

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 22/08/2023.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CENTRO DE AQUICULTURA DA UNESP

**Produção de biomassa e proteína utilizando
um sistema aquícola multitrófico em
comunidades familiares na Mata Atlântica sob
a perspectiva da economia circular**

Beatriz Soares Heitzman

Jaboticabal, São Paulo
2022

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CENTRO DE AQUICULTURA DA UNESP**

**Produção de biomassa e proteína utilizando
um sistema aquícola multitrófico em
comunidades familiares na Mata Atlântica sob
a perspectiva da economia circular**

Beatriz Soares Heitzman

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Wolff Bueno

Coorientador: Prof. Dr. Levi Pompermayer Machado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Aquicultura do Centro de Aquicultura da UNESP - CAUNESP, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre.

Jaboticabal, São Paulo
2022

H473p Heitzman, Beatriz Soares
Produção de biomassa e proteína utilizando um sistema aquícola
multitrófico em comunidades familiares na Mata Atlântica sob a perspectiva
da economia circular / Beatriz Soares Heitzman. -- Jaboticabal, 2022
54 p. : il., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Centro de
Aquicultura, 2022
Orientador: Guilherme Wolff Bueno
Coorientador: Levi Pompermayer Machado
Banca examinadora: Regildo Márcio Gonçalves da Silva, Tavani Rocha
Camargo
Bibliografia

1. Biorremediação. 2. Bioprodutos. 3. Bioeconomia. 4. Índice de estado
trófico. 5. *Lemna minor*. I. Título. II. Jaboticabal-Centro de Aquicultura.

CDU 639.3.43

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título da Dissertação: Produção de biomassa e proteína utilizando um sistema aquícola multitrófico em comunidades familiares na Mata Atlântica sob a perspectiva da economia circular.

AUTORA: BEATRIZ SOARES HEITZMAN

ORIENTADOR: Dr. GUILHERME WOLFF BUENO

COORIENTADOR: Dr. LEVI POMPERMAYER MACHADO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em CIÊNCIAS/AQUICULTURA, pela Comissão Examinadora:



Dr. Guilherme Wolff Bueno

Universidade Estadual Paulista, UNESP, Campus de Registro, Centro de Aquicultura da UNESP - CAUNESP, Campus de Jaboticabal.



Dr. Regildo Márcio Gonçalves da Silva

Programa de Pós-graduação em Biotecnologia - Instituto de Química da UNESP, Campus de Araraquara.



Dra. Tavaní Rocha Camargo

Lab. de Bioeconomia e Inovação da UNESP, Centro de Aquicultura da UNESP - CAUNESP, Campus de Jaboticabal.

Jaboticabal, 22 de fevereiro de 2022.

Centro de Aquicultura da Unesp

Coordenação do Programa de Pós Graduação

Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n CEP 14884-900 Jaboticabal, SP, Brasil

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento deste trabalho de mestrado contou com a ajuda de diversas pessoas, dentre as quais agradeço:

A minha mãe Joana Soares, ao meu irmão Carlos Augusto e a minha cunhada Juliana, por serem todo o alicerce durante a minha vida, me apoiando em todas as decisões. Ao meu filho Henrique que me inspira todos os dias a buscar uma qualificação profissional.

Ao professor orientador Dr. Guilherme Wolff Bueno, por me acolher no programa de mestrado e orientar durante o projeto de pesquisa científica. Ao professor coorientador Dr. Levi Pompermayer Machado que trouxe a oportunidade de conhecer outras áreas de atuação do Engenheiro de Pesca, além de ser como um “Pai” em todo o percurso do mestrado, aconselhando e incentivando o meu crescimento profissional.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES que financiou a bolsa de mestrado e a Empresa Mosaic Fertilizantes pelos Editais Águas que subsidiaram a pesquisa.

A Prefeitura Municipal de Cajati, especialmente ao setor de Agricultura e Meio Ambiente intermediado pelo Engenheiro Agrônomo Fabiano Milton de Sousa na Divisão de Desenvolvimento Sustentável, por oferecer todo apoio de deslocamento e comunicação aos produtores familiares do município. A Associação dos Agricultores Familiares de Cajati – AAGFAM, por aceitar e colaborar com desenvolvimento do projeto de pesquisa científica.

APOIO FINANCEIRO E INSTITUCIONAL

Agradecemos a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES (Bolsa de Mestrado, Processo nº 88887.486481/2020-00) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processos nº 2016/10.563-0 e nº 2019/07.948-6 integrantes dos Programas de Inovação Tecnológica – PPFMCG e Pesquisa sobre Mudanças Climáticas Globais. Este estudo científico também contou com o apoio financeiro da Empresa Mosaic Fertilizantes – Editais Água 2019/2020 e 2021/2022. E por fim, ao “Aquário de Ideias”, a Incubadora de Empresa de Base Científica e Tecnológica da UNESP Registro no Vale do Ribeira, ao Laboratório de Algas e Plantas Aquáticas - LAPLA e ao Laboratório de Inovação e Bioeconomia Aplicada na Aquicultura – iB4 Lab pelo apoio operacional e mentoria durante todo o mestrado.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

RESUMO

A aquicultura integrada multitrófica (AIMT) é um processo de produção que permite a utilização dos resíduos e efluentes como insumos para produção de outros organismos de forma associada e mais sustentável. A utilização das Lemnáceas apresenta elevada eficiência nos processos de biorremediação dos efluentes da piscicultura. A biomassa vegetal das plantas serve como fonte de moléculas de alto valor agregado obtidos da reutilização e geração de novos bioprodutos sob a perspectiva da bioeconomia, destacando a produção de proteínas, lipídeos, pigmentos e minerais. O objetivo deste estudo foi implantar um sistema AIMT com *Clarias gariepinus* e *Lemna minor* em propriedades familiares na região de Mata Atlântica em São Paulo, Brasil e avaliar este sistema em relação a eficiência na biorremediação de nutrientes dissolvidos e redução do Índice de Estado Trófico (IET). Além disto, avaliou-se a composição química da biomassa seca da planta aquática para definir o potencial na utilização como bioprodutos em outros setores da indústria. Foi implantado um sistemas AIMT, de fluxo contínuo de água, com diferentes manejos em três unidades familiares (UFs), sendo: Sistema I – Utilização da *L. minor* no sistema de decantação com colheita da planta em 15 e 60 dias. Sistema II – Utilização da *L. minor* no sistema de decantação com tempo de colheita da planta em 30 dias. A avaliação dos sistemas demonstrou que a *L. minor* foi eficiente na biorremediação no sistema II, com a remoção de 100% NH₄, 93,15% NO₃, 87,81% PO₄. Assim, a *L. minor* proporcionou a redução média do IET de supereutrófico para oligotrófico no sistema II. A biomassa seca *L. minor* obteve altos teores de proteínas (35-36%) e minerais, como os macronutrientes P, K, Ca (12,33; 15,67; 16,33 g.kg⁻¹) e micronutrientes Fe, Mn, Zn (323,00; 183,33; 131,00 mg.kg⁻¹). A quantidade de β-caroteno foi 0,61 mg.g⁻¹, astaxantina 540 µg.g⁻¹ e a razão de ácidos graxos n-6/n-3 foi 0,93:1. Os resultados evidenciaram o potencial de uso da *L. minor* integrada com *C. gariepinus* em um sistema AIMT para tratamento de efluentes e geração de novos bioprodutos oriundos de processos circulares de produção praticados em unidades familiares aquícolas instaladas na região de Mata Atlântica.

Palavras-chave: biorremediação, bioprodutos, bioeconomia, índice de estado trófico, *Lemna minor*.

ABSTRACT

Integrated multitrophic aquaculture (AIMT) is a production process that allows the use of waste and effluents as inputs to produce other organisms in an associated and more sustainable way. The use of Lemnaceae presents high efficiency in the processes of bioremediation of fish farming effluents. The plant biomass of plants serves as a source of molecules of high added value obtained from the reuse and generation of new bioproducts from the perspective of the bioeconomy, highlighting the production of proteins, lipids, pigments and minerals. The objective of this study was to implement an AIMT system with *Clarias gariepinus* and *Lemna minor* on family farms in the Atlantic Forest region of São Paulo, Brazil and to evaluate this system in relation to the efficiency in bioremediation of dissolved nutrients and reduction of the Trophic State Index (IET). Furthermore, the chemical composition of the dry biomass of the aquatic plant was evaluated to define the potential for use as bioproducts in other sectors of the industry. AIMT system was implemented, with continuous water flow, with different managements in three family units (FUs), as follows: System I: Use of *L. minor* in the decantation system with harvest of aquatic plant in 15th and 60th days. System II: Use of *L. minor* in the settling system with a harvest time of 30 days. The evaluation of the system showed that *L. minor* was efficient both in bioremediation in system II, with the removal of 100% NH₄, 93.15% NO₃, 87.81% PO₄. Thus, *L. minor* provided the average reduction of the ETI from supereutrophic to oligotrophic in system II. The dry biomass of *L. minor* obtained high levels of proteins (35-36%) and minerals, such as the macronutrients P, K, Ca (12.33; 15.67; 16.33 g.kg⁻¹) and micronutrients Fe, Mn, Zn (323.00; 183.33; 131.00 mg.kg⁻¹). The amount of β-carotene was 0.61 mg.g⁻¹, astaxanthin 540 μg.g⁻¹ and the ratio of n-6/n-3 fatty acids was 0.93:1. The results showed the potential use of *L. minor* integrated with *C. gariepinus* in an AIMT system for effluent treatment and generation of new byproducts from circular production processes practiced in aquaculture family units installed in the Atlantic Forest region.

Keywords: bioremediation, bioproducts, bioeconomy, trophic state index, *Lemna minor*.

1. INTRODUÇÃO

A produção mundial de pescado oriunda da aquicultura continental deve aumentar para 204 milhões de toneladas em 2030, um crescimento de 15% em relação a 2018, com a participação da aquicultura crescendo em 46% (FAO, 2020). No Brasil, a aquicultura nestes ambientes produziu ~722.560t de pescado em 2018, aumento de 24,8% com relação a produção de 2014, com 578.800 (PEIXE BR, 2021). De acordo com a FAO (2020), a produção de pescado fez com que o Brasil atingisse em 2018 a 13ª posição na produção de peixes em cativeiro, e o 8º posição na produção de peixes em água doce. Em 2020, o país alcançou uma produção de 802.930t de pescado, aumento de 37% com relação a 2014 (PEIXE BR, 2021; VALENTI et al, 2021).

A utilização de sistemas produtivos mais intensivos é uma das alternativas para aumentar a produção de pescado (CUNHA et al, 2016), porém, estes sistemas estão mais susceptíveis aos diversos fatores que afetam a produção e apresentam mais riscos ambientais e econômicos (KNOWLE et al, 2020). O aumento da densidade de peixes nestes sistemas promove o acréscimo no consumo alimentar e energético, elevando a concentração de nitrogênio e fósforo no viveiro, gerando maiores cargas de efluentes ao ambiente aquático (BUENO et al, 2019).

O descarte indevido dos efluentes gerados na produção aquícola nos corpos hídricos receptores aceleram a eutrofização natural, causando problemas ambientais devido à elevada carga de nutrientes eliminadas, principalmente o fósforo e o nitrogênio (BOYD et al, 2020). Uma das alternativas para reduzir os impactos ambientais causados é a implementação de sistemas de aquicultura integrada multitrófica (AIMT) ou similares que empregam a abordagem da economia circular e bioeconomia (CHOPIN, et al, 2001; KNOWLE et al, 2020).

A AIMT combina o cultivo de organismos aquáticos que necessitam do fornecimento de alimento para crescerem com outros que utilizam a matéria orgânica e inorgânica dissolvida na água, utilizando os recursos de forma mais eficiente, reduzindo os resíduos e o potencial de impacto ambiental (CHOPIN, et al, 2001; TROELL et al, 2009).

A *Lemna minor* é uma macrófita aquática cosmopolita, popularmente conhecida por “lentilha d’água” e “*duckweed*”, utilizada em sistema AIMT para

reduzir o potencial de impacto ambiental causado pelo efluente no meio aquícola. Em ambientes naturais, a *L. minor* é encontrada livre na superfície de águas doces paradas, em lugares protegidos de ventos fortes e turbulência, sendo ricas em nutrientes (FRANÇA, 2008). Se desenvolvem em intervalos de temperatura entre os 5°C e 35°C apresentando ótimo crescimento entre os 20°C e 31°C e num amplo intervalo de pH entre 3.5 a 10.5 (OLIVEIRA, 2013).

A biomassa fresca da lentilha d'água produzidas em ambientes com alto teor de nitrogênio e fósforo são fontes ricas em proteínas, 35 à 43% (APPENROTH et al, 2017), lipídeos, carboidratos, ômega-3 e ômega-6, sendo nutricionalmente adequado para consumo animal e humano. Em países subdesenvolvidos, que utilizam a proteína animal como fonte de alimento nas comunidades familiares para a subsistência, a biomassa fresca de *L. minor* é destinada principalmente para a nutrição de peixes, aves e gados, descartando os custos elevados com rações comerciais (LENG, 1999).

No setor de *plant-based food for human* a biomassa seca é comercializada com alto valor agregado. Uma cepa de alta proteína de lentilha d'água *W. globosa* pode oferecer todos os nove aminoácidos essenciais, fibras dietéticas, polifenóis, ferro, zinco e vitamina B₁₂ necessários para alimentação humana e animal (KAPLAN, et al, 2019).

Contudo, devido seu rápido desenvolvimento em ambientes aquáticos naturais e eutrofizados, a produção de biomassa fresca de *L. minor* pode causar florações com efeito adverso com a cobertura da superfície, impedindo a entrada de luz, acarretando prejuízos ao funcionamento do ecossistema. Apesar desse potencial de impacto, estudos mostram a sua eficiência na biorremediação para o tratamento de efluentes da aquicultura, em águas residuárias e na suinocultura (CIRQUEIRA, 2021; FABONETE et al, 2019; GARCIA, 2015; GRAEFF et al, 2007; MOHEDANO, 2004; PIRES et al, 2003; OLIVEIRA, 2013; TAVARES, 2004).

Na avaliação e classificação dos corpos d'água em diferentes graus de trofia, tem-se utilizado o Índice de Estado Trófico (IET) (CETESB, 2007), principalmente em aquicultura em tanque-redes, avaliando o enriquecimento por nutrientes provenientes da produção de peixe e o efeito adverso ao crescimento de algas ou macrófitas nos recursos hídricos. Porém, ressalta-se que o grau de trofia da água em aquicultura em tanques escavados e elevados devem ser avaliados, pois o

descarte do efluente sem tratamento adequado aceleram a eutrofização nos corpos receptores e acarretar numa externalidade ambiental.

Dessa forma, o presente trabalho implantou o processo de aquicultura integrada multitrófica em propriedades familiares na região de Mata Atlântica, no sul do estado de São Paulo. Estes sistemas foram avaliados em relação aos seguintes aspectos: 1) processo para redução da externalidade ambiental relacionados aos nutrientes dissolvidos no efluentes do sistema de produção e 2) diversificação de produção e caracterização química da biomassa vegetal para potencial desenvolvimento de bioprodutos.

5. CONCLUSÃO

O sistema de Aquicultura Integrada Multitrófica com *Lemna minor* e *Clarias gariepinus* é eficiente para aplicação em processos de biorremediação de nutrientes da água. Esta macrófita promoveu a redução média do grau de trofia supereutrófico para oligotrófico no efluente e auxiliou na melhoria do efluente gerado pelo sistema de IMTA.

Os valores de proteína bruta, minerais, ácidos graxos e carotenóides na biomassa seca produzida no sistema AIMT apresentarem resultados promissores para utilização como bioproduto para alimentos funcionais e nutracêuticos e podem ser utilizados como matéria prima para a indústria de fabricação de ração animal.

Os resultados evidenciaram o potencial de uso da *L. minor* integrada com *C. gariepinus* em um sistema AIMT para tratamento de efluentes e geração de novos bioprodutos oriundos de processos circulares de produção praticados em unidades familiares aquícolas instaladas na região de Mata Atlântica.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKTER, M. et al. Effect of duckweed (*Lemna minor*) meal in the diet of laying hen and their performance. **Bangladesh Res. Pub. J.**, v. 5, n. 3, p. 252-261, 2011.
- APPENROTH, K. et al. Nutritional value of duckweeds (Lemnaceae) as human food. **Food chemistry**, v. 217, p. 266-273, 2017.
- APPENROTH, K. et al. Nutritional value of the duckweed species of the genus *Wolffia* (Lemnaceae) as human food. **Frontiers in chemistry**, v. 6, p. 483, 2018.
- BLIGH, E.G; DYER, W.J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Can. J. Biochem. Physiol.** v. 37, p. 911-917, 1959.
- BOYD, C.E. et al. Achieving sustainable aquaculture: Historical and current perspectives and future needs and challenges. **Journal of the World Aquaculture Society**, v.51, n.3, p.578-633, 2020. <https://doi.org/10.1111/jwas.12714>.

- BUENO, G. W. et al. Stability and phosphorus leaching of tilapia feed in water. **Ciência Rural**, v.49, p.1-8, 2019. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20180429>.
- CERQUEIRA, M. A. S. Valoração da lemna (*Landoltia punctata*) no polimento de efluente do sistema de recirculação aquícola. **Dissertação de mestrado**. Universidade Estadual Paulista. Área do conhecimento: Regulação e Governança de Recursos Hídricos. 88 p, 2021.
- CETESB. COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL. Relatório De Qualidade Das Águas Interiores No Estado De São Paulo 2006/CETESB. **São Paulo: Série Relatórios-Secretaria de Estado do Meio Ambiente**, v. 1, 2 p, 2007.
- CHAKRABARTI, R. et al. Mass production of *Lemna minor* and its amino acid and fatty acid profiles. **Frontiers in chemistry**, v. 6, p. 479, 2018.
- CHOPIN, T., et al. Integrating seaweeds into marine aquaculture systems: a key toward sustainability. **Journal of Phycology**, 37: 975-986, 2001. <https://doi.org/10.1046/j.1529-8817.2001.01137.x>
- CUNHA, M. E. et al. Aquacultura multitrófica integrada em tanques de terra. **Relat. Cient. Téc. do IPMA**. v. 13, 2016.
- DEWANJI, Anjana. Amino acid composition of leaf proteins extracted from some aquatic weeds. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 41, n. 8, p. 1232-1236, 1993.
- EGGERSDORFER, M.; WYSS, A. Carotenoids in human nutrition and health. **Archives of biochemistry and biophysics**, v. 652, p. 18-26, 2018.
- ELSEADY, Y.; ZAHARAN, E. Ameliorating effect of β -carotene on antioxidant response and hematological parameters of mercuric chloride toxicity in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Fish physiology and biochemistry**, v. 39, n. 4, p. 1031-1041, 2013.
- FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Fats and fatty acids in human nutrition. Report of an expert consultation**. FAO Food and nutrition. 2010.
- FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **The state of world fisheries and aquaculture 2020:**

- Sustainability in action.** Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2020.
- FATOBENE, G. et al. POTENCIAL DA UTILIZAÇÃO DA LEMNA MINOR NO TRATAMENTO DE EFLUENTE SUÍNO E PRODUÇÃO DE BIOMASSA. **In: VIII Jornada de Produção Científica e Tecnológica (JPCT) e XI Ciclo de Palestras Tecnológicas (CIPATEC).** 2019.
- FERREIRA, D.F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium.** v. 6, p. 36-41, 2008.
- FRACALOSSO, D. M.; CYRINO, J. E. P. Nutriaqua: nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aquicultura brasileira. **Florianópolis: Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática,** v. 375, 2013.
- FRANÇA, G. M. O. Efeito de doses de excrementos de aves na produção e qualidade nutricional de *Lemna valdiviana* Phil (Araceae) para piscicultura. **Dissertação de mestrado.** Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, 2008.
- GALVANI, F.; GAERTNER, E. Adequação da metodologia Kjeldahl para determinação de nitrogênio total e proteína bruta. **Embrapa Pantanal-Circular Técnica (INFOTECA-E),** v.63, 9 p. 2006.
- GAOW, L. et al. Protein sparing capability of dietary lipid in herbivorous and omnivorous freshwater finfish: A comparative case study on *Ctenopharyngodon idella* and *Oreochromis niloticus*. **J Aqua Nut.** v. 17, p. 2-12, 2011.
- GARCIA, D. C. O. Avaliação de lagoas de lemnáceas no polimento de esgoto doméstico e produção de biomassa. **Dissertação de Mestrado.** Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais, 2015.
- GARCÍA-CASAL, M.N. et al. Reference values of iron, iodine, zinc, selenium, copper, molybdenum, vitamin C, vitamin E, vitamin K, carotenoids and polyphenols for the Venezuelan population. **Arch. Latinoam. Nutr.** 63(4):338–361, 2013.
- GRAAF, G. The artificial reproduction and pond rearing of the african catfish *Clarias gariepinus*. **Food and Agriculture Organization of the United Nations.** 1994.

- GRAEFF, A. et al. Avaliação do potencial nutritivo da Macrófita aquática *Lemna minor*, por meio da análise da composição química e por sua utilização em ração para carpa comum (*Cyprinus carpio L.*) na fase de recria. **Evidência**, v. 7, n. 1, p. 37-50, 2007.
- HERAWATI, V. et al. The effect of fermented duckweed (*Lemna minor*) in feed on growth and nutritional quality of tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Biodiversitas Journal of Biological Diversity**, v. 21, n. 7, 2020.
- HU, J. et al. Heterotrophic cultivation of microalgae for pigment production: A review. **Biotechnology advances**, v. 36, n. 1, p. 54-67, 2018.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Panorama do município de Cajati/SP. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp/cajati.html>>. Acesso em: 10/08/2021.
- IFIE, I. et al. Processing techniques on phytochemical content, proximate composition, and toxic components in duckweed. **International Journal of Vegetable Science**, v. 27, n. 3, p. 294-302, 2021.
- JEFFREY, S.W.; HUMPHREY, G.F. New espectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c1 and c2 in higher plants, algae and natural phytoplankton. **Biochem. Physiol. Pflanzen**. v.167, p. 191-194,1975.
- KAPLAN, A. et al. Protein bioavailability of *Wolffia globosa* duckweed, a novel aquatic plant—A randomized controlled trial. **Clinical Nutrition**, v. 38, n. 6, p. 2576-2582, 2019.
- KNOWLER, D. et al. The economics of Integrated Multi-Trophic Aquaculture: where are we now and where do we need to go?. **Rev Aquacult**, 12: p.1579-1594, 2020. <https://doi.org/10.1111/raq.12399>
- KUMAR, L.; BHARADVAJA, N. A review on microalgae biofuel and biorefinery: challenges and way forward. **Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects**, p. 1-24, 2020.
- LAMPARELLI, M. C. Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento. **Tese de doutorado**. Universidade de São Paulo. Departamento de Ecologia. 235 p, 2004.
- LANDOLT, E.; KANDELER, R. Biosystematic investigations in the family of duckweeds (Lemnaceae), Vol. 4: the family of Lemnaceae-a monographic

- study, Vol. 2 (phytochemistry, physiology, application, bibliography). **Veroeffentlichungen des Geobotanischen Instituts der ETH, Stiftung Ruebel (Switzerland)**, 1987.
- LEBLEBICI, Z.; AKSOY, A. Growth and lead accumulation capacity of *Lemna minor* and *Spirodela polyrhiza* (Lemnaceae): interactions with nutrient enrichment. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 214, n. 1, p. 175-184, 2011.
- LENG, R. A. **Duckweed: A tiny aquatic plant with enormous potential for agriculture and environment**. 1999.
- LENG, R. A. et al. Duckweed-a potential high-protein feed resource for domestic animals and fish. **Livestock Research for Rural Development**, v. 7, n. 1, 36 p, 1995.
- LICHTENTHALER, H. K. [34] Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods in enzymology**, v. 148, p. 350-382, 1987.
- LORENZEN, C. J; JEFFREY, S.W. Determination of chlorophyll in seawater. Report of intercalibration tests. **Unesco Technical papers in marine science**. v. 35, 21 p, 1980.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípio e aplicações. 2. ed. **Piracicaba: Potafós**. 319 p, 1997.
- MARTIN, C. A. et al. Ácidos graxos poliinsaturados ômega-3 e ômega-6: importância e ocorrência em alimentos. **Revista de Nutrição**, v. 19, p. 761-770, 2006.
- MBAGWU, I. G. et al. The nutritional composition of duckweed (*Lemna paucicostata* Hagelm ex Engelm) in the Kainji Lake area and its food value to tilapia (*Sarotherodon galilaeus* Linn). In: **Ecological Implications in the development of Water bodies in Nigeria, New Bussa**, 1987.
- MOHEDANO, R. A. Tratamento de efluente e produção de alimento, em cultivo de tilápias (*O. niloticus*), através da macrófita aquática *Lemna valvidiana* (Lemnaceae) – Uma contribuição para a sustentabilidade da aqüicultura. 2004. **Dissertação de mestrado**. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Aqüicultura, Florianópolis.

- OLIVEIRA, L. I. P. Tratamento de águas ruças por fitorremediação com *Lemna minor* ou por biossorção com cortiça. **Dissertação de mestrado**. Faculdade de ciências – Universidade do Porto. 140 p, 2013.
- PEIXE, B. R. Associação Brasileira de Piscicultura. **Anuário Peixe BR da Piscicultura**. 71 p, 2020.
- PERINI, J. A. L. et al. Ácidos graxos poli-insaturados n-3 e n-6: metabolismo em mamíferos e resposta imune. **Revista de Nutrição**, v. 23, p. 1075-1086, 2010.
- PETERI, A. et al. Manual on seed production of african catfish (*Clarias gariepinus*). **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. 1992.
- PIRES, Fábio Ribeiro et al. Fitorremediação de solos contaminados com herbicidas. **Planta daninha**, v. 21, p. 335-341, 2003.
- QUINTAES, D. K; DIEZ-GARCIA, R. W. The importance of minerals in the human diet. In: GUARDIA, M. de la; GARRIGUES S. **Handbook of Mineral Elements in Food**. John Wiley & Sons Ltd. p. 01 – 21, 2015.
- RADIĆ, S. et al. Duckweed *Lemna minor* as a tool for testing toxicity and genotoxicity of surface waters. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 74, n. 2, p. 182-187, 2011.
- SFREDO, G. J. Soja no Brasil: calagem, adubação e nutrição mineral. **Londrina: Embrapa Soja**, v. 305, p. 148, 2008.
- SKILLICORN, P. et al. A new aquatic farming system for developing countries. **The world bank group**, v. 76, p. 76, 1993.
- TANG, J. et al. Survey of duckweed diversity in Lake Chao and total fatty acid, triacylglycerol, profiles of representative strains. **Plant Biology**, v. 17, n. 5, p. 1066-1072, 2015.
- TAVARES, F.A. Eficiência da *Lemna sp.* no tratamento de efluentes líquidos de suinocultura e sua utilização como fonte alternativa de alimento para tilápias. **Dissertação de Mestrado**, Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Aquicultura. Florianópolis, 2004.
- TROELL, M. et al. Ecological engineering in aquaculture — Potential for integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in marine offshore systems, **Aquaculture**,

n.297, Issues 1–4, p.1-9, 2009.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.09.010>.

WANG, W.; PAN, Z. J; PAN, Q. B. Studying Progress in Salt-Tolerant Characters of Crops. **Acta Agriculturae Jiangxi**, v. 21, n. 2, p. 30-33, 2012.

WANG, Y.; PENG, J. Growth-associated biosynthesis of astaxanthin in heterotrophic *Chlorella zofingiensis* (Chlorophyta). **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 24, n. 9, p. 1915-1922, 2008.

ZAKARIA, H. A.; SHAMMOUT, M. W. Duckweed in irrigation water as a replacement of soybean meal in the laying hens' diet. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v. 20, p. 573-582, 2018.