

RESSALVA

Atendendo solicitação do autor ,
o texto completo desta dissertação
será disponibilizado somente a partir
de 07/02/2024.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia

Campus de Botucatu

Polímero de óleo de soja como potencial veículo termoprotetor para a Fitase em dietas para a
Tilápia-do-Nilo

EDGAR JUNIO DAMASCENO RODRIGUES

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-graduação em
Zootecnia como parte dos
requisitos para obtenção ao título
de Mestre

BOTUCATU – SP

Outubro – 2019

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia

Campus de Botucatu

Polímero de óleo de soja como potencial veículo termoprotetor para a Fitase em dietas para a
Tilápia-do-Nilo

EDGAR JUNIO DAMASCENO RODRIGUES

Zootecnista

ORIENTADOR: Prof. Dr. Luiz Edivaldo Pezzato

COORIENTADOR: Prof. Adj. Dr. Pedro de Magalhães Padilha

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-graduação em
Zootecnia como parte dos
requisitos para obtenção ao título
de Mestre

BOTUCATU – SP

Outubro – 2019

R696p

Rodrigues, Edgar Junio Damasceno

Polímero de óleo de soja como potencial veículo termoprotetor para a Fitase em dietas para a Tilápia-do-Nilo / Edgar Junio Damasceno Rodrigues. -- Botucatu, 2020

69 p. : il., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Botucatu

Orientador: Luiz Edivaldo Pezzato

Coorientador: Pedro de Magalhães Padilha

1. Oreochromis niloticus. 2. Digestibilidade. 3. Antinutricionais. 4. Minerais. 5. Polímero. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

BIOGRAFIA

Nascido em Formiga-MG em 1991, filho de Lúcia e Edgar, teve criação humilde junto a seu irmão e avós. Sua mãe, professora, sempre muito exigente quanto à educação de seus filhos, os estimulava a serem esforçados e nunca cessarem os estudos. Ingressou no curso de Zootecnia na Universidade Federal de Lavras (UFLA) em julho de 2010. Estimulado por seu padrinho, Mozar Brito, professor do Departamento de Administração na UFLA, pleiteou uma vaga no programa de Iniciação Científica (IC) para o setor de aquicultura da UFLA em seu primeiro semestre de graduação, obteve êxito sendo contemplado com outras bolsas de IC até o final de sua graduação no mesmo setor. Em 2013, foi aprovado no processo seletivo para o programa de intercâmbio acadêmico “Ciência Sem Fronteiras”, passando 18 meses em estudos intensos de Língua Inglesa e *Animal Science* na *The University of Queensland* em Brisbane QLD, Austrália. Retorna em 2015 para retomar os estudos no Brasil, e em 2018 gradua-se Zootecnista e inicia o curso de mestrado na Universidade Estadual Paulista (UNESP) – Botucatu, onde atualmente aspira realizar seu Doutorado.

Agradeço a Olorum pela oportunidade, força e saúde concedida.

Aos meus pais Lucia Brito e Edgar Rodrigues pelo amor e apoio.

Ao meu irmão Euler Rodrigues, pelo apoio incondicional e incentivo.

À minha esposa, Gabriela pelo companheirismo e amor.

Às minhas filhas, Helena e Sofia, que torcem pelo seu pai mesmo lá de cima.

Muito obrigado.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Olorum que em nenhum momento me abandonou e me concedeu saúde e força para seguir nessa caminhada.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” pela oportunidade de realizar este curso.

Aos meus pais, em especial à minha mãe, pelo amor incondicional, pelos anos de luta e trabalho árduo necessários para a minha criação, pelo apoio e compreensão.

Ao meu irmão Euler Rodrigues, que esteve ao meu lado nessa jornada, me apoiando, motivando e que sempre se fez presente para o que fosse preciso. Seremos sempre nós dois contra o mundo.

À minha esposa, Gabriela Maria dos Santos, pelos anos juntos, me apoiando, motivando e fazendo a caminhada mais leve.

Ao meu padrinho Mozar José de Brito, que me incentivou desde o ensino médio a ingressar em uma universidade, me deu todo o suporte necessário para a conclusão de minha graduação, sempre disposto a auxiliar e compartilhar os mais diversos ensinamentos e que me apresentou ao mundo acadêmico.

Aos meus familiares, que mesmo distantes se fizeram presentes através de ligações, cartas, mensagens. Em especial a minha avó Maria de Lourdes que nunca duvidou do meu potencial e sempre me confortou com seu amor.

Ao meu orientador Prof. Dr. Luiz Edivaldo Pezzato que me concedeu o privilégio de ser orientado pela maior referência em digestibilidade de alimentos para peixes do Brasil. Que me acolheu em sua equipe e pacientemente compartilhou tanto conhecimento e experiências de vida, além de fundamentalmente contribuir para a minha formação, acreditar em meu potencial e ser um exemplo em quem se espelhar.

À Prof. Dra. Margarida Maria Barros, pelos ensinamentos compartilhados, acolhimento e exemplo de dedicação e profissionalismo.

Ao Prof. Dr. Pedro de Magalhães Padilha por abrir as portas de seu laboratório e prontificar-se a auxiliar nas diferentes análises necessárias para a execução deste trabalho e também pelos ensinamentos.

A todos os professores desta instituição que contribuíram para a minha formação.

À toda equipe do laboratório AQUANUTRI, Igor Simões Tiágua Vicente, Matheus Gardim Guimarães, Pedro Luiz Pucci Figueiredo de Carvalho, William dos Santos Xavier, Jaqueline de Oliveira Fonseca e demais estagiários pelo acolhimento, companheirismo, confiança, dedicação aos trabalhos e desafios que encaramos juntos e pela amizade construída ao longo dos anos.

À minha orientadora de iniciação científica, Priscila Vieira Rosa e equipe de pesquisa, que durante a minha graduação, lapidaram e moldaram meu perfil acadêmico, acreditaram no meu potencial, forneceram apoio e compartilharam conhecimentos importantes para minha vida profissional e pessoal.

Aos meus irmãos de fé, orixás e guias, que me apresentaram e acolheram em uma religião tão linda, repleta de fé e axé, como a Umbanda.

O apoio, ensinamentos e amizade de todos foi fundamental durante meu mestrado e os levarei para a vida toda. Todos vocês foram de suma importância para a conclusão desta etapa de minha carreira, a todos minha gratidão.

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

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP (Processo: 2018/19293-1), pela bolsa concedida.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (Processo: 134366/2018-2), pela bolsa concedida.

RESUMO GERAL

A enzima fitase é utilizada em dietas de animais monogástricos objetivando minimizar o efeito antinutricional do fitato presente nos alimentos de origem vegetal. A elevação da temperatura durante o processamento das rações próprias à piscicultura diminuiu significativamente a ação dessa enzima e, portanto, este estudo objetivou avaliar o polímero do óleo de soja, obtido pelos princípios da química verde, como veículo termoprotetor para a fitase durante o processamento de dietas para tilápia-do-Nilo. Foram utilizados 192 juvenis de tilápia-do-Nilo (peso médio de 140g), dispostos em 12 aquários de alimentação (250 litros). O experimento foi delineado em esquema fatorial (3x2) que consiste em três métodos de inclusão da enzima (revestida ao pellet pós processamento -CPP, associada ao polímero -PAE e sem enzima -NE) x dois tipos de processamento da dieta (extrusão ou peletização). Foi adicionada a mesma quantidade de polímero (43,1 g/kg/ração) com o mesmo nível de fitase (1500 unidades de fitase/kg/ração) seguindo as formas de inclusão e processamento descritas no esquema fatorial. Os peixes foram alimentados quatro vezes ao dia, até a saciedade aparente, e suas excretas coletadas uma vez ao dia, intercalando a repetição de cada tratamento. Para a determinação da eficácia do produto teste, os coeficientes de digestibilidade aparente dos nutrientes das dietas foram determinados. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (two-way ANOVA), com 5% de significância, e teste Tukey para comparação das médias. Houve interação significativa para os valores de coeficientes de digestibilidade aparente (CDA) para fósforo (P), cálcio (Ca), matéria mineral (MM) e extrato etéreo (EE) ($p<0.05$). O método CPP determinou os maiores valores de CDA para P, Ca, MM, seguido pelo método PEA em dietas extrudadas ($p<0.05$). Para as dietas peletizadas, PEA promoveu os maiores valores de CDA para P e Ca, seguido pelo método CPP ($p<0.05$). Estes resultados sugerem que o polímero de óleo de soja pode ser utilizado com veículo para a fitase.

Palavras chave: *Oreochromis niloticus*, digestibilidade, antinutricionais, minerais, polímero.

ABSTRACT

Phytase is supplemented in non-ruminant diets in order to reduce the antinutritional effects of the phytate content of vegetable ingredients. Aquafeed processing can reach elevated temperatures, which could impair phytase activity. In this sense, this study aimed to evaluate a heat and acidic pH resistant soybean oil polymer, produced following the principles of “green chemistry” as a vehicle to protect phytase during fish feed processing. Juvenile Nile tilapia (140 ± 4.3 g) were randomly distributed and kept in 12 feeding aquaria (250 L). The experimental design was factorial (3×2) with three phytase supplementation methods (coating post processing - CPP, polymer associated to enzyme - PAE, and no enzyme - NE) and two feed processing methods (extrusion or pelletizing) with one enzyme level: 1500 phytase units kg^{-1} (FTU kg^{-1}) and the same amount of polymer 43.1 g kg^{-1} , accordingly to the methods described previously. Fish were fed the experimental diets four times a day until apparent satiation and feces samples were collected once a day. The efficacy of the polymer as a thermoresistant vehicle to phytase during feed processing was evaluated by assessing the apparent digestibility coefficient (ADC) of nutrients in the diets. The data obtained were subject to a two-way ANOVA at 5% of significance and Tukey’s test. There was a positive interaction for ADC values of phosphorus (P), calcium (Ca), mineral matter (MM) and crude fat (CF) ($p < 0.05$). Coating determined higher ADC values for P, Ca and MM, followed by PEA in extruded diets ($p < 0.05$). For pelletized diets, PEA determined higher ADC values for P and Ca, followed by coating ($p < 0.05$). These results suggest that the polymer may be a potential protective carrier for phytase and other thermo labile additives.

Keywords: *Oreochromis niloticus*, digestibility, sustainability, aquafeed, edible polymer

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1.	Suplementação de fitase em dietas baseadas em ingredientes vegetais para Truta Arco-Íris sobre a emissão sólida ou dissolvida de Nitrogênio (N) e Fósforo (P)	6
Figura 2.	Estrutura química do Ácido fítico	8
Figura 3.	Fitato complexado a nutrientes, complexo binário (*), complexo ternário (**).	13
Figura 4.	Mecanismo de ação da fitase em peixes	17

CAPÍTULO II

Figure S1.	TG/DTG-DTA curves for phytase (a), polymer (b), and polymer-associated phytase (c)	62
-------------------	--	-----------

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1.	Concentração de fósforo total e fítico em ingredientes vegetais	9
Tabela 2.	Disponibilidade de fósforo em ingredientes vegetais para tilápia-do-Nilo	10
Tabela 3.	Características de algumas fitases comerciais	19
Tabela 4.	Os doze princípios da “Química Verde”	30

CAPÍTULO II

Table 1.	Ingredient composition and proximate analysis of the diets.....	59
Table 2.	Apparent digestibility coefficient (ADC) values of phosphorus and calcium for Nile tilapia fed phytase-supplemented diets subjected to different processing and incorporation methods.....	60
Table 3.	Apparent digestibility coefficient (ADC) values of CP, CE, CF, DM, MM for Nile tilapia fed phytase-supplemented diets subjected to different processing and incorporation methods.....	61

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ADC	Apparent digestibility coefficient
Ca	Calcium
CP	Crude protein
CDA	Coeficiente de digestibilidade aparente
CF	Crude fat
CPP	Coating post processing
DM	Dry matter
FAPESP	The São Paulo Research Foundation
FMVZ	Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia
FTU	Unidades de fitase
GE	Gross energy
MM	Mineral matter
NRC	National Research Council
NE	No enzyme inclusion
P	Phosphorus
PAE	Polymer associated to enzyme
UNESP	Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1.....	1
Considerações iniciais.....	2
1. Revisão da Literatura.....	3
1.1. Expansão aquícola e seus impactos ambientais.....	3
1.2. Fitato na alimentação de peixes.....	7
1.3. Alternativas para inativar o fitato.....	14
1.4. Fitase.....	16
1.5. Fitase na nutrição de peixes.....	22
1.6. A digestibilidade dos alimentos.....	25
1.7. Polímeros de óleos vegetais e aplicações.....	27
Referências Bibliográficas.....	31
 CAPÍTULO 2. “A plant-based polymer as a potential thermoresistant carrier to phytase in Nile tilapia diets”	47
Abstract	48
1. Introduction	48
2. Material and Methods	50
2.1. Experimental diets and phytase incorporation.	50
2.2. Digestibility Assessment	52
2.3. Chemical Analysis	52
2.4. Statistical Analysis	53
2.5. Simultaneous Thermogravimetry-Differential Thermal Analysis (TG-DTA).....	53
2.6. Ethics statement.....	53
3. Results and Discussion	53
4. Conclusion	57
Acknowledgements.....	58
Conflict of interest statement.....	58
References	63
 CAPÍTULO III	67
Implicações	68

Considerações Iniciais

O **Capítulo I** discorre sobre alguns dos impactos no ambiente aquático promovidos pelo desenvolvimento do setor aquícola assim como estratégias que visam minimizar tais efeitos. Dentre as diferentes consequências, a eutrofização de corpos d'água tem sido amplamente discutida. Este fenômeno ocorre naturalmente ao longo dos anos; entretanto, pode ser acelerado pelo aumento na concentração de nutrientes limitantes para o ecossistema aquático, como fósforo e nitrogênio, inviabilizando o consumo de água e a produção de organismos aquáticos nas áreas afetadas. Sistemas de produção de peixes não sustentáveis podem exacerbar este problema, sendo responsáveis pelo aumento significativo dos nutrientes lançados no ambiente aquático, na forma de ração não consumida ou excretas. Apesar disso, existem soluções para reduzir os efeitos negativos promovidos pela expansão da aquicultura. Uma das estratégias que podem ser adotadas é a suplementação de fitase. Essa enzima aumenta a disponibilidade de alguns nutrientes contidos em dietas à base de ingredientes vegetais para os animais, além de reduzir a necessidade de suplementação de fósforo. Embora a fitase possa contribuir com a sustentabilidade da aquicultura, a sua incorporação em dietas para peixes ainda é um desafio. Tal enzima tem sua atividade reduzida ao ser exposta às altas temperaturas, necessárias durante o processamento de dietas para peixes. Dessa forma, o desenvolvimento de veículos para aumentar a estabilidade térmica desta enzima, como polímeros vegetais, pode ser uma importante ferramenta para viabilizar o seu uso em dietas comerciais para peixes. Considerando tais informações redigiu-se o Capítulo II, com o intuito de testar o polímero de óleo de soja como veículo termoprotetor para a enzima fitase em dietas para juvenis de tilápia-do-Nilo. Este capítulo é intitulado: *A plant-based polymer as a potential thermoresistant carrier to phytase in Nile Tilapia diets*, o qual foi escrito seguindo as normas do periódico **Food Chemistry** (fator de impacto 5.399).

Tabela 4. (continua)**6. Busca pela Eficiência de Energia**

A utilização de energia pelos processos químicos precisa ser reconhecida pelos seus impactos ambientais e econômicos e deve ser minimizada. Se possível, os processos químicos devem ser conduzidos à temperatura e pressão ambientes.

7. Uso de Fontes Renováveis de Matéria-Prima

Sempre que técnica- e economicamente viável, a utilização de matérias-primas renováveis deve ser escolhida em detrimento de fontes não renováveis.

8. Evitar a Formação de Derivados

A derivatização desnecessária (uso de grupos bloqueadores, proteção/desproteção, modificação temporária por processos físicos e químicos) deve ser minimizada ou, se possível, evitada, porque estas etapas requerem reagentes adicionais e podem gerar resíduos.

9. Catálise

Reagentes catalíticos (tão seletivos quanto possível) são melhores que reagentes estequiométricos.

10. Desenho para a Degradação

Os produtos químicos precisam ser desenhados de tal modo que, ao final de sua função, se fragmentem em produtos de degradação inócuos e não persistam no ambiente.

11. Análise em Tempo Real para a Prevenção da Poluição

Será necessário o desenvolvimento futuro de metodologias analíticas que viabilizem um monitoramento e controle dentro do processo, em tempo real, antes da formação de substâncias nocivas.

12. Química Intrinsecamente Segura para a Prevenção de Acidentes

As substâncias, bem como a maneira pela qual uma substância é utilizada em um processo químico, devem ser escolhidas a fim de minimizar o potencial para acidentes químicos, incluindo vazamentos, explosões e incêndios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIMORAD, E.G.; CARNEIRO, D.J. Métodos de Coleta de Fezes e Determinação dos Coeficientes de Digestibilidade da Fração Protéica e da Energia de Alimentos para o Pacu, *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887). Revista Brasileira de Zootecnia, 2004, v.33, n.5, p.1101-1109, 2004.

ALARCON, R.T., VINÍCIUS DE ALMEIDA, M.; RINALDO, D.; BANNACH, G. Synthesis and thermal study of polymers from soybean, sunflower, and grape seed maleinated oil. *European Journal of Lipid Science and Technology*, v. 119, n. 10, p. 1–6, 2017.

ANASTAS, P. T; WARNER, J. C. *Green Chemistry: Theory and Practice*. Oxford: Oxford University Press, 1998.

AOAC - Official Methods of Analysis. Official Methods of Analysis of Official Analytical Chemists, 17th ed, 2000.

AUGSPURGER, N.R.; WEBEL, D.M.; LEI, X.G.; BAKER, D.H. Efficacy of an *E. coli* phytase expressed in yeast for releasing phytate-bound phosphorus in young chicks and pigs. *Journal of Animal Science*, v. 81, n. 2, p. 474–483, 2003.

AUTIN, M. Commercial aquafeed manufacture and production. *Cahiers Options Mediterraneennes*, v. 22, p. 79–104, 1997.

BELAL, I. E. A review of some fish nutrition methodologies. *Bioresource technology*, v. 96, n. 4, p. 395–402, 2005.

BOCK, C.L; PEZZATO, L.E.; CANTELMO, O.Â.; BARROS, M.M. Fitase e digestibilidade aparente de nutrientes de rações por tilápias-do-nilo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 35, n. 6, p. 2197–2202, 2006.

BOCK, C.L; PEZZATO, L.E.; CANTELMO, O.Â.; BARROS, M.M. Phytase in diets for Nile tilapia in the growth period. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 36, n. 5 suppl, p. 1455–1461, 2007.

BOHN, L.; MEYER, A.S.; RASMUSSEN, S.K. Phytate: Impact on environment and human nutrition. A challenge for molecular breeding. *Journal of Zhejiang University: Science B*, v. 9, n. 3, p. 165–191, 2008.

BORBA, M. R.; SÁ, M. V. C.; ABREU, J. S. Vitaminas e minerais. In: CYRINO, J. E. P.; FRACALOSS, D. M. *Nutriaqua: nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aquicultura brasileira*. 1. ed. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, 2016. p. 121–166.

BOUWMAN, A.F.; BEUSEN, A.H.W.; OVERBEEK, C.C.; BUREAU; D.P.; PAWLOWSKI, M.; GLIBERT, P.M. Hindcasts and future projections of global inland and coastal nitrogen and phosphorus loads due to finfish aquaculture. *Reviews in Fisheries Science*, v. 21, n. 2, p. 112–156, 2013.

BUENO, G.W.; FEIDEN, A.; NEU, D.H.; LUI, T.A.; WÄCHTER, N.; BOSCOLO, W.R. Digestibilidade do fósforo em dietas como estratégia nutricional para redução de efluentes da tilapicultura. *Arq. bras. med. vet. zootec*, p. 183–191, 2012.

BUREAU, D.P.; HUA, K. Towards effective nutritional management of waste outputs in

aquaculture, with particular reference to salmonid aquaculture operations. *Aquaculture Research*, v. 41, n. 5, p. 777–792, 2010.

CAO, L.; YANG, Y.; WANG, W.M.; YAKUPITIYAGE, A.; YUAN, D.R.; DIANA, J.S. Effects of pretreatment with microbial phytase on phosphorous utilization and growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture Nutrition*, v. 14, n. 2, p. 99–109, 2008.

CAO, L.; WANG, W.; YANG, C.; YANG, Y.; DIANA, J.; YAKUPITIYAGE, A.; LUO, Z.; LI, D. Application of microbial phytase in fish feed. *Enzyme and Microbial Technology*, v. 40, n. 4, p. 497–507, 2007.

CARTER, C.G.; SAJJADI, M. Low fishmeal diets for Atlantic salmon, *Salmo salar* L., using soy protein concentrate treated with graded levels of phytase. *Aquaculture International*, v. 19, n. 3, p. 431–444, 2011.

CASTILLO, S.; GATLIN, D.M. Dietary supplementation of exogenous carbohydrase enzymes in fish nutrition: A review. *Aquaculture*, v. 435, p. 286–292, 2015.

CHISLOCK, M. F.; DOSTER, E.; ZITOMER, R. A.; WILSON, A. E. Eutrophication: Causes, Consequences, and Controls in Aquatic Ecosystems. *Nature Education Knowledge*, v. 4, p. 10, 2013.

CHO, C. Y. La energía en la nutrición de los peces. *Nutrición en acuicultura*, v. 2, p. 197–243, 1987.

CHO, C.Y.; COWEY, C.B.; WATANABE, T. *Finfish nutrition in Asia: methodological approaches to research and development*. IDRC, Ottawa, ON, CA: IDRC, 1985.

CHOUBERT, G. Nutrient digestibility in fish: Methodological aspects. *Cybium*, v. 1, p. 112–125, 1999.

CHO, S.Y.; SLINGER, S.J. Apparent digestibility measurements in feedstuffs for rainbow trout. *Finfish Nutrition and Fishfeed Technology*. Halver, J.E. and Tiews, K. (Eds.). Heenemann, Berlin, p. 234–247, 1979.

DE ALMEIDA, M.V.; ALARCON, R.T.; BANNACH, G. Synthesis and thermal studies of new soybean and grape seed oil-based polymers: Clean and efficient pathway using green

Chemistry principles. *Brazilian Journal of Thermal Analysis*, v. 5, n. 1, p. 16–20, 2016.

DEBNATH, D.; SAHU, N.P.; PAL, A.K.; JAIN, K.K.; YENGKOKPAM, S.; MUKHERJEE, S.C. Mineral status of *Pangasius pangasius* (Hamilton) fingerlings in relation to supplemental phytase: absorption, whole-body and bone mineral content. *Aquaculture Research*, v. 36, n. 4, p. 326–335, 2005.

DERSJANT-LI, Y.; AWATI, A.; SCHULZE, H.; PARTRIDGE, G. Phytase in non-ruminant animal nutrition: A critical review on phytase activities in the gastrointestinal tract and influencing factors. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 95, n. 5, p. 878–896, 2015.

DIAZ, Robert J.; ROSENBERG, Rutger. Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. *Science*, v. 321, n. 5891, p. 926–929, 2008.

DIEMER, O.; BOSCOLO, W.R.; SIGNOR, A.A. SARY, C.; NEU, D. H.; FEIDEN, A. Níveis de fósforo total na alimentação de juvenis de jundiá criados em tanquesrede. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.41, n.4, p.559-563, 2011.

DREJER, E.; HAKVÅG, S.; IRLA, M.; BRAUTASET, T. Genetic Tools and Techniques for Recombinant Expression in Thermophilic Bacillaceae. *Microorganisms*, v. 6, n. 2, p. 42, 2018.

DUMAS, A.; LALIBERTE, G.; LESSARD, P.; DE LA NOÛE, J. Biotreatment of fish farm effluents using the cyanobacterium *Phormidium bohneri*. *Aquacultural Engineering*, v. 17, n. 1, p. 57–68, 1998.

EDWARDS, P. Aquaculture environment interactions: Past, present and likely future trends. *Aquaculture*, v. 447, p. 2–14, 2015.

ELKHALIL, E.A.I.; MÄNNER, K.; BORRISS, R.; SIMON, O. *In vitro* and *in vivo* characteristics of bacterial phytases and their efficacy in broiler chickens. *British Poultry Science*, v. 48, n. 1, p. 64–70, 2007.

ELLESTAD, L.E.; DAHL, G.; ANGEL, R.; SOARES JR, J.H. The effect of exogenously administered recombinant bovine somatotropin on intestinal phytase activity and *in vivo* phytate hydrolysis in hybrid striped bass *Morone chrysops* x *M. saxatilis*. *Aquaculture Nutrition*, v. 9, n. 5, p. 327–336, 2003.

ENGELLEN, A.J.; RANDSDORP, P.H.; SMIT, E.L. Simple and rapid determination of phytase activity. *Journal of AOAC International*, v. 77, n. 3, p. 760–764, 1994.

FAO. *Fishery commodities classification | Coordinating Working Party on Fishery Statistics (CWP) | Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Disponível em: <<http://www.fao.org/cwp-on-fishery-statistics/handbook/aquaculture-statistics/en/>>. Acesso em: 13 dez. 2019.

FAO. *WORLD FISHERIES AND AQUACULTURE*. Rome, 2018. Disponível em: <www.fao.org/publications>. Acesso em: 5 dez. 2019.

FITZSIMMONS, K. Prospect and potential for global production. *Tilapia: Biology, Culture and Nutrition*. New York, USA: Food Products Press, 2006. p. 51–72.

GATLIN III, D.M.; BARROWS, F.T.; BROWN, P.; DABROWSKI, K.; GAYLORD, T.G.; HARDY, R.W.; HERMAN, E.; HU, G.; KROGDAHL, Å.; NELSON, R.; OVERTURE, K. Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: A review. *Aquaculture Research*, v. 38, n. 6, p. 551–579, 2007.

GILBERT, C.; COONEY, G. Thermostability of feed enzymes and their practical application in the feed mill. In: BEDFORD, M. R.; PARTRIDGE, G. G. (Org.). *ENZYMES IN FARM ANIMAL NUTRITION*. 2nd. ed. CABI, Oxfordshire, UK, 2010. p. 249–259.

GODA, A.M.A.S. Effect of Dietary Soybean Meal and Phytase Levels on Growth, Feed Utilization and Phosphorus Discharge for Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L.). *Journal of Fisheries and Aquatic Science*, v. 2, n. 4, p. 248–263, 2007.

GONÇALVES, G.S.; PEZZATO, L.E.; PADILHA, P.D.M.; BARROS, M.M. Apparent phosphorus availability in vegetable feedstuffs and supplementation of phytase enzyme for Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 36, n. 5, 2007.

GONÇALVES, G.S.; PEZZATO, L.E.; BARROS, M.M.; KLEEMAN, G.K.; ROCHA, D.F. Efeitos da suplementação de fitase sobre a disponibilidade aparente de Mg, Ca, Zn, Cu, Mn e Fe em alimentos vegetais para a tilápia-do-Nilo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 34, n. 6, p. 2155–2163, 2005.

GREINER, R; KONIETZNY, U. Phytases: biochemistry, enzymology and characteristics

relevant to animal feed use. *Enzymes in farm animal nutrition*, 2010. p. 96–128.

GREINER, R.; FAROUK, A.; ALMINGER, M.L.; CARLSSON, N.G. The pathway of dephosphorylation of *myo* -inositol hexakisphosphate by phytate-degrading enzymes of different *Bacillus* spp. *Canadian Journal of Microbiology*, v. 48, n. 11, p. 986–994, 2002.

GREINER, R; CARLSSON, N.G.; ALMINGER, M.L. Stereospecificity of *myo*-inositol hexakisphosphate dephosphorylation by a phytate-degrading enzyme of *Escherichia coli*. *Journal of Biotechnology*, v. 84, n. 1, p. 53–62, 17, 2000.

GREINER, R.; KONIETZNY, U. Improving enzymatic reduction of *myo*-inositol phosphates with inhibitory effects on mineral absorption in black beans (*Phaseolus vulgaris* var. preto). *Journal of Food Processing and Preservation*, v. 23, n. 3, p. 249–261, 1999.

GRYNSPAN, F.; CHERYAN, M. Calcium phytate: Effect of pH and molar ratio on in vitro solubility. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, v. 60, n. 10, p. 1761–1764, 1983.

HAJEN, W.E.; BEAMES, R.M.; HIGGS, D.A.; DOSANJH, B.S. Digestibility of various feedstuffs by post-juvenile chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) in sea water. 1. Validation of technique. *Aquaculture*, v. 112, n. 4, p.321-332, 1993.

HAJRA, A.; MAZUMDER, A.; VERMA, A.; GANGULY, D.P.; MOHANTY, B.P.; SHARMA, A.P. Antinutritional Factors in Plant Origin Fish Feed Ingredients: The Problems and Probable Remedies. *Advances in Fish Research*, p. 193–202, 2013.

HANLEY, F. The digestibility of foodstuffs and the effects of feeding selectivity on digestibility determinations in tilapia, *Oreochromis niloticus* (L). *Aquaculture*, v. 66, n. 2, p. 163–179, 1, 1987.

HAYAKAWA, T.; SUZUKI, K.; MIURA, H.; OHNO, T.; IGAUE, I. *Myo*-inositol polyphosphate intermediates in the dephosphorylation of phytic acid by acid phosphatase with phytase activity from rice bran. *Agricultural and Biological Chemistry*, v. 54, n. 2, p. 249–286, 1990.

HUSSENOT, J.; LEFEBVRE, S.; BROSSARD, N. Open-air treatment of wastewater from land-based marine fish farms in extensive and intensive systems: Current technology and future perspectives. ESME - Gauthier-Villars, 1998. p. 297–304.

IBGE. *Produtos de origem animal, por tipo de produto*. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3940#resultado>>. Acesso em: 5 dez. 2019.

ICKOWICZ, D.E.; ABTEW, E.; KHAN, W.; GOLOVANEVSKI, L.; STEINMAN, N.; WEINIGER, C.F.; DOMB, A.J. Poly (ester-anhydride) for controlled delivery of hydrophilic drugs. *Journal of Bioactive and Compatible Polymers*, v. 31, n. 2, p. 127–139, 2016.

IGBASAN, F.A.; MÄNNER, K.; MIKSCH, G.; BORRISS, R.; FAROUK, A.; SIMON, O. Comparative studies on the in vitro properties of phytases from various microbial origins. *Archives of Animal Nutrition*, v. 53, n. 4, p. 353–373, 2000.

ISAKOVA, E.P.; SERDYUK, E.G.; GESSLER, N.N.; TRUBNIKOVA, E.V.; BIRYUKOVA, Y.K.; EPOVA, E.Y.; DERYABINA, Y.I.; NIKOLAEV, A.V. A New Recombinant Strain of *Yarrowia lipolytica* Producing Encapsulated Phytase from *Obesumbacterium proteus*. *Doklady Biochemistry and Biophysics*, v. 481, n. 1, p. 201–204, 2018.

JOBLING, M. Fish nutrition research: past, present and future. *Aquaculture International*, v. 24, n. 3, p. 767–786, 2016.

JONGE, L.H. De; TESTERINK, J.; JONGBLOED, A.W. *Interactions between protein, phytate and microbial phytase (Natuphos) : Phase 1: an in vitro approach*, 1997.

KAWASAKI, Nobuyuki *et al.* Release of Nitrogen and Phosphorus from Aquaculture Farms to Selangor River, Malaysia. *International Journal of Environmental Science and Development*, v. 7, n. 2, p. 113–116, 2016.

KIES, A.K.; DE JONGE, L.H.; KEMME, P.A.; JONGBLOED, A.W. Interaction between Protein, Phytate, and Microbial Phytase. In Vitro Studies. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 54, n. 5, p. 1753–1758, 2006.

KRASKO, M.Y.; GOLENSER, J.; NYSKA, A.; NYSKA, M.; BRIN, Y.S.; DOMB, A.J. Gentamicin extended release from an injectable polymeric implant. *Journal of Controlled Release*, v. 117, n. 1, p. 90–96, 2007.

KRASKO, M.Y.; KUMAR, N.; DOMB, A.J. Protein and Peptide Release from in Situ Gelling Polymer Introduction Over the past decade, developments in the field of biotechnology have led to the cloning, characterization, and commercial availability of many clinically useful

proteins and pepti. v. 930, p. 2461–2463, 2006.

KUMAR, V.; SINHA, A.K.; MAKKAR, H.P.; DE BOECK, G.; BECKER, K. Phytate and phytase in fish nutrition. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, v. 96, n. 3, p. 335–364, 2012.

KUMAR, V.; SINHA, A. K. General Aspects of Phytases. *Enzymes in Human and Animal Nutrition: Principles and Perspectives*, 2018. p. 53–67.

KUMAR, V.; SINHA, A.K.; KAJBAF, K. Phytic Acid and Phytase Enzyme. *Whole Grains and their Bioactives*. Wiley, 2019. p. 467–483.

KUMAR, V.; SINHA, A.K.; MAKKAR, H.P.; BECKER, K. Dietary roles of phytate and phytase in human nutrition: A review. *Food Chemistry*, v. 120, n. 4, p.945-959, 2010.

KUMAR, V.; MAKKAR, H.P.; DEVAPPA, R.K; BECKER, K. Isolation of phytate from *Jatropha curcas* kernel meal and effects of isolated phytate on growth, digestive physiology and metabolic changes in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). *Food and Chemical Toxicology*, v. 49, n. 9, p. 2144–2156, 2011.

LANCASTER, M. Principles and Concepts of Green Chemistry. *GREEN CHEMISTRY: An Introductory Text*. Royal Society of Chemistry, 2002. p. 1–20.

LANCASTER, M. Principles and concepts of Green Chemistry. *Green Chemistry 3rd Edition: An Introductory Text*. Royal Society of Chemistry, 2016. p. 1–23.

LANDAU-ELLIS, D; PANTALONE, V. R. Marker-assisted backcrossing to incorporate two low phytate alleles into the Tennessee soybean cultivar 5601T. Induced plant mutations in the genomics era. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2009, p. 316–318.

LARSSON, M.; SANDBERG, A.S. Phytate Reduction in Oats during Malting. *Journal of Food Science*, v. 57, n. 4, p. 994–997, 1992.

LEE, G.W.; PARK, M.; KIM, J.; LEE, J.I.; YOON, H.G. Enhanced thermal conductivity of polymer composites filled with hybrid filler. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, v. 37, n. 5, p. 727–734, 2006.

LEESON, S. Recent advances in fat utilization by poultry. Recent advances in animal nutrition in Australia, p. 170–181, 1993.

LEMOS, D.; TACON, A.G.J. Use of phytases in fish and shrimp feeds: a review. *Reviews in Aquaculture*, v. 9, n. 3, p. 266–282, 2017.

LENARDÃO, E.J.; DABDOUB, M.J.; BATISTA, C.F. “Green Chemistry” – os 12 princípios da Química Verde e sua inserção nas atividades de ensino e pesquisa. v. 26, n. 1, p. 123–129, 2003.

LIENER, I.E. Implications Of Antinutritional Components In Soybean Foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 34, n. 1, p. 31–67, 1994.

LIU, L.W.; SU, J.; LUO, Y. Effect of partial replacement of dietary monocalcium phosphate with neutral phytase on growth performance and phosphorus digestibility in gibel carp, *Carassius auratus gibelio* (Bloch). *Aquaculture Research*, v. 43, n. 9, p. 1404–1413, 2012.

LLIGADAS, G.; RONDA, J.C.; GALIA, M.; CADIZ, V. Renewable polymeric materials from vegetable oils: A perspective. *Materials Today*, v. 16, n. 9, p. 337–343, 2013.

LOEWUS, F.A. Biosynthesis of phytate in food grains and seeds. *Food Phytates*, p. 53–61, 2001.

MALÝ, O.; MAREŠ, J.; ZUGÁRKOVÁ, I.; MAREŠ, L. The Effect of Using Low-Phytate Cereal Varieties on Phosphorus Digestibility and Selected Production Indices. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 65(5), pp.1567-1577, 2017.

MARERO, L.M.; PAYUMO, E.M.; AGUINALDO, A.R.; MATSUMOTO, I.; HOMMA, S. Antinutritional factors in weaning foods prepared from germinated cereals and legumes. *Lebensmittel - Wissenschaft + Technologie = Food science + technology*, 1991.

MENEZES-BLACKBURN, D.; JORQUERA, M.; GIANFREDA, L.; RAO, M.; GREINER, R.; GARRIDO, E.; DE LA LUZ MORA, M. Activity stabilization of *Aspergillus niger* and *Escherichia coli* phytases immobilized on allophanic synthetic compounds and montmorillonite nanoclays. *Bioresource Technology*, v. 102, n. 20, p. 9360–9367, 2011.

MITTAL, A.; GUPTA, V.; SINGH, G.; YADAV, A.; AGGARWAL, N.K. Phytase: A Boom in Food Industry. *Octa Journal of Biosciences Octa Journal of Biosciences Octa. J. Biosci*, v.

1, n. 2, p. 158–169, 2013.

MORALES, G.A.; DENSTADLI, V.; COLLINS, S.A.; MYDLAND, L.T.; MOYANO, F.J.; ØVERLAND, M. Phytase and sodium diformate supplementation in a plant-based diet improves protein and mineral utilization in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture Nutrition*, v. 22, n. 6, p. 1301–1311, 2016.

MORALES, G. A.; MARQUEZ, L.; HERNÁNDEZ, A.J.; MOYANO, F.J. Phytase effects on protein and phosphorus bioavailability in fish diets. *Phytate Destruction - Consequences for Precision Animal Nutrition*. Wageningen Academic Publishers, 2016. p. 129–165.

MORALES, G.A.; MOYANO, F.J.; MARQUEZ, L. In vitro assessment of the effects of phytate and phytase on nitrogen and phosphorus bioaccessibility within fish digestive tract. *Animal Feed Science and Technology*, v. 170, n. 3–4, p. 209–221, 2011.

MORALES, A. E.; CARDENETE, G.; SANZ, A.; DE LA HIGUERA, M. Re-evaluation of crude fibre and acid-insoluble ash as inert markers, alternative to chromic oxide, in digestibility studies with rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, v. 179, n. 1-4, p. 71-79, 1999.

MORIARTY, D. J.W. The physiology of digestion of blue-green algae in the cichlid fish, *Tilapia nilotica*. *Journal of Zoology*, v. 171, n. 1, p. 25–39, 6, 1973.

MRUDULA, U.V.; JAISWAL, A.K.; KRISHNA, S.; PANDEY, A. Thermostable phytase in feed and fuel industries. *Bioresource Technology*, v. 278, n.1, p. 400–407, 2019.

MULLANEY, E. J.; ULLAH, A.H.J. Phytases: attributes, catalytic mechanisms and applications. *Inositol Phosphates: Linking Agriculture and the Environment*, 2007. p. 97–110.

MULLANEY, E.J.; DALY, C.B.; ULLAH, A.H.J. *Advances in phytase research. Advances in Applied Microbiology*. Academic Press Inc, 2000.

NAYLOR, S.; BRISSON, J.; LABELLE, M.A.; DRIZO, A.; COMEAU, Y. Treatment of freshwater fish farm effluent using constructed wetlands: The role of plants and substrate. *Water Science and Technology*, v. 48, n. 5, p. 215–222, 2003.

NRC. *Nutrient Requirements of Fish and Shrimp*. National Academies Press, 2011.

NWANNA, L.C.; KOLAHSA, M.; EISENREICH, R.; SCHWARZ, F.J. Pre-treatment of

dietary plant feedstuffs with phytase and its effect on growth and mineral concentration in common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, v. 92, n. 6, p. 677–682, 2008.

NWANNA, L. C.; BELLO, O. S. Effect of Supplemental Phytase on Phosphorus Digestibility and Mineral Composition in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *International Journal of Aquaculture*, v. 4, n. 15, p. 89–95, 2014.

OATWAY, L.; VASANTHAN, T.; HELM, J.H. Phytic acid. *Food Reviews International*, v. 17, n. 4, p. 419–431, 2001.

OGUNJI, J.; PAGEL, T.; SCHULZ, C.; KLOAS, W. Apparent digestibility coefficient of housefly maggot meal (magma) for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) and carp (*Cyprinus carpio*). *Asian Fisheries Science*, v. 22, n. 4, p. 1095–1105, 2009.

OH, B.C.; CHOI, W.C.; PARK, S.; KIM, Y.O.; OH, T.K. Biochemical properties and substrate specificities of alkaline and histidine acid phytases. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2004

OLADOSU, Y.; RAFII, M.Y.; ABDULLAH, N.; HUSSIN, G.; RAMLI, A.; RAHIM, H.A.; MIAH, G.; USMAN, M. Principle and application of plant mutagenesis in crop improvement: a review. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, v. 30, n. 1, p. 1–16, 2016.

ONYANGO, E.M.; BEDFORD, M.R.; ADEOLA, O. Efficacy of an evolved *Escherichia coli* phytase in diets of broiler chicks. *Poultry Science*, v. 84, n. 2, p. 248–255, 2005.

OSTI, J.A.S.; MORAES, M.A.B.; CARMO, C.F.; MERCANTE, C.T.J. Fluxo de nitrogênio e fósforo na produção de tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) a partir da aplicação de indicadores ambientais. *Brazilian Journal of Biology*, v. 78, n. 1, p. 25–31, 2018.

PAERL, H.W. Coastal eutrophication and harmful algal blooms: Importance of atmospheric deposition and groundwater as “new” nitrogen and other nutrient sources. *Limnology and Oceanography*, v. 42, n. 5, p. 1154–1165, 1997.

PAYNE, A. I. Gut pH and digestive strategies in estuarine grey mullet (*Mugilidae*) and tilapia (*Cichlidae*). *Journal of Fish Biology*, v. 13, n. 5, p. 627–629, 1978.

PEZZATO, L.E.; MIRANDA, E.C.; PINTO, L.G.Q.; FURUYA, W.M.; BARROS, M.M.;

ROSA, G.J.M.; LANNA, E.A.T. Avaliação de dois métodos de determinação do coeficiente de digestibilidade aparente com a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus* L.). *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, v. 24, p. 965, 2002.

PEZZATO, L.E.; MIRANDA, E.C.; BARROS, M.M.; PINTO, L.G.Q.; FURUYA, W.M.; PEZZATO, A.C. Digestibilidade aparente de ingredientes pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 31, n. 4, p. 1595–1604, 2002.

PHROMKUNTHONG, W.; GABAUDAN, J. Used of microbial phytase to replace inorganic phosphorus in sex-reversed red tilapia: 1 dose response. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, v. 28, n. 4, p. 731–743, 2006.

PONTES, T.C.; FRANÇA, W.G.; DUTRA, F.M.; PORTZ, L.; BALLESTER, E.L.C. Evaluation of the Phytase Enzyme in granulated and liquid forms for Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Archivos de Zootecnia*, v. 68, n. 261, p. 158–163, 2019.

PONTES, T.C. Nova geração de fitase líquida em dietas para tilápias do nilo. 2019.

PONTOPPIDAN, K.; PETTERSSON, D.; SANDBERG, A-S. Peniophora lycii phytase is stabile and degrades phytate and solubilises minerals in vitro during simulation of gastrointestinal digestion in the pig. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 87, n. 14, p. 2700–2708, 2007.

QUIRRENBACH, H.R.; KANUMFRE, F.; ROSSO, N.D.; CARVALHO FILHO, M.A. Comportamento do ácido fítico na presença de Fe (II) e Fe (III) Behaviour of phytic acid in the presence of iron (II) and iron (III). *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 29, n. 1, p. 24–32, 2009.

RASMUSSEN, D. K. Difference in heat stability of phytase and xylanase products in pig feed. Variation, 2010.

RATHNAYAKE, U.A.; SENAPATHI, T.; SANDARUWAN, C.; GUNAWARDENE, S.; KARUNARATNE, V.; KOTTEGODA, N. Rice bran nanofiber composites for stabilization of phytase. *Chemistry Central Journal*, v. 12, n. 1, p. 28, 2018.

RAVINDRAN, V. Effect of natuphos phytase on the bioavailability of protein and amino acids—A review. *Keeping Current*, v. 6, 2000.

REDDY, N.R.; PIERSON, M.D.; SATHE, S.K.; SALUNKHE, D.K. Phytates in Cereals and Legumes. CRC Press, 1989.

REDDY, N. R; SATHE, S. K. Indoduction. *Food phytates*. CRC Press, 2001. p. 1–4.

RICHE, M.; GARLING, D. L. Effect of phytic acid on growth and nitrogen retention in tilapia *Oreochromis niloticus* L. *Aquaculture Nutrition*, v. 10, n. 6, p. 389–400, 2004.

RICHE, M.; TROTTIER, N.L.; KU, P.K.; GARLING, D.L. Apparent digestibility of crude protein and apparent availability of individual amino acids in tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed phytase pretreated soybean meal diets. *Fish Physiology and Biochemistry*, v. 25, n. 3, p. 181, 2001.

RODRIGUEZ, E; PORRES, J.M.; HAN, Y.; LEI, X.G. Different sensitivity of recombinant *Aspergillus niger* phytase (r-PhyA) and *Escherichia coli* pH 2.5 acid phosphatase (r-AppA) to trypsin and pepsin in vitro. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, v. 365, n. 2, p. 262–267, 1999.

RODRIGUEZ, E.; HAN, Y.; LEI, X.G. Cloning, sequencing, and expression of an *Escherichia coli* acid phosphatase/phytase gene (appA2) isolated from pig colon. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, v. 257, n. 1, p. 117–123, 1999.

ROMANO, N.; KUMAR, V. Phytase in animal feed. *Enzymes in Human and Animal Nutrition: Principles and Perspectives*. Elsevier Inc, 2018. p. 73–88.

RORIZ, G.D.; DELPHINO, M.K.D.V.C.; GARDNER, I.A.; GONÇALVES, V.S.P. Characterization of tilapia farming in net cages at a tropical reservoir in Brazil. *Aquaculture Reports*, v. 6, p. 43–48, 2017.

ROY, T.; BANERJEE, G.; DAN, S.K.; GHOSH, P.; RAY, A.K. Improvement of nutritive value of sesame oilseed meal in formulated diets for rohu, *Labeo rohita* (Hamilton), fingerlings after fermentation with two phytase-producing bacterial strains isolated from fish gut. *Aquaculture International*, v. 22, n. 2, p. 633–652, 2014.

SAMPAIO, F.G.; LOSEKANN, M.E.; LUIZ, A.J.B.; NEVES, M.C.; FRASCÁ-SCORVO, C.M.D.; RODRIGUES, G.S. Monitoramento e gestão ambiental da piscicultura em tanques-rede em reservatórios. *Informe Agropecuário*, v. 34, p. 1–11, 2013.

SCHULZ, C.; GELBRECHT, J.; RENNERT, B. Treatment of rainbow trout farm effluents in constructed wetland with emergent plants and subsurface horizontal water flow. *Aquaculture*, v. 217, n. 1–4, p. 207–221, 2003.

SELLE, P. H.; RAVINDRAN, V. Microbial phytase in poultry nutrition. *Animal Feed Science and Technology*, v. 135, n. 1-2, p. 1-41, 2007.

SHANKAR, S.; SONI, S. K.; DAIMA, H. K.; SELVAKANNAN, P. R.; KHIRE, J. M.; BHARGAVA, S. K.; BANSAL, V. Charge-switchable gold nanoparticles for enhanced enzymatic thermostability. *Physical Chemistry Chemical Physics*, v. 17, n. 33, p. 21517–21524, 2015.

SHARMA, V.; KUNDU, P. P. Addition polymers from natural oils-A review. *Progress in Polymer Science (Oxford)*, v. 31, n. 11, p. 983–1008, 2006.

SHELDON, R. A. Green chemistry and resource efficiency: Towards a green economy. *Green Chemistry*, v.18, n. 11, p. 3180-3, 2016

SHIKANOV, A.; DOMB, A. J.; WEINIGER, C. F. Long acting local anesthetic-polymer formulation to prolong the effect of analgesia. *Journal of Controlled Release*, v. 117, n. 1, p. 97–103, 2007.

SHIT, S. C.; SHAH, P. M. Edible Polymers: Challenges and Opportunities. *Journal of Polymers*, v. 2014, p. 1–13, 2014.

SIENER, R.; HEYNCK, H.; HESSE, A. Calcium-Binding Capacities of Different Brans under Simulated Gastrointestinal pH Conditions. In Vitro Study with ⁴⁵Ca. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 49, n. 9, p. 4397–4401, 2001.

SMITH, M.H.; BLESSING, R.; CHELTON, J.G.; GENTRY, J.B.; GOLLEY, F.B.; MCGINNIS, J.T. Determining density for small mammal populations using a grid and assessment lines. *Acta theriol*, v.16, p.105-125, 1971.

SUNDARAMOORTHY, J.; SEO, Y.J.; PARK, G.T.; LEE, J.D.; PARK, S.K.; SEO, H.S.; SONG, J.T. Isolation of soybean mutants with high and low inorganic phosphorus. *Journal of Applied Biological Chemistry*, v. 59, n. 3, p. 261–264, 2016.

GONZÁLEZ, T. F. U.; HERRERA-SILVEIRA, J. A.; AGUIRRE-MACEDO, M. L. Water

quality variability and eutrophic trends in karstic tropical coastal lagoons of the Yucatán Peninsula. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 76, n. 2, p. 418–430, 2008.

USHASREE, M.V.; SHYAM, K.; VIDYA, J.; PANDEY, A. Microbial phytase: Impact of advances in genetic engineering in revolutionizing its properties and applications. *Bioresource Technology*, v. 245, p. 1790–1799, 2017.

VANDENBERG, G.W.; SCOTT, S.L.; SARKER, P.K.; DALLAIRE, V.; DE LA NOÛE, J. Encapsulation of microbial phytase: Effects on phosphorus bioavailability in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Animal Feed Science and Technology*, v. 169, n. 3–4, p. 230–243, 2011.

VERDEGEM, M.C.J. Nutrient discharge from aquaculture operations in function of system design and production environment. *Reviews in Aquaculture*, v. 5, n. 3, p. 158–171, 2013.

VERLHAC-TRICHET, V.; VIELMA, J.; DIAS, J.; REMA, P.; SANTIGOSA, E.; WAHLI, T.; VOGEL, K. The Efficacy of a Novel Microbial 6-Phytase Expressed in *Aspergillus oryzae* on the Performance and Phosphorus Utilization of Cold- and Warm-Water Fish: Rainbow Trout, *Oncorhynchus mykiss*, and Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Journal of the World Aquaculture Society*, v. 45, n. 4, p. 367–379, 2014.

VERLHAC, V.; VIELMA, J.; GABAUDAN, J. The use of phytase in aquatic feeds. *Aquafeed Horizons*, Victam, 2007.

VIJAYARAGHAVAN, P.; PRIMIYA, R.R.; PRAKASH VINCENT, S.G. Thermostable Alkaline Phytase from *Alcaligenes* sp. in Improving Bioavailability of Phosphorus in Animal Feed: In Vitro Analysis. *ISRN Biotechnology*, v. 2013, p. 1–6, 2013.

WANG, F.; YANG, Y.H.; HAN, Z.Z.; DONG, H.W.; YANG, C.H.; ZOU, Z.Y. Effects of phytase pretreatment of soybean meal and phytase-sprayed in diets on growth, apparent digestibility coefficient and nutrient excretion of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum). *Aquaculture International*, v. 17, n. 2, p. 143–157, 2009.

WHITE, P.; PHILLIPS, M.; BEVERIDGE, M. Review of Environmental Impact, Site Selection and Carrying Capacity Estimation for Small-scale Aquaculture in Asia. *Site Selection and Carrying Capacities for Inland and Coastal Aquaculture*, p. 231–251, 2013.

WINDELL, J.T.; FOLTZ, J.W.; SAROKON J.A. Methods of fecal collection and nutrient leaching in digestibility studies. *The Progressive fish-culturist*, v. 40, n 2, p 51-55, 1978

WINDISCH, W.; Interaction of chemical species with biological regulation of the metabolism of essential trace elements. 2002, v. 372, n. 3, 2002. p. 421–425.

WISE, A. Dietary factors determining the biological activities of phytate. In *Nutrition Abstracts and Reviews (series A)*, v. 53, 1983. p. 791–806.

YANG, Y.H.; WANG, Y.Y.; LU, Y.; LI, Q.Z. Effect of replacing fish meal with soybean meal on growth, feed utilization and nitrogen and phosphorus excretion on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture International*, v. 19, n. 3, p. 405–419, 2011.

YIN, Q. Q.; ZHENG, Q. H.; KANG, X. T. Biochemical characteristics of phytases from fungi and the transformed microorganism. *Animal Feed Science and Technology*, v. 132, n. 3–4, p. 341–350, 2007.

YUAN, F.J.; ZHAO, H.J.; REN, X.L.; ZHU, S.L.; FU, X.J.; SHU, Q.Y. Generation and characterization of two novel low phytate mutations in soybean (*Glycine max* L. Merr.). *Theoretical and Applied Genetics*, v. 115, n. 7, p. 945–957, 2007.

ZHAO, F.J.; MOORE, K.L.; LOMBI, E.; ZHU, Y.G. Imaging element distribution and speciation in plant cells. *Trends in Plant Science*, v. 19, n. 3, p. 183–192, 2014.

References

- Alarcon, R. T., Holanda, B. B. C., Oliveira, A. R., Magdalena, A. G., & Bannach, G. (2016). Produção e Caracterização de um Novo Polímero Termoplástico a partir do Óleo de Linhaça e Glicerol Seguindo os Princípios da Química Verde. *Revista Virtual de Química*, 9, 163-175.
- Anderson, P. A. (1985). Interactions between proteins and constituents that affect protein quality. *Digestibility and Amino Acid Availability in Cereals and Oilseeds*, 31-45.
- AOAC, 2000. Official Methods of Analysis. 16th ed. Method 972.15. 2000. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA.
- Autin, M. (1997). Commercial aquafeed manufacture and production. *Cahiers Options Mediterraneennes*, 22, 79-104.
- Barbosa, J. C., & Maldonado Júnior, W. (2010). AgroEstat: sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos. *Jaboticabal: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Unesp*.
- Bock, C. L., Pezzato, L. E., Cantelmo, O. Â., & Barros, M. M. (2006). Fitase e digestibilidade aparente de nutrientes de rações por tilápias-do-nilo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 2197-2202.
- Bock, C. L., Pezzato, L. E., Cantelmo, O. A., & Barros, M. M. (2007). Fitase em rações para tilápia-do-nilo na fase de crescimento. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 1455-1461.
- Boyd, C. E., & Tucker, C. S. (2012). *Pond aquaculture water quality management*. Springer Science & Business Media.
- CAO, L. et al. Application of microbial phytase in fish feed. *Enzyme and Microbial Technology*, v.40, n.4, p.497-507, 2007.
- Chislock, M. F., Doster, E., Zitomer, R. A., & Wilson, A. E. (2013). Eutrophication: causes, consequences, and controls in aquatic ecosystems. *Nature Education Knowledge*, 4(4), 10.
- Costenaro-Ferreira, C., & Della Flora, M. A. L. (2017). Challenges for efficient use of phytase in fish nutrition. *Revista Agrarian*, 10(35), 95-104.
- Cho, C. Y. (1979). Apparent digestibility measurement in feedstuffs for rainbow trout. In *Proc. World Symp. on Finfish Nutrition and Fishfeed Technology Vol. II* (pp. 239-247).
- Cheng, N., Chen, P., Lei, W., Feng, M., & Wang, C. (2016). The sparing effect of phytase in plant-protein-based diets with decreasing supplementation of dietary NaH₂PO₄ for juvenile yellow catfish *Pelteobagrus fulvidraco*. *Aquaculture research*, 47(12), 3952-3963.
- De Castro Silva, T. S., Furuya, W. M., dos Santos, L. D., Fujii, K. M., Michelato, M., & Iwamoto, B. S. (2007). Fitase líquida em dieta extrusada para juvenis de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 29(4), 449-455.

- Engelen, A. J., Randsdorp, P. H., & Smit, E. L. (1994). Simple and rapid determination of phytase activity. *Journal of AOAC International*, 77(3), 760-764.
- FAO - Fisheries Department. (2016). *The state of world fisheries and aquaculture*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Furuya, W. M. F. (Ed.). (2010). *Tabelas brasileiras para a nutrição de tilápias*.
- Gatlin III, D. M., Barrows, F. T., Brown, P., Dabrowski, K., Gaylord, T. G., Hardy, R. W.,... & Overturf, K. (2007). Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: a review. *Aquaculture research*, 38(6), 551-579.
- Goda, A. M. (2007). Effect of Dietary Soybean Meal and Phytase Levels on Growth, Feed Utilization and Phosphorus Discharge for Nile tilapia. *Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 2(4), 248-263.
- Gomes, E., Guez, M. A. U., Martin, N., & Silva, R. D. (2007). Enzimas termoestáveis: fontes, produção e aplicação industrial. *Química nova*, 136-145.
- Hassaan, M. S., Soltan, M. A., Agouz, H. M., & Badr, A. M. (2013). Influences of calcium/phosphorus ratio on supplemental microbial phytase efficiency for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 39(3), 205-213.
- Hepher, B. (1993). *Nutrición de peces comerciales en estanques* (No. Sirsi) i9789681845230).
- Huang, J., Xu, Q., Xi, B., Wang, X., Li, W., Gao, G., ... & Liu, H. (2015). Impacts of hydrodynamic disturbance on sediment resuspension, phosphorus and phosphatase release, and cyanobacterial growth in Lake Tai. *Environmental earth sciences*, 74(5), 3945-3954.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Pesquisa da pecuária municipal, 2018. URL <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3940>. Acesso em: 15/08/2018.
- Kumar, V., Sinha, A. K., Makkar, H. P. S., De Boeck, G., & Becker, K. (2012). Phytate and phytase in fish nutrition. *Journal of animal physiology and animal nutrition*, 96(3), 335-364.
- Li, X. Q., Zhang, X. Q., Kabir Chowdhury, M. A., Zhang, Y., & Leng, X. J. (2019). Dietary phytase and protease improved growth and nutrient utilization in tilapia (*Oreochromis niloticus* × *Oreochromis aureus*) fed low phosphorus and fishmeal-free diets. *Aquaculture nutrition*, 25(1), 46-55.
- Liebert, F., & Portz, L. (2005). Nutrient utilization of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* fed plant based low phosphorus diets supplemented with graded levels of different sources of microbial phytase. *Aquaculture*, 248(1-4), 111-119.
- Leeson, S. T. E. V. E. (1993). Recent advances in fat utilization by poultry. *Recent advances in animal nutrition in Australia*, 170-181.

- Lemos, D., & Tacon, A. G. (2017). Use of phytases in fish and shrimp feeds: a review. *Reviews in Aquaculture*, 9(3), 266-282.
- Morales, G. A., de Rodrigañez, M. S., Marquez, L., Díaz, M., & Moyano, F. J. (2013). Solubilisation of protein fractions induced by *Escherichia coli* phytase and its effects on in vitro fish digestion of plant proteins. *Animal feed science and technology*, 181(1-4), 54-64.
- Morales, G. A., Marquez, L., Hernández, A. J., & Moyano, F. J. (2016). Chapter 9 Phytase effects on protein and phosphorus bioavailability in fish diets. In *Phytate destruction-consequences for precision animal nutrition* (pp. 1-8). Wageningen Academic Publishers.
- Mrudula, U. V., Jaiswal, A. K., Krishna, S., & Pandey, A. (2019). Thermostable phytase in feed and fuel industries. *Bioresource technology*.
- Nwanna, L. C., & Olusola, S. E. (2014). Effect of supplemental phytase on phosphorus digestibility and mineral composition in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *International Journal of Aquaculture*, 4.
- Pezzato, L. E., MIRANDA, E. D., Pinto, L. G. Q., Furuya, W. M., Barros, M. M., Rosa, G. J. M., & Lanna, E. A. T. (2002). Avaliação de dois métodos de determinação do coeficiente de digestibilidade aparente com a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus* L.). *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 24, 965-971.
- Pontes, T. C., França, W. G., Dutra, F. M., Portz, L., & Ballester, E. L. C. (2018). Evaluation of the Phytase Enzyme in Granulated and Liquid Forms for Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Archivos de zootechnia*, 68(261).
- Portz, L., & Liebert, F. (2004). Growth, nutrient utilization and parameters of mineral metabolism in Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) fed plant-based diets with graded levels of microbial phytase. *Journal of animal physiology and animal nutrition*, 88(9-10), 311-320.
- Roriz, G. D., Delphino, M. K. D. V. C., Gardner, I. A., & Gonçalves, V. S. P. (2017). Characterization of tilapia farming in net cages at a tropical reservoir in Brazil. *Aquaculture Reports*, 6, 43-48.
- Shit, S. C., & Shah, P. M. (2014). Edible polymers: Challenges and opportunities. *Journal of Polymers*, 2014.
- Vandenberg, G. W., Scott, S. L., Sarker, P. K., Dallaire, V., & De la Noüe, J. (2011). Encapsulation of microbial phytase: Effects on phosphorus bioavailability in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Animal feed science and technology*, 169(3-4), 230-243.
- Vandenberg, G. W., Scott, S. L., & De La Noüe, J. (2012). Factors affecting nutrient digestibility in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed a plant protein-based diet supplemented with microbial phytase. *Aquaculture nutrition*, 18(4), 369-379.

Verlhac-Trichet, V., Vielma, J., Dias, J., Rema, P., Santigosa, E., Wahli, T., & Vogel, K. (2014). The Efficacy of a Novel Microbial 6-Phytase Expressed in *Aspergillus oryzae* on the Performance and Phosphorus Utilization of Cold-and Warm-Water Fish: Rainbow Trout, *Oncorhynchus mykiss*, and Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 45(4), 367-379.

Implicações

A farinha de peixe foi amplamente utilizada como fonte proteica em rações para peixes, devido a suas características organolépticas e nutricionais. Porém, a sua produção caiu enquanto a demanda foi mantida, levando a um aumento expressivo em seu custo. Este fator inviabilizou o uso de farinha de peixe em formulações de dietas para a indústria aquícola. Por se tratarem de fontes proteicas com preços economicamente viáveis, ingredientes de origem vegetal têm sido utilizados como substituídos à farinha de peixe. Entretanto, o uso destes apresenta alguns entraves, como a baixa biodisponibilidade de fósforo e a presença de fatores antinutricionais que podem indisponibilizar outros nutrientes que serão lançados no ambiente aquático promovendo a eutrofização.

Assim, estratégias para otimizar o uso de ingredientes vegetais em dietas de peixes são necessárias para dar continuidade no crescimento sustentável da aquicultura. Como discutido no presente estudo, uma das formas de reduzir os impactos dessa atividade se dá pela suplementação de enzimas, como a fitase. Diferentes estudos comprovaram os efeitos benéficos da fitase relacionados ao aumento da biodisponibilidade de fósforo e outros nutrientes, assim como a redução da emissão de poluentes para o ambiente, além da quebra de fatores antinutricionais presentes em farinhas vegetais, como o fitato. Como a suplementação desta enzima em dietas comerciais para peixes ainda é consideravelmente pequena devido a sua estabilidade térmica, os resultados deste trabalho podem contribuir para a viabilização do uso de fitase e outros aditivos em dietas comerciais para peixes.

Uma vez que o polímero testado foi capaz de proteger parcialmente a fitase durante o processamento das dietas e significativamente da degradação proteica no organismo animal, a associação entre fitase e polímero pode ser uma alternativa sustentável para a indústria aquícola. Entretanto, existem alguns pontos como a elevada quantidade de polímero na matriz nutricional, custo do produto, método de inclusão do mesmo na mistura e adequação de um método para

avaliar a atividade da enzima adsorvida ao polímero pós incorporação nas dietas. Portanto, mesmo com os benefícios promovidos por essa associação, mais estudos são necessários para determinar com precisão o grau de proteção térmica que este produto pode oferecer à fitase e outros aditivos durante o processamento de dietas que requerem altas temperaturas.