância da diferença entre médias foi testada por teste de Tukey.

4 RESULTADOS

Os peixes visivelmente se alimentaram da lemna e o fornecimento de lemna fresca não prejudicou ($P>0,05$) os resultados de ganho de peso, conversão alimentar e taxa de crescimento específico de juvenis de tilápias do Nilo (Tabela 3). Não foi observada mortalidade em ambos os tratamentos.

Tabela 3 - Ganho de peso (GP), consumo total, conversão alimentar (CA) e taxa de crescimento específico (TCE) de tilápias do Nilo alimentadas diariamente com lemna a vontade em concomitância com dieta comercial.

	Controle	Com lemna	Valor de p
GP (g)	34,00 ± 3,22	35,71 ± 2,13	(ns) 0,3012
Consumo Total (g)	490,19 ± 19,43	478,59 ± 21,74	(ns) 0,3493
CA	1,46 ± 0,10	1,35 ± 0,10	(ns) 0,2050
TCE (% dia ⁻¹)	3,34 ± 0,12	3,44 ± 0,12	(ns) 0,3164

(ns) Médias não diferem pelo teste t ($P>0,05$).

A ingestão espontânea de lemna fresca teve valores máximos na primeira semana e diminuiu ($P<0,05$) ao longo do experimento (Figura 1). O comportamento dos resultados ao longo do tempo foi descrito por meio de equação quadrática.

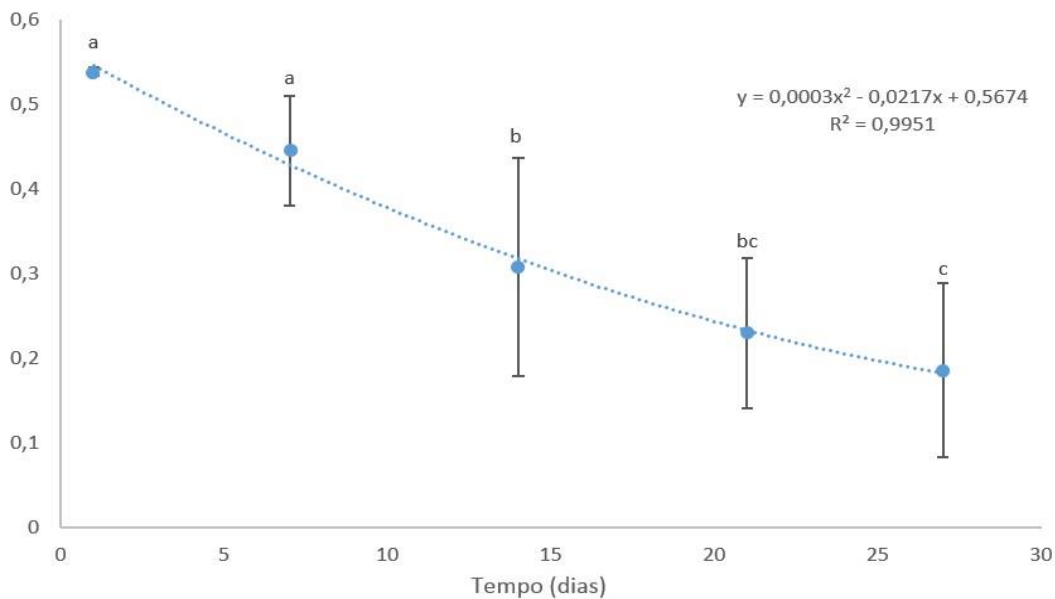


Figura 1 - Índice de ingestão espontânea (% do peso vivo de matéria seca) de lemna por tilápias em recirculação durante 28 dias. Médias seguidas de letras diferentes diferem ($P<0,05$) pelo teste de Tukey.

Na primeira e na terceira semana de experimento o consumo de alimento comercial foi menor ($P < 0,05$) nos peixes que receberam a lemna em relação ao tratamento controle (Figura 2). Na segunda semana não houve diferença ($P > 0,05$) no consumo de dieta comercial entre os tratamentos, assim como na quarta semana. Na comparação entre os períodos, o comportamento dos resultados ao longo do tempo em cada um dos tratamentos foi descrito por meio de equação quadrática. No tratamento controle o consumo de dieta comercial foi menor ($P < 0,05$) na primeira semana em relação aos outros períodos. No tratamento com lemna não houve diferença entre os períodos.

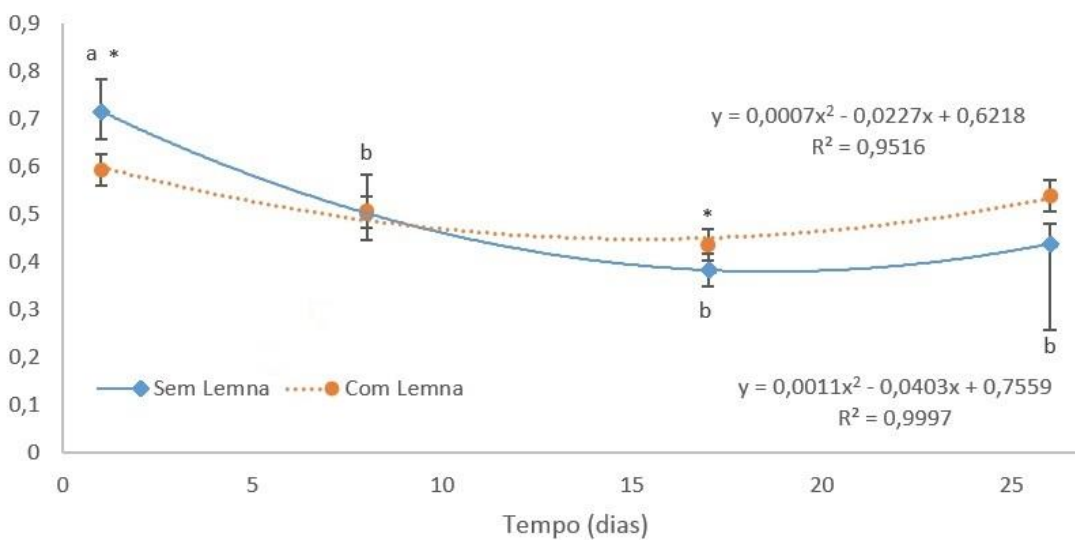


Figura 2 - Índice de ingestão de dieta comercial (% do peso vivo de matéria seca) por tilápias do Nilo expostas ou não a lemna durante 28 dias. Asteriscos indicam diferenças ($P < 0,05$) entre tratamentos em cada tempo pelo teste de Tukey. Letras minúsculas diferentes indicam diferenças ($P < 0,05$) ao longo do tempo no tratamento sem lemna de acordo com o teste de Tukey. No tratamento com lemna não houve diferença ($P > 0,05$).

5 DISCUSSÃO

O fornecimento de lemna fresca a vontade não prejudicou o desempenho dos juvenis de tilápias. A ingestão espontânea de lemna em sistemas de produção intensiva de tilápia não foi previamente avaliada. Em geral, a lemna é fornecida em substituição parcial da dieta comercial, onde a utilização de níveis superiores a 20% tende a provocar a redução do desempenho zootécnico das tilápias (EL-SHAFAI et al., 2004; FASAKIN; BALOGUN e FASURU, 1999). A modulação espontânea do consumo de nutrientes pelos animais pode ter prevenido os efeitos negativos sobre o desempenho dos peixes (FORBES, 2001; FORTES-SILVA et al., 2012; FORTES-SILVA; KITAGAWA e SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, 2016). Ao permitir que as tilápias regulem a quantidade de alimento ingerido por conta própria, impede-se que as tilápias ultrapassem a taxa de ingestão de lemna que viria a prejudicar seu desempenho.

No presente estudo, os níveis máximos de consumo de lemna foram de 0,5% do peso vivo, se estabilizando em 0,23% do peso vivo. Quando a lemna é a única fonte de alimento o consumo pode chegar a 0,9% do peso vivo (GAIGHER; PORATH e GRANOTH, 1984). O consumo espontâneo de lemna pelas tilápias pode ser limitado pelo seu alto teor de umidade (GAIGHER; PORATH e GRANOTH, 1984; MBAGWU; OKOYE e ADENIJI, 1990), fibra (MBAGWU; OKOYE e ADENIJI, 1990; TIMMERMAN e HOVING, 2016), oxalatos e flavonoides (GOOPY e MURRAY, 2003; KUMAR e BARMAN, 2012; VINOGRADSKAYA e KASUMYAN, 2019). Além da presença dos aerênquimas em suas frondes, que contribuem para incremento do volume, em detrimento do teor de matéria seca da lemna e, por consequência, resultam na redução de sua ingestão espontânea (GAIGHER; PORATH e GRANOTH, 1984; JUNG; LEE e CHOI, 2008).

Foi observado no presente estudo que, com o passar do tempo, a ingestão de lemna diminuiu de 0,5% a 0,2% do peso vivo. As tilápias apresentaram ganho de peso médio de $34,85 \pm 2,86$ g, a partir de um peso inicial de $21,95 \pm 0,22$ g. Peixes maiores ingerem proporcionalmente menos alimento do que peixes menores devido à redução na taxa metabólica em função do peso (XIE et al., 1997). O consumo de ração proporcional ao peso também diminuiu ao longo do experimento confirmando este resultado. Embora possua alto teor de proteína e de aminoácidos (CHAKRABARTI et al., 2018; OGELLO et al., 2014), a lemna pode conter teores relativamente baixos de aminoácidos essenciais para a tilápia, especificamente, de lisina, metionina e triptofano (FASAKIN; BALOGUN e FASURU, 1999; GOOPY e MURRAY, 2003; HAMMOUDA; GABER e ABDEL-HAMEED, 1995). A

redução no consumo de lemna pode ser uma tentativa de corrigir um desbalanceamento destes nutrientes (FORBES, 2001; FORTES-SILVA et al., 2012; FORTES-SILVA; KITAGAWA e SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, 2016). Estudos de longa duração com a suplementação de aminoácidos são necessários para confirmar este resultado.

Na primeira semana de experimento houve um aumento no consumo de lemna em detrimento da dieta comercial. Este resultado confirma a aptidão da lemna como alimento palatável para tilápias. Inclusive demonstra uma possível preferência em relação a ração. Entretanto, na terceira semana, houve uma modulação no consumo e a ingestão de dieta comercial aumentou em relação a lemna, possivelmente por consequência da lemna não ser nutricionalmente completa (GOOPY e MURRAY, 2003; HAMMOUDA; GABER e ABDEL-HAMEED, 1995) e conter fatores antinutricionais (GAIGHER; PORATH e GRANOTH, 1984; KUMAR e BARMAN, 2012; TIMMERMAN e HOVING, 2016; VINOGRADSKAYA e KASUMYAN, 2019). Estudos de preferência alimentar mostram que os peixes conseguem espontaneamente balancear macro e micronutrientes, assim como evitar a ingestão de compostos tóxicos (FORBES, 2001; FORTES-SILVA et al., 2012; FORTES-SILVA; KITAGAWA e SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, 2016; VIVAS et al., 2006).

A ausência de resultado positivo sobre o desempenho das tilápias não invalida o uso da lemna para incrementar o bem-estar de peixes ou para a manutenção dos efluentes na água. A lemna pode ser utilizada para o reaproveitamento do excesso de biomassa efluente no sistema enquanto é, simultaneamente, fornecida como alimento para tilápias (ALBERTS; MAHBUBAR e KELDERMAN, 1996; De MATOS et al., 2014; FERDOUSHI et al., 2008; GOOPY e MURRAY, 2003; IATROU; KORA e STASINAKIS, 2019; MOHEDANO et al., 2012; PORATH e POLLOCK, 1982; SKILLICORN; SPIRA e JOURNEY, 1993; TAVARES et al., 2010; WANG et al., 2014; ZHANG et al., 2014) A ingestão espontânea de lemna pela tilápia permite a suplementação alimentar e a manutenção do bem-estar dos peixes por meio do enriquecimento ambiental (BERGENDAHL; SALVANES e BRAITHWAITE, 2016; NÄSLUND e JOHNSON, 2016; POUNDER et al., 2016; VOLPATO et al., 2009). Mais estudos são necessários para o desenvolvimento de sistemas de cultivo integrado de produção de peixes e lemnas.

6 CONCLUSÃO

A tilápia pode ingerir espontaneamente até 0,5% do peso vivo em lemna fresca. A quantidade consumida de lemna diminui com o passar do tempo. Com a disponibilização de lemna, as tilápias reduzem o consumo de dieta comercial. Esta redução é compensada ao longo do tempo e o desempenho não é afetado. A lemna é uma planta facilmente cultivada, muitas vezes obtida sem custos adicionais, que pode ser utilizada no tratamento de água efluente e pode reduzir a demanda dos animais pela dieta comercial sem que seja interferido seu desempenho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALAERTS, G. J.; MAHBUBAR, R.; KELDERMAN, P. Performance analysis of a full-scale duckweed-covered sewage lagoon. **Water Research**, v. 30, n. 4, p. 843-852, 1996.

AOAC. **AOAC Official methods of analysis of AOAC international**, 17. ed. Maryland: AOAC International, 2000.

APG IV Angiosperm Phylogeny Group. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 181, p. 1–20, 2016.

ASHLEY, P. J. Fish welfare: Current issues in aquaculture. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 104, p. 199-235, 2007.

ASIMI, O. A.; KHAN, I. A.; BHAT, T. A.; HUSAIN, N. Duckweed (*Lemna minor*) as a plant protein source in the diet of common carp (*Cyprinus carpio*) fingerlings. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 7, n. 3, p. 42-45, 2018.

BERGENDAHL, I. A.; SALVANES, A. G. V.; BRAITHWAITE, V. A. Determining the effects of duration and recency of exposure to environmental enrichment. **Applied Animal Behavior Science**, v. 176, p. 163-169, 2016.

BOKHARI, S. H.; AHMAD, I.; MAHMOOD-UL-HASSAN, M.; MOHAMMAD, A. Phytoremediation potential of *Lemna minor* L. for heavy metals. **International Journal of Phytoremediation**, v. 18, n. 1, p. 25-32, 2016.

BOYD, C. E. Vascular aquatic plants for mineral nutrient removal from polluted waters. **Economic Botany**, v. 24, n. 1, p. 95-103, 1970.

BOYD, C. E. The Limnological Role of Aquatic Macrophytes and Their Relationship to Reservoir Management. **The American Fisheries Society**, v. 8, p. 153-165, 1971.

BOYD, C. E. **Water quality: an introduction**. 2. ed. Springer, 2015. 374 p.

CARACO, N. F.; COLE, J. J. Contrasting impacts of a native and alien macrophyte on dissolved oxygen in a large river. **Ecological Applications**, v. 12, v. 5, p. 1496-1509, 2002.

- CARPENTER, S. R.; LODGE, D. M. Effects of submersed macrophytes on ecosystem processes , **Aquatic Botany**, p. 341-370, 1986.
- CHAKRABARTI, R.; CLARK, W. D.; SHARMA, J. G.; GOSWAMI, R. K. Mass Production of *Lemna minor* and Its Amino Acid and Fatty Acid Profiles. **Frontiers in Chemistry**, v. 6, p. 479, 2018.
- CHAMBERS, P. A.; LACOUL, P.; MURPHY, K. J.; THOMAZ, S. M. Global diversity of aquatic macrophytes in freshwater. **Hydrobiologia**, v. 595, p. 9–26, 2008.
- COLSON, V.; SADOUL, B.; VALOTAIRE, C.; PRUNET, P.; GAUMÉ, M.; LABBÉ, L. Welfare assessment of rainbow trout reared in a Recirculating Aquaculture System: Comparison with a Flow-Through System. **Aquaculture**, v. 436, p. 151–159, 2015.
- De MATOS, F. T.; LAPOLLI, F. R.; MOHEDANO, R. A.; FRACALOSSO, D. M.; BUENO, G. W.; ROUBACH, R. Duckweed bioconversion and fish production in treated domestic wastewater. **Journal of Applied Aquaculture**, v. 26, n. 1, p. 49-59, 2014.
- EL-SHAFI, S. A.; EL-GOHARY, F. A.; VERRETH, J. A. J.; SCHRAMA, J. W.; GIJZEN, H. J. Apparent digestibility coefficient of duckweed (*Lemna minor*), fresh and dry for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). **Aquaculture Research**, v. 35, p. 574-586, 2004.
- ESTEVEZ, F. A.; CAMARGO, A. F. M. Sobre o papel das macrófitas aquáticas na estocagem e ciclagem de nutrientes. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 1, p. 273-298, 1986.
- FASAKIN, E. A.; BALOGUN A. M.; FASURU, B. E. Use of duckweed, *Spirodela polyrrhiza*, L. Schleiden, as a protein feedstuff in practical diets for tilapia, *Oreochromis niloticus* L. **Aquaculture Research**, v. 30, p. 313-318, 1999.
- FERDOUSHI, Z.; HAQUE, F.; KHAN, S.; HAQUE, M. The Effects of two Aquatic Floating Macrophytes (*Lemna* and *Azolla*) as Biofilters of Nitrogen and Phosphate in Fish Ponds. **Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 8, p. 253-258, 2008.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION – FAO. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2018** - Meeting the sustainable development goals. Rome: FAO, 2018. 227 p.
- FORBES, J. M. Consequences of feeding for future feeding. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, v. 128, n. 3, p. 461-468, 2001.

FORTES-SILVA, R.; ROSA, P. V.; ZAMORA, S.; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, F. J. Dietary self-selection of protein-unbalanced diets supplemented with three essential amino acids in Nile tilapia. **Physiology & behavior**, v. 105, n. 3, p. 639-644, 2012.

FORTES-SILVA, R.; KITAGAWA, A.; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, F. J. Dietary self-selection in fish: a new approach to studying fish nutrition and feeding behavior. **Reviews in fish biology and fisheries**, v. 26, n. 1, p. 39-51, 2016.

GAIGHER, I. G.; PORATH, D.; GRANOTH, G. Evaluation of duckweed (*Lemna gibba*) as feed for tilapia (*Oreochromis niloticus* x *O. aureus*) in a recirculating unit. **Aquaculture**, v. 41, p. 235-244, 1984.

GATLIN III, D. M.; BARROWS, F. T.; BROWN, P.; DABROWSKI, K.; GAYLORD, T. G.; HARDY, R. W.; OVERTURF, K. Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: a review. **Aquaculture Research**, v. 38, p. 551-579, 2007.

GOOPY, J.; MURRAY, P. A Review on the Role of Duckweed in Nutrient Reclamation and as a Source of Animal Feed. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, 2003.

HALVER, J. E.; HARDY, R. W. **Fish Nutrition**. 3. ed. San Diego: Elsevier Science, 2002. 839 p.

HAMMOUDA, O.; GABER, A.; ABDEL-HAMEED, M. S. Assessment of the effectiveness of treatment of wastewater-contaminated aquatic systems with *Lemna gibba*. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 17, p. 317-323, 1995.

HASAN, M. R.; HECHT, T.; De SILVA, S. S.; TACON, A. G. **Study and analysis of feeds and fertilizers for sustainable aquaculture development**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2007. 531 p.

HEATON, W. C.; RODGERS, J. H. Common duckweed (*Lemna minor*) consumption by blue tilapia (*Oreochromis aureus*) in feeding trials. **Journal Aquatic Plant Management**, v. 55, p. 123–125, 2017.

IATROU, E. I.; KORA, E.; STASINAKIS, A. S. Investigation of biomass production, crude protein and starch content in laboratory wastewater treatment systems planted with *Lemna minor* and *Lemna gibba*. **Environmental technology**, v. 40, n. 20, p. 2649-2656, 2019.

IQBAL, S. **Duckweed Aquaculture: Potentials, Possibilities and Limitations for Combined Wastewater Treatment and Animal Feed Production in Developing Countries**, 1999. 89 p.

IQBAL, J.; JAVED, A.; BAIG, M. A. Growth and nutrient removal efficiency of duckweed (*Lemna minor*) from synthetic and dumpsite leachate under artificial and natural conditions. **Plos ONE**, v. 14, n. 8, p. 1-9, 2019.

JUNG, J.; LEE, S. C.; CHOI, H. Anatomical patterns of aerenchyma in aquatic and wetland plants. **Journal of Plant Biology**, v. 51, n. 6, p. 428-439, 2008.

KUMAR, V.; BARMAN, D. Anti-nutritional Factors in Plant Feedstuffs Used in Aquafeeds. **World Aquaculture**, p. 64-68, 2012.

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

LANDOLT, E. **Lemnaceae**. In: ROHWER, J. G.; BITTRICH, V. The families and genera of vascular plants. Berlin: Springer, 1990, p. 264–270.

LI, K.; LIU, Z.; GU, B. Density-dependent effects of snail grazing on the growth of a submerged macrophyte, *Vallisneria spiralis*. **Ecological Complexity**, v. 6, n. 4, p. 438-442, 2009.

LÓPEZ-OLMEDA, J. F.; NOBLE, C.; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, F. J. Does feeding time affect fish welfare? **Fish Physiology and Biochemistry**, v. 38, n. 1, p. 143-152, 2012.

MAYO, S. J.; BOGNER, J.; BOYCE, P. C. **The Genera of Araceae**. Belgium: Continental Printing, 1997. 380 p.

MBAGWU, I. G.; OKOYE, F. C.; ADENIJI, H. Studies on the use of duckweed (*Lemna picostata* Hegelm) as fish food. **National Institute for Freshwater Fisheries Research**, v. 22, p. 1-25, 1990.

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

NÄSLUND, J.; JOHANSSON, J. I. Environmental enrichment for fish in captive environments: effects of physical structures and substrates. **Fish and Fisheries**, v. 17, p. 1–30, 2016.

OBIRIKORANG, K. A.; AGBO, N. W.; OBIRIKORANG, C.; ADJEI-BOATENG, D.; AHIHAVE, S. E.; SKOV, P. V. Effects of water flow rates on growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) reared in a recirculating aquaculture system. **Aquaculture International**, v. 27, p. 449–462, 2019.

OGELLO, E. O. O.; MUNGUTI, J. M.; SAKAKURA, Y. HAGIWARA, A. Complete Replacement of Fish Meal in the Diet of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) Grow-out with Alternative Protein Sources. A review. **International Journal of Advanced Research**, v. 2, p. 962-978, 2014.

PORATH, D.; HEPHER, B.; KOTON, A. Duckweed as an aquatic crop: evaluation of clones for aquaculture. **Aquatic Botany**, v. 7, p. 273-278, 1979.

PORATH, D.; POLLOCK, J. Ammonia stripping by duckweed and its feasibility in circulating aquaculture. **Aquatic Botany**, v. 13, p. 125-131, 1982.

POTT, V. J. Lemnaceae. In: WANDERLEY, M. G. L.; SHEPHERD, G. J.; GIULIETTI, A. M.; MELHEM, T. S.; BITTRUCH, V.; KAMEYAMA, C. **Flora Fanerogâmica do Estado de São Paulo**. vol 2. São Paulo: Instituto de Botânica, 2002. p. 135-140.

POUNDER, K. C.; MITCHELL, J. L.; THOMSON, J. S.; POTTINGER, T. G.; BUCKLEY, J.; SNEDDON, L. U. Does environmental enrichment promote recovery from stress in rainbow trout? **Applied Animal Behaviour Science**, v. 176, p. 136-142, 2016.

RAO, W.; NING, J.; ZHONG, P.; JEPPESEN, E.; LIU, Z. Size-dependent feeding of omnivorous Nile tilapia in a macrophyte-dominated lake: implications for lake management. **Hydrobiologia**, v. 749, p. 125–134, 2015.

ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, L. F. T.; HANNAS, M. I.; DONZELE, J. L.; SAKOMURA, N. K.; PERAZZO, F. G.; SARAIVA, A.; TEIXEIRA, M. L.; RODRIGUES, P. B.; De OLIVEIRA, R. F.; BARRETO, S. L. De T.; BRITO, C.O. **Tabelas Brasileiras Para Aves e Suínos: Composição de Alimentos e Exigências Nutricionais**. Viçosa: Departamento de Zootecnia-UFV, 2017. 488 p.

RUSOFF, L. L.; BLAKENEY Jr., E. W.; CULLEY Jr., D. D. Duckweeds (Lemnaceae Family): A Potential Source of Protein and Amino Acids. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 28, p. 848-850, 1980.

SIMÕES, L. N.; PAIVA, G.; GOMES, L. De C. Óleo de cravo como anestésico em adultos de tilápia-do-Nilo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 45, n. 12, p. 1472-1477, 2010.

SKILLICORN, P.; SPIRA, W.; JOURNEY, W. **Duckweed aquaculture: a new aquatic farming system for developing countries**. World Bank, 1993. 76 p.

STEVESON, R. J.; BOTHWELL, M. L.; LOWE, R. L. **Algal ecology: Freshwater benthic ecosystems**, 1996. 781 p.

SUN, J.; WANG, L.; MA, L.; MIN, F.; HUANG, T.; ZHANG, Y.; WU, Z.; HE, F. Factors affecting palatability of four submerged macrophytes for grass carp *Ctenopharyngodon idella*. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 36, p. 28046-28054, 2017.

TACON, A. G. J. **The nutrition and feeding of farmed fish and shrimp – A training manual. The essential nutrients**. Brasília, Food and Agriculture Organization of the United Nations. 1990. 117 p.

TALUKDAR, M. Z. H.; SHAHJAHAN, M.; RAHMAN, M. S. Suitability of duckweed (*Lemna minor*) as feed for fish in polyculture system. **International Journal of Agricultural Research, Innovation and Technology**, v. 2, n. 1, p. 42-46, 2012.

TAVARES, F. A.; RODRIGUES, J. B. R.; FRACALOSSO, D. B.; ESQUIVEL, J.; ROUBACH, R. Dried duckweed and commercial feed promote adequate growth performance of tilapia fingerlings. **Biotemas**, v. 21, n. 3, p. 91-97, 2008.

TAVARES, F. De A.; LAPOLLI, F. R.; ROUBACH, R.; JUNGLES, M. K.; FRACALOSSO, D. M.; De MORAES, A. M. Use of domestic effluent through duckweeds and red tilapia farming in integrated system. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v. 5, n. 1, p. 1-10, 2010.

THOMAZ, S. M.; ESTEVES, F. A.; MURPHY, K. J.; DOS SANTOS, A. M.; CALIMAN, A.; GUARIENTO, R. D. Aquatic macrophytes in the tropics: ecology of populations and communities, impacts of invasions and use by man. In: DEL-CLARO, K.; SCARANO, F. R.; LUETTGE, H. **Encyclopedia of Life System Support**. UNESCO, 2008, p. 1252–1280.

THOMAZ, S. M.; Da CUNHA, E. R. The role of macrophytes in habitat structuring in aquatic ecosystems: methods of measurement, causes and consequences on animal assemblages' composition and biodiversity. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 22, n. 2, p. 218-236, 2010.

TIMMERMAN, M.; HOVING, I. E. Purifying manure effluents with duckweed. **Wageningen UR Livestock Research**, n. 942, p. 1-29, 2016.

UTAMI, R. H.; NIRMALA, K.; RUSMANA, I.; DJOKOSETIYANTO, D.; HASTUTI, Y. P. The application of phytoremediation *Lemna perpusilla* to increase the production performance of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* in a recirculation system. **Journal Akuakultur Indonesia**, v. 17, n. 1, p. 34-42, 2018.

VINOGRADSKAYA, M. I.; KASUMYAN, A. O. Palatability of Water Organisms for Nile Tilapia *Oreochromis niloticus* (Cichlidae). **Journal of Ichthyology**, v. 59, n. 3, p. 389-398, 2019.

VIVAS, M.; RUBIO, V. C.; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, F. J.; MENA, C.; GARCÍA, B. G.; MADRID, J. A. Dietary self-selection in sharpsnout seabream (*Diplodus puntazzo*) fed paired macronutrient feeds and challenged with protein dilution. **Aquaculture**, v. 251, p. 430-437, 2006.

VOLPATO, G. L.; GONÇALVES-DE-FREITAS, E.; FERNANDES-DE-CASTILHO, M. Insights into the concept of fish welfare. **Diseases of Aquatics Organisms**, v. 75, p. 165-171, 2007.

VOLPATO, G. L.; GIAQUINTO, P. C.; De CASTILHO, M. F.; BARRETO, R. E.; De FREITAS, E. G. Animal Welfare: from CONCEPTS to reality. **Oecologia Brasiliensis**, v. 3, n. 1, p. 05-15, 2009.

WANG, W.; YANG, C.; TANG, X.; GU, X.; ZHU, Q.; PAN, K.; HU, Q.; MA, D. Effects of high ammonium level on biomass accumulation of common duckweed *Lemna minor* L. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 21, n. 24, p. 14202-14210, 2014.

XIE, S.; CUI, Y.; YANG, Y.; LIU, J. Effect of body size on growth and energy budget of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture**, v. 157, p. 25-34, 1997.

ZHANG, K.; CHEN, Y. P.; ZHANG, T. T.; ZHAO, Y.; SHEN, Y.; HUANG, L.; GAO, X.; GUO, J. S. The logistic growth of duckweed (*Lemna minor*) and kinetics of ammonium uptake. **Environmental Technology**, v. 35, n. 5, p. 562-567, 2014.