

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CENTRO DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS PESQUEIROS E
ENGENHARIA DE PESCA

JHONIS ERNZEN PESSINI

Triguilho em dietas suplementadas com fitase para juvenis de jundiá *Rhamdia*
quelen

Toledo
2017

JHONIS ERNZEN PESSINI

Triguilho em dietas suplementadas com fitase para juvenis de jundiá *Rhamdia
quelen*

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca – Mestrado e Doutorado, do Centro de Engenharias e Ciências Exatas, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca.

Área de concentração: Aquicultura

Orientador: Prof. Dr. Altevir Signor

Toledo

2017



Universidade Estadual do Oeste do Paraná

CAMPUS DE TOLEDO - CNPJ 78.680.337/0005-08

Rua da Faculdade, 645 - Jardim Santa Maria - Fone: (45) 3379-7000 - Fax: (45) 3379-7002 - CEP 85.903-000 Toledo - PR

www.unioeste.br



Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE JHONIS ERNZEN PESSINI, ALUNO(A) DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS PESQUEIROS E ENGENHARIA DE PESCA DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ - UNIOESTE, E DE ACORDO COM A RESOLUÇÃO DO PROGRAMA E O REGIMENTO GERAL DA UNIOESTE.

Ao(s) 13 dia(s) do mês de fevereiro de 2017 às 9h00min, no(a) Sala de Treinamentos do GEMAq - UNIOESTE/Campus de Toledo, realizou-se a sessão pública da Defesa de Dissertação do(a) candidato(a) Jhonis Ernzen Pessini, aluno(a) do Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca - Mestrado, na área de concentração em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca. A comissão examinadora da Defesa Pública foi aprovada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca. Integraram a referida Comissão os(as) Professores(as) Doutores(as): Altevir Signor, Fábio Bittencourt, Micheli Zaminhan Hassemer. Os trabalhos foram presididos pelo(a) Altevir Signor, orientador(a) do(a) candidato(a). Tendo satisfeito todos os requisitos exigidos pela legislação em vigor, o(a) candidato(a) foi admitido(a) à Defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO, intitulada: "Triguilho em dietas suplementadas com fitase para juvenis de jundiá *Rhamdia quelen*". O(a) Senhor(a) Presidente declarou abertos os trabalhos, e em seguida, convidou o(a) candidato(a) a discorrer, em linhas gerais, sobre o conteúdo da Dissertação. Feita a explanação, o(a) candidato(a) foi arguido(a) sucessivamente, pelos(as) professores(as) doutores(as): Fábio Bittencourt, Micheli Zaminhan Hassemer. Findas as arguições, o(a) Senhor(a) Presidente suspendeu os trabalhos da sessão pública, a fim de que, em sessão secreta, a Comissão expressasse o seu julgamento sobre a Dissertação. Efetuado o julgamento, o(a) candidato(a) foi Aprovado (a). A seguir, o(a) Senhor(a) Presidente reabriu os trabalhos da sessão pública e deu conhecimento do resultado. E, para constar, o(a) Coordenador(a) do Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE - Campus de Toledo, lavra a presente ata, e assina juntamente com os membros da Comissão Examinadora e o(a) candidato(a).

Em tempo, _____

Orientador(a) - Altevir Signor

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Toledo (UNIOESTE)

Fábio Bittencourt

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Toledo (UNIOESTE)

Micheli Zaminhan Hassemer

Universidade de Mogi Das Cruzes (UMC)

Jhonis Ernzen Pessini

Candidato(a)

Coordenador(a) do Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca

Homologação do Colegiado do PREP: 1

Parecer do Colegiado do PREP: favorável, Ata 001 de 23/02/2017.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Roselene Eliza Ernzen e Édio Luiz Pessini, e irmão, João Vitor Pessini, que não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida. Muito obrigado, amo vocês!

A minha namorada, Hella Fernanda Giehl Bressan, que de forma especial e carinhosa me apoiou em todos os momentos desta etapa de minha vida. Muito obrigado, amo você!

Ao meu orientador, Altevir Signor, que foi muito importante durante minha graduação e agora também na pós-graduação, o qual sempre me incentivou, ajudou e esteve sempre disposto a sanar minhas dúvidas que surgiram durante todo este tempo. Devo agradecer especialmente suas cobranças, que nos renderam muitas conquistas até aqui. Muito obrigado!

Aos meus amigos e companheiros de trabalho, Evandro Bilha Moro, Dihego Romenig Alves Fernandes, Mariana Lins e Milena Sanchez, que auxiliaram neste estudo e em tantos outros. Muito obrigado!

Aos demais professores do Grupo de Estudos em Manejo da Aquicultura – GEMaQ, Aldi Feiden, Fábio Bittencourt e Wilson Rogério Boscolo, que foram importantes durante minha passagem por este maravilhoso grupo de pesquisa.

Aos demais amigos e colegas do Gemaq, por terem me proporcionado momentos de divertimento e pelo companheirismo.

Aos meus amigos, que sempre estão comigo, pelo diálogo, companheirismo e agradecer pela amizade que tenho com vocês. Muito obrigado.

Ao CNPQ, pelo financiamento da minha bolsa de estudos durante o período do mestrado.

A UNESP, através dos professores Luiz Edivaldo Pezzato e Pedro de Magalhães Padilha, pelo auxílio nas análises de mineral óssea.

A Fundação Araucária, através do apoio financeiro, pelo edital PRONEM Chamada 23/2012.

Agradecer a Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE *Campus* de Toledo, através do Grupo de Estudos de Manejo na Aquicultura (GEMaQ), por conceder o espaço físico para a realização deste trabalho.

A todos que de alguma forma contribuíram durante o período de estudos.

Triguilho em dietas suplementadas com fitase para juvenis de jundiá *Rhamdia quelen*

Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca: Aquicultura e Manejo

RESUMO

Este estudo teve como objetivo avaliar o desempenho produtivo, composição centesimal da carcaça, composição mineral óssea e histomorfometria de intestino de juvenis de jundiás *Rhamdia quelen* alimentados com dietas contendo triguilho suplementadas ou não com fitase. Foram utilizados 288 juvenis com peso médio de $12,78 \pm 2,78$ g distribuídos aleatoriamente em 24 aquários com volume útil de 500 litros em um sistema de recirculação de água. Durante o período experimental de 45 dias, os peixes foram alimentados quatro vezes ao dia até a saciedade aparente com oito dietas isoproteicas e isocalóricas, constituídas por 0; 33; 67 e 100% de substituição do milho pelo triguilho suplementadas com fitase (0 e 1.500 FTU/kg⁻¹). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 4x2 (níveis de suplementação de triguilho x fitase) com oito tratamentos e três repetições, totalizando 24 unidades experimentais. Foram avaliados o desempenho zootécnico, composição química da carcaça, composição mineral óssea e histologia intestinal. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância fatorial ($P < 0,05$) e quando significativas, as médias foram submetidas ao teste de Tukey. Para o desempenho zootécnico, houve influência do alimento no índice de gordura víscero-somática ($P < 0,05$), em que o nível de 100% de substituição apresentou os menores índices. Para a composição química da carcaça, os peixes alimentados com 100 % de triguilho, sem fitase, apresentaram os menores valores de extrato etéreo na carcaça. Na composição mineral óssea, o nível de 100 % de substituição, suplementada com a enzima, apresentou os menores valores de cálcio e manganês. Para a histologia intestinal, diferenças foram observadas nos peixes alimentados com a dieta com 67% de substituição do milho pelo triguilho, sem fitase, para altura do vilão e altura total dos vilões ($P < 0,05$). O número de células caliciformes não apresentou diferenças ($P > 0,05$). Conclui-se que o triguilho, independentemente da suplementação enzimática, pode substituir o milho integralmente em dietas para o jundiá sem que ocorram prejuízos sobre o desempenho produtivo, composição química da carcaça, composição mineral óssea e morfologia intestinal.

Palavras-chave: Alimento alternativo, aquicultura, enzima, substituição.

Wheat middling in diets supplemented with phytase for silver catfish *Rhamdia quelen* juveniles

Fishery Resources and Fisheries Engineering: Aquaculture and Management

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the productive performance, centesimal composition of the carcass, bone mineral composition and intestinal histomorphometry of juveniles of silver catfish *Rhamdia quelen* juveniles fed diets with or without supplemented phytase. We used 288 juveniles with an average weight of 12.78 ± 2.78 g randomly distributed in 24 aquarium with useful volume of 500 liters in water recirculating system. During the period of 45 days the fish were fed four times a day with eight isoproteic and isocaloric diets constituted by 0; 33; 67 and 100% of replacement of corn by wheat middling supplemented with phytase (0 and 1,500 FTU kg⁻¹). The experimental design was completely random in factorial scheme 4x2 (inclusion levels of wheat middling x phytase) with eight treatments and four replications, totalizing 24 experimental units. The zootechnical performance, carcass chemical composition, bone mineral composition and gut histology were evaluated. The data obtained were submitted to analysis of factorial variance ($P < 0.05$) and when significant, the averages were submitted to Tukey test. For zootechnical performance, there was influence of the food in viscerosomatic fat index ($P < 0.05$) where the replacement level of 100% showed lowest index. For carcass chemical composition, fish fed with wheat middling supplemented with phytase showed lowest levels of fat in carcass as well as fish fed with level of 100% without phytase. In the bone mineral composition, the replacement level of 100%, supplemented with the enzyme, showed the lowest values of calcium and manganese. For intestinal histology, differences were observed in fish fed the diet with 67%, without phytase, differ for the others treatments for height villi and total height of villi ($P < 0.05$). The number of goblet cells did not present differences ($P > 0.05$). We can conclude that the wheat middling, independently of the enzymatic supplementation, can wholly replace corn in diets for the silver catfish without occurring zootechnical performance, carcass chemical composition, bone mineral composition and intestinal morphology damages.

Keywords: Alternative food, aquaculture, enzyme, substitution

Dissertação elaborada e formatada conforme as normas da publicação científica *Aquaculture*. Disponível em: <<https://www.elsevier.com/journals/aquaculture/0044-8486/guide-for-authors>>*

Lista de Tabelas

Tabela 1 Composição percentual e química das dietas experimentais.	33
Tabela 2. Desempenho zootécnico de jundiás <i>Rhamdia quelen</i> alimentados com dietas contendo níveis crescentes de substituição do milho por trigoilhoso suplementadas com fitase.	37
Tabela 3. Análises de composição centesimal da carcaça de jundiás <i>Rhamdia quelen</i> alimentados com dietas contendo níveis crescentes de trigoilhoso em substituição ao milho suplementadas com fitase	38
Tabela 4. Composição mineral óssea de jundiás <i>Rhamdia quelen</i> alimentados com dietas com níveis crescentes de substituição do milho pelo trigoilhoso suplementadas com fitase.	39
Tabela 5. Histomorfometria do intestino de jundiás <i>Rhamdia quelen</i> alimentados com dietas com níveis crescentes de substituição do milho pelo trigoilhoso suplementadas com fitase	40

Lista de Figuras

Figura 1. Estrutura molecular do ácido fítico.	16
Figura 2. Síntese do ácido fítico através das enzimas sintase Ins3P1 (A) e mio-inositol-quinase (B) e suas fosforilações até a formação do ácido fítico, perante a ação das enzimas quinase (C) e pentaquifosfato quinase (D) sem a presença de intermediários.	17
Figura 3. Complexo formado pelo ácido fítico com os elementos cálcio, ferro, magnésio e zinco.	18
Figura 4. Ação da fitase sobre o ácido fítico.....	19
Figura 5. Parede do intestino medial do jundiá. Letra A= altura do vilos; Letra B= altura total do vilos. Seta vermelha representa uma célula caliciforme. <i>Alcian blue</i> , objetiva 10x.....	36

SUMÁRIO

Capítulo 1. Revisão de Literatura	12
1. Aquicultura	12
2. Jundiá.....	13
3. Triguilho	14
4. Ácido fítico	15
5. Fitase.....	18
Referências	21
Objetivos.....	27
Objetivo Geral	27
Objetivos específicos.....	27
Capítulo 2. Triguilho em dietas suplementadas com fitase para juvenis de jundiá	
<i>Rhamdia quelen</i>	28
1. Introdução.....	30
2. Materiais e Métodos	31
2.1 Animais e delineamento experimental	31
2.2 Dietas experimentais	32
2.3 Procedimento experimental e metodologia da coleta	32
2.4 Desempenho zootécnico	34
2.5 Análise de composição química	34
2.6 Análise de minerais	34
2.7 Histologia intestinal	35
2.8 Qualidade da água	35
2.9 Estatística	36
3. Resultados	37
3.1 Desempenho zootécnico	37
3.2 Análise de composição química	38
3.3 Análise de minerais	39
3.4 Histologia intestinal	40
4. Discussão.....	40
4.1 Desempenho zootécnico	40
4.2 Análise de composição química	42

<i>4.3 Análise de minerais</i>	44
<i>4.4 Histologia intestinal</i>	46
5. Conclusão	47
6. Referências	48

Capítulo 1. Revisão de Literatura

1. Aquicultura

A aquicultura é a criação de espécies que vivem ou tem parte da vida em ambiente aquático (FAO, 2014a). Nos dias de hoje, é considerada uma atividade multidisciplinar, envolvendo o cultivo de diversos organismos aquáticos, como peixes, moluscos, crustáceos e plantas, buscando um aumento da produção através do manejo no processo de criação, uma prática tradicional antiga presente nas várias culturas pelo mundo (Oliveira, 2009).

A demanda mundial por pescado teve aumento considerável nos últimos anos, devido principalmente ao aumento populacional e a busca por alimentos mais saudáveis (Brabo et al., 2016), uma vez que, o pescado é uma fonte de proteínas de alto valor biológico, ácidos graxos insaturados e poli-insaturados, vitaminas, apresentam baixo teor de colesterol, tornando-o uma alternativa saudável em relação a outras carnes (Sartori e Amancio, 2012; Gonçalves, 2011). Esses fatores contribuem para que a aquicultura seja a opção mais viável para suprir esse mercado, sendo fonte de produção de alimento de qualidade para consumo humano, tendo em vista que a pesca apresenta produção estabilizada desde a década de 90 (Sindonio et al., 2012)

A piscicultura continental, carcinicultura marinha e a malacocultura são os principais e mais desenvolvidos ramos da aquicultura brasileira, com produções de espécies nativas e exóticas praticadas nos mais diversos ambientes e sistemas de produção (Brabo et al. 2016). Outras atividades, como, carcinicultura de água doce, ranicultura, algicultura e a quelonicultura também estão presentes, porém, com produção em menor escala (IBGE, 2016; MPA, 2013).

O Brasil conta com uma costa marítima de aproximadamente 8,5 mil km, como também concentra entre 12 a 15% de toda água doce disponível no planeta (Cyrino et al., 2010). Além desses fatores, apresenta clima favorável, boa safra de grãos, mão-de-obra abundante e crescente demanda por pescado no mercado interno (Bergamin et al., 2010; Della Flora et al., 2010). Fatores que tornam o país promissor na produção de organismos aquáticos marinhos e também continental (Cyrino et al., 2010).

A produção brasileira atingiu números de 483.241 t no ano de 2015, um incremento de 1,88% em relação ao ano de 2014 (IBGE, 2016). A tilápia continua sendo a espécie de peixe mais produzida nacionalmente, com 45,4 % (219.329 t) do total (IBGE, 2016). Apesar do

potencial anteriormente citado, o Brasil apresenta números de produção inferiores se comparado a países de menor tamanho territorial e disponibilidade hídrica, como o Chile (FAO, 2014b).

Ainda que a tilápia seja a espécie de peixe mais cultivada no Brasil, o cultivo de peixes nativos apresentou crescimento nos últimos anos em consequência da grande diversidade de espécies com potencial de cultivo, como o pacu (*Piaractus mesopotamicus*), pintado (*Pseudoplatistoma fasciatum*) e jundiá (*Rhamdia quelen*, *Rhamdia voulezi*) (Boscolo et al., 2011). Apesar do crescimento, informações, tecnologias e a produção em cativeiros sobre essas espécies são escassas, tornando necessário estudos que propiciem melhores índices de desempenho sobre as mesmas a fim de contribuir com o aumento da produção aquícola nacional.

2. Jundiá *Rhamdia quelen*

O jundiá é um bagre pertencente a ordem dos siluriformes (Peil et al., 2007), sendo endêmico do rio Iguazu (Freitas et al., 2011), com uma ampla distribuição geográfica, que vai desde a região central da Argentina até o sul do México (Silvergrip, 1996). Tolerar temperaturas que variam entre 15 e 34°C (Chipary-Gomes, 2000), entretanto, o seu conforto térmico é entre 18 a 20°C (Baldisserotto, 2009).

É bem aceito comercialmente pelas suas características de produção, como crescimento rápido, bom rendimento de carcaça, fácil reprodução (Signor et al., 2013; Diemer et al., 2012; Fracalossi et al., 2004) e, aliado a isso, sua carne sem espinhas intramusculares, apresenta um ótimo sabor e textura (Baldisserotto, 2009; Fracalossi et al., 2004).

Fracalossi et al. (2002) afirmam que pelo fato da espécie apresentar hábito alimentar onívoro, o animal aproveita bem as dietas com fontes de proteína animal e vegetal. O mesmo autor sugere que as dietas ofertadas aos peixes contenham 34% de proteína e aproximadamente 3.500 kcal.kg⁻¹ de energia digestível. Além disso, Fracalossi et al. (2004), em estudo sobre o desempenho de jundiás em viveiros, encontraram valores de ganho em peso diário para o jundiá semelhantes ao da tilápia, espécie criada comercialmente. Por esses fatores, o jundiá se torna uma espécie promissora para o aumento da produção piscícola brasileira.

O cultivo de jundiá está se intensificando no Brasil. Em 2010, foram produzidas 1.274,3 toneladas (MPA, 2012), comparado a 2011, a produção foi de 1.747,3 toneladas

(MPA 2013), correspondendo um crescimento de 37%, porém, muito abaixo de seu potencial, pois como Freitas et al. (2011) afirmam, as etapas de seu processo de produção não estão bem definidos e que estudos sobre seu comportamento em sistemas de produção são necessários.

O milho, que é comumente o ingrediente mais utilizado como fonte energética em rações, tem apresentado elevação nos custos sobre a sua produção e, como consequência, os custos relativos a sua utilização em dietas aumentaram. Com isso, estudos relacionados a utilização de ingredientes alternativos em dietas é de suma importância, visando o aumento da produção piscícola.

3. Triguilho

O trigo (*Triticum* spp.) é comumente cultivado em épocas mais frias. Fatores como a geada durante fases de desenvolvimento do grão, podem acarretar má formação, ocasionando variações em sua composição física e química, resultando em um subproduto com valor de mercado inferior ao trigo, sendo denominado triguilho (Signor et al., 2007; Brum et al., 2005). Para obter tal classificação, o trigo passa por uma peneira de crivo oblongo de 1.75 mm x 20.00 mm e espessura de chapa de 0.72 mm, no qual os grãos que apresentarem peso específico menor que o mínimo na moagem do grão são qualificados como triguilho (Brum et al., 2005).

Este ingrediente não é utilizado para a alimentação humana, tornando-o uma fonte alternativa de energia na alimentação de animais no período de entressafra do milho (Fialho et al., 1986), visto que este é mais escasso e conseqüentemente, com preço mais elevado (Tufarelli et al., 2011).

A substituição do milho pelo triguilho em dietas vem sendo estudada em animais como aves (Laudadio et al., 2011), suínos (Kim & Lei, 2005; Barbosa et al., 1990), bovinos leiteiros (Bargo et al., 2006), ovelhas (Tufarelli e Laudadio, 2011) e peixes (Signor et al., 2007), não sendo observados efeitos negativos da sua inclusão em dietas. Com isso, o triguilho apresenta potencial para substituir os ingredientes convencionais em dietas devido ao seu menor custo, cerca de 50% menor em relação ao milho (Tufarelli et al., 2011).

Para a tilápia-do-Nilo, Signor et al. (2007) encontrou valores de digestibilidade 11,92 % e 3134,78 Kcal.kg⁻¹ de proteína e energia digestível, respectivamente. Para o jundiá, Lewandowski et al. (2017) verificou valores de digestibilidade de 15,01 % para proteína

digestível e $3480 \text{ Kcal.kg}^{-1}$ para energia digestível, demonstrando que a utilização deste ingrediente como fonte energética em dietas para o jundiá é viável.

Apesar de apresentar boa digestibilidade energética e proteica, existem algumas restrições quanto ao uso do trigoilho em dietas por ele apresentar fatores antinutricionais, que podem alterar o aproveitamento dos nutrientes desse alimento, causando crescimento reduzido, piora na conversão alimentar, alterações hormonais e esporádicas lesões nos órgãos (Campestrini et al, 2005).

4. Ácido fítico

Produtos alimentares de fontes vegetais são as principais fontes de alimento para o ser humano em várias partes do mundo (Kumar et al., 2010), constituindo uma importante fonte de carboidratos, proteínas, fibras alimentares e vitaminas (Katina et al., 2005). Entretanto, existem fatores antinutricionais que apresentam efeito negativo na absorção de nutrientes por monogástricos, incluindo o ser humano e os peixes (Kumar et al., 2010).

Dentre os componentes antinutricionais, o ácido fítico ou fitato é uma classe complexa de compostos naturais que podem influenciar as propriedades funcionais e nutricionais dos alimentos (Maga, 1982). Está presente em sementes de oleaginosas, com proporções de 1 a 5% de ácido fítico (Cheryan, 1980). Tem como função o armazenamento de fósforo, do qual 50 a 80% do fósforo presentes nos vegetais estão na forma de ácido fítico (Kirby e Nelson, 1988).

A descrição química para o ácido fítico é o mio-inositol ácido hexaquisfosfórico (mio-hexaquisfosfato), com fórmula molecular de $\text{C}_6\text{H}_{18}\text{O}_{24}\text{P}_6$ (Kumar et al., 2010) (Figura 1). A formação se dá pela absorção dos nutrientes minerais do solo e, durante a fase de maturação de seus grãos, ocorre o deslocamento dos elementos minerais para as sementes, sendo que o fósforo absorvido é armazenado na forma de ácido fítico (Francis et al,

2001).

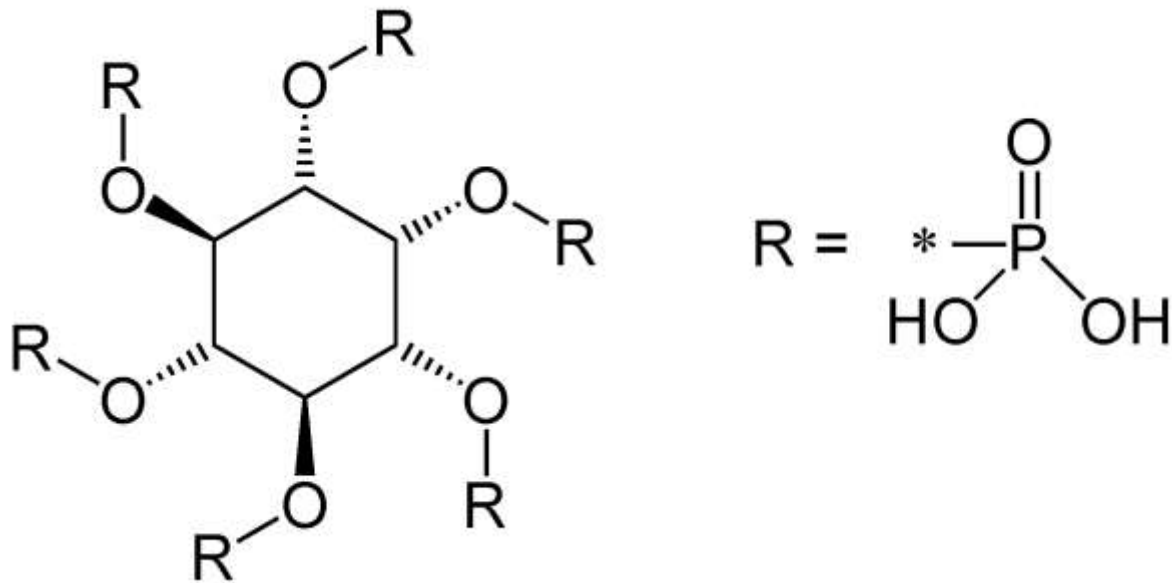


Figura 1. Estrutura molecular do ácido fítico. Fonte: Kumar et al. (2010).

Embora haja numerosos estudos sobre o ácido fítico, há ainda várias perguntas a serem respondidas sobre o seu metabolismo em plantas, como o seu processo de síntese, que ainda não é totalmente compreendido (Hatzack et al., 2001). Segundo De Paula (2007), a síntese do ácido fítico se dá por um processo de fosforilação da molécula de mio-inositol, podendo ser suprido pela síntese de um *novo* processo, reciclado a partir de uma fonte armazenada ou pode ainda ser translocado. O *novo* processo é conhecido como a principal fonte de inositol em grãos, que converte a glicose-6P em mio-inositol-1P (mio-inositol-monofosfato) através da ação da enzima mio-inositol-1-P-sintase (MIPS) (Lowewus e Murthy, 2000)

O processo de fosforilação do mio-inositol-monofosfato é continuado sucessivamente até ser formado o mio-hexaquisfosfato (IP6) ou ácido fítico e, na literatura existem várias propostas para explicar sua via sintética (De Paula, 2007). Biswas et al. (1978) afirmam que há uma fosforilação sucessiva da molécula de mio-inositol com ausência de intermediários parcialmente fosforilados. Brearley e Hanke (1996) afirmam que ocorre a fosforilação sucessiva, contudo com a presença de intermediários fosforilados e, em ambos os casos, a fosforilação ocorre através da ação de quinases.

A síntese do ácido fítico, independente de seu caminho, utiliza o fósforo, mio-inositol ou então a glicose como primeiro substrato a serem incorporados nesta via de síntese (De Paula, 2007). O fósforo é adicionado na forma de ATP, a glicose e o mio-inositol são as fontes de carbono (Loewus e Loewus, 1983). O primeiro processo da síntese do ácido fítico consiste em um processo de fosforilação da molécula 1E-mio-inositol-3-fosfato (Ins3P1),

sendo considerada o primeiro passo do metabolismo do ácido fítico e, ela é formada a partir da D-glicose-6-fosfato através da enzima sintetase Ins3P1, como também pelo mio-inositol através da enzima mio-inositol-quinase. Posteriormente, as enzimas quinases catalisam a fosforilação de fosfatos do Ins3P1 para a produção de mio-inositol, di, tri, tetra, penta e hexafosfato, formando o mio-hexaquisfosfato (IP6) ou fitato (De Paula, 2007) (Figura 2).

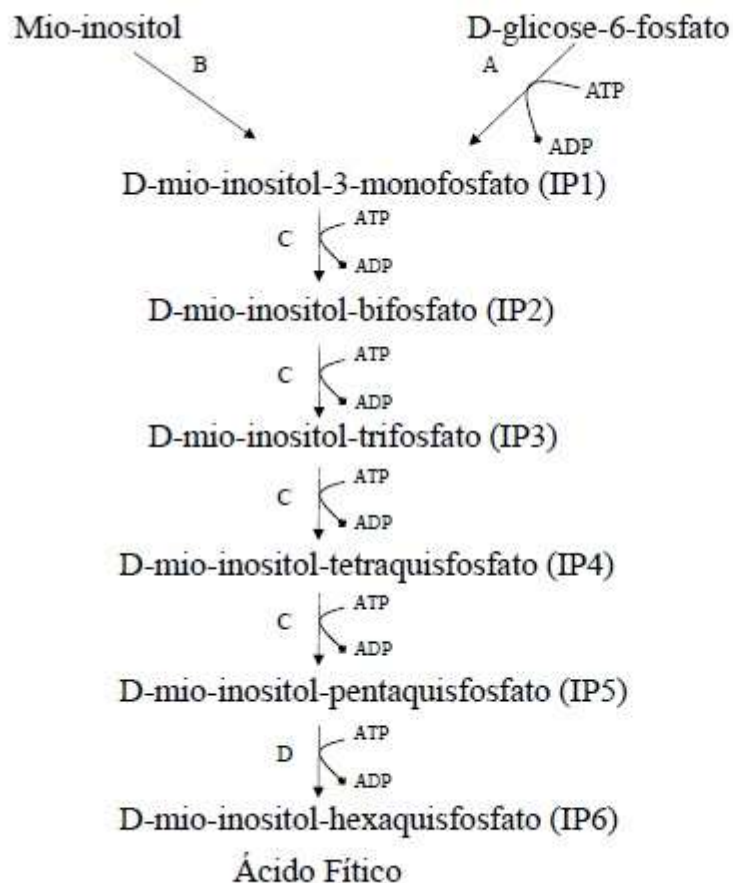


Figura 2. Síntese do ácido fítico através das enzimas sintetase Ins3P1 (A) e mio-inositol-quinase (B) e suas fosforilações até a formação do ácido fítico, perante a ação das enzimas quinase (C) e pentaquisfosfato quinase (D) sem a presença de intermediários. Fonte: Lewandowski, 2015.

Por apresentar capacidade de armazenar o fósforo, o ácido fítico é um fator limitante na disponibilidade deste mineral, aliado a isso, apresenta ainda alta capacidade de quelação com íons metálicos, proteínas, carboidratos e lipídios (Figura 3) (Vohra e Satyanarayan, 2003; Konietzny e Greiner, 2003; Ravindran et al., 1995), que encontra-se carregado negativamente, podendo ter até doze cargas negativas (Quirrembach et al., 2009), fazendo com que os grupos fosfatos se liguem com moléculas carregadas positivamente (Graf e Eaton, 1990) (Figura 3). Dessa forma, esse poder de quelação do ácido fítico reduz a disponibilidade de nutrientes,

pois esses complexos formados não são absorvidos no trato gastrointestinal de animais monogástricos, por não apresentarem capacidade de quebra da molécula de ácido fítico e também pelo fato de serem insolúveis em pH próximo ao do intestino (Fukuji et al., 2008; Greiner e Konietzny, 2006).

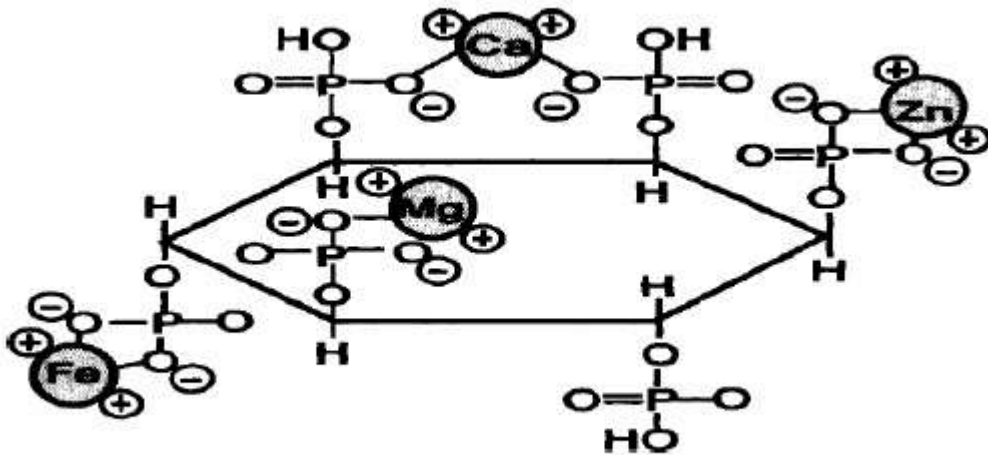


Figura 3. Complexo formado pelo ácido fítico com os elementos cálcio, ferro, magnésio e zinco. Fonte: De Paula (2007).

5. Fitase

A enzima fitase é quimicamente conhecida como mioinositol hexafosfato fosfohidrolase (Kumar et al., 2012). Os mesmos autores afirmam que esta enzima possui capacidade de quebrar os ortofosfatos ligados ao fitato, produzindo fosfatos inorgânicos livres juntamente com uma cadeia menor de ésteres fosfóricos como intermediários e diminuindo a capacidade de quelação do fitato em relação aos cátions (Figura 4).

A atividade da fitase pode ser expressada pelas siglas FYT, FTU, PU ou U (Kumar et al., 2010), que explanam a unidade ativa da fitase, sendo a quantidade necessária de enzima para liberar um micromol de fósforo inorgânico por minuto do fitato a uma temperatura de 37°C e um pH de 5,5 (Simons et al., 1990). A maioria das enzimas microbianas de fitases ocorrem em pH ácido, com picos de atividade entre 2,5 e 5,5, sendo considerado este intervalo como o ideal (Cao et al., 2007).

A fitase pode ser obtida através de fungos, bactérias e vegetais (Kumar et al., 2012), entretanto, os fungos filamentosos *Aspergillus ficuum*, *Mucor piriformis* e *Cladosporium* são as principais fontes de fitase microbiana (Stefan et al., 2005). As oriundas de vegetais são

termo sensíveis, tendo sua atividade reduzida ou até mesmo eliminada quando processadas em rações comerciais (Jongbloed e Kemme, 1990). Outras possíveis fontes de enzimas que degradam o fitato são as produzidas pelo próprio muco do intestino delgado e também pelo intestino grosso (Kumar et al., 2012), contudo, essa atividade da fitase em monogástricos é insignificante quando comparado as microbianas e de plantas (Weremko et al., 1997).

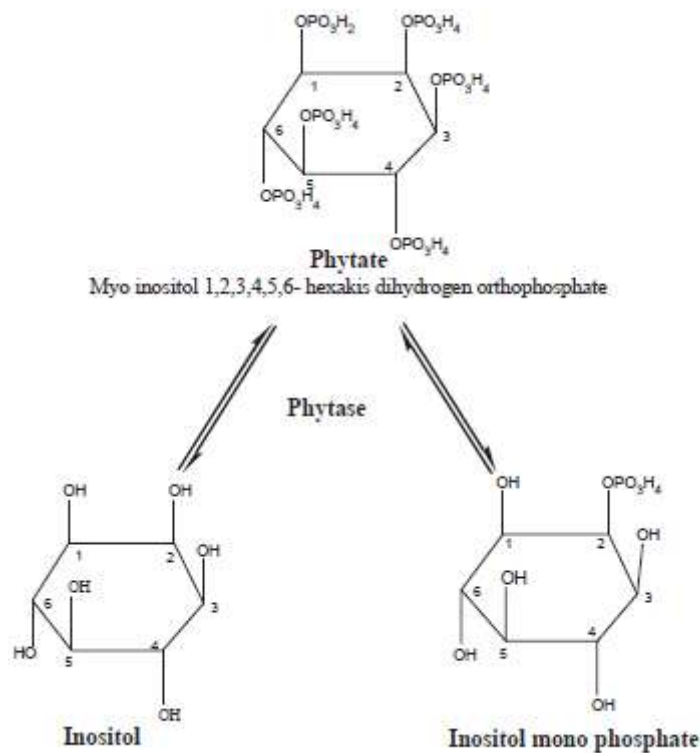


Figura 4. Ação da fitase sobre o ácido fítico. Fonte Kumar et al. (2012).

A fitase pode ser classificada em duas categorias, dependendo do local onde a hidrólise da molécula é iniciada, no carbono três ou então no carbono seis (Selle e Ravindran, 2006), ou com base em seu pH ótimo de atividade, com enzimas que degradam o fitato em meio ácido, com pH ótimo em torno de 5,0 e as enzimas que degradam o fitato com um pH ótimo em torno de 8,0 (Konietzny e Greiner, 2002). A maior parte das enzimas degradantes de fitato ocorrem em pH ácido, porém, deve-se levar em consideração que diferentes fontes de fitases microbianas podem diferir em sua eficácia por unidade (Cao et al., 2007).

A produção de fitase em escala comercial vem sendo realizada através de linhagens de fungos e bactérias ou então utilizando a tecnologia da recombinação de DNA e, as três principais fontes de fitase são derivadas dos fungos *Aspergillus niger*, que é uma 3-fitase, *Peniophora lycii*, e da bactéria *Escherichia coli*, que são 6-fitase (Cao et al, 2007). O mesmos autores afirmam que a fitase pode ser adicionada em dietas para animais na forma de

grânulos, pó e líquido antes ou após o processamento da dieta e, quando utilizada antes do processamento, deve-se realizar um pré-tratamento a fim de evitar problemas de termo-estabilidade quando expostas a altas temperaturas (>80°C).

A inclusão da enzima fitase em dietas vem sendo estudada a fim de investigar os efeitos de sua suplementação. Além da melhor disponibilidade de fósforo, a fitase também pode evitar o efeito negativo do ácido fítico sobre outros minerais e proteínas (Caires et al., 2008) e, vários estudos evidenciaram a eficiência de sua utilização em aves e suínos, melhorando a digestibilidade e retenção de nutrientes e também o desempenho produtivo (Nagata et al., 2009; Silva et al., 2008; Gomide et al., 2007; Moreira et al., 2003; Figueirêdo et al., 2000).

Embora a utilização da fitase em animais terrestres esteja bem estabelecida, sua utilização na aquicultura não é muito aplicada (Morales et al., 2011), podendo ser explicado pelo fato que as fitases comercialmente disponíveis são utilizadas em condições fisiológicas existentes no intestino de monogástricos terrestres, que são diferentes das existentes no trato digestivo de peixes (Cao et al., 2007).

Morales et al (2011) em estudo com a truta arco-iris evidenciaram que a adição de 2500 FTU/Kg de fitase bacteriana de *E. coli* desfosforilaram até 98% do ácido fítico contido no farelo de soja, tornando-o disponível para absorção pelo animal. Bock et al. (2007) relataram uma eficiência de 29,55 % maior na utilização de fósforo em alevinos de tilápia alimentados com dietas com adição de 2000 FTU/kg de fitase comparado a dietas sem a inclusão da fitase. Gonçalves et al. (2007) em estudo com a tilápia-do-Nilo, utilizando quatro diferentes fontes de alimentos vegetais, encontraram valores de até 45,75 % de aumento do aproveitamento do fósforo com dietas contendo 2000 UFA/kg de fitase.

O fósforo na forma de fitato e o fósforo inorgânico adicionado as rações que não é absorvido, é excretado ao meio em que o animal está inserido, afetando negativamente a qualidade da água. O excesso de fósforo no meio aquático é uma das principais fontes de poluentes em efluentes, devido ao fato de ser o nutriente mais limitante para a produção primária, o que acarreta em eutrofização do ambiente e baixos níveis de oxigênio (Klein e Agne, 2012).

Referências

- Baldisserotto, B. 2009. Fisiologia de peixes aplicada à piscicultura. 2.ed. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 350p
- Barbosa, H.P., Fialho, E.T., Lima, G.J.M.M., Ferreira, A.S. 1990. Triguilho na alimentação de suínos. Concórdia: EMBRAPA – CNPSA, p.1-3. (Comunicado técnico).
- Bargo, F., Delahoy, J.E., Schroeder, G.F., Muller, L.D., 2006. Milk fatty acid composition of dairy cows grazing at two pasture allowances and supplemented with different levels and sources of concentrate. *Anim. Feed Sci. Technol.* 125, 17–31.
- Bergamin, G.T.; Neto, J.R.; Emanuelli, T.; Lazzari, R.; Maschio, D.; Knapp, V. 2010. Substituição da farinha de carne suína por fontes vegetais em dietas para carpa-húngara. *Pesquisa Agropecuária brasileira*, Brasília. 45, 1189-1197.
- Biswas, S., Marti, S., B., Charkrabarti, S., Biswas, B., B. 1978. Purification and characterization of myoinositol hexaphosphate adenosine diphosphate phosphotransferase from *Phaseolus aureus*. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 185, 557-566.
- Bock, C.L., Pezzato, L.E., Cantelmo, O.A., Barros, M.M. 2006. Fitase e digestibilidade aparente de nutrientes de ração por tilápias-do-nilo. *R. Bras. Zootec.* 35, 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. *R. Bras. Zootec.* 36, 1455–1461.
- Boscolo, W.R., Signor, A., Freitas, J.M.A. de, Bittencourt, F., Feiden, A. 2011. Nutrição de peixes nativos. *R. Bras. Zootec.* 40, 145–154.
- Brabo, M., F.; Pereira, L., F., S.; Santana, J., V., M.; Campelo, D., A., V.; Veras, G., C. 2016. Cenário atual da produção de pescado no mundo, no Brasil e no estado do Pará: ênfase na aquicultura. *Acta Fish. Aquat. Res.* 4, 50-58.
- Brearley, C., A.; Hanke, D., E. 1996. Metabolic evidence for the order of addition of individual phosphate esters to the myo-inositol moiety of inositol hexakisphosphate in the duckweed *Spirodela polyhira* L. *Biochemical Journal*. 314, 227-233.
- Brum, P.A.R. de, Zanotto, D.L., Avila, V.S. de, Lima, G.J.M.M. de. 2005. Triguilho na alimentação de aves. *Bol. Téc. Embrapa* 1, 1–2.
- Caires, C.M., Fagundes, N.S., Fernandes, E. de A., Carvalho, A.P. de. 2008. Enzimas na alimentação de frangos de corte. *Rev. Elet. Nutrit.* 5, 491–497.
- Cao, L., Wang, W., Yang, C., Yang, Y., Diana, J., Yakupiyage, A., Luo, Z., Li, D. 2007. Application of microbial phytase in fish feed. *Enzyme Microb. Tech.* 40, 497–507.

Cheryan, M. 1980 Phytic acid interactions in food systems. CRC Critical Reviews Food Science Nutrition. 13, 297-335.

Chippari-gomes, A. R.; Gomes, L. C.; Baldisserotto, B. 2000. Lethal temperatures for *Rhamdia quelen* larvae (Pimelodidae). Ciência Rural. 30, 1069-1071,.

Cyrino, J.E.P., Bicudo, A.J. de A., Sado, R.Y., Borghesi, R., Dairiki, J.K. 2010. A piscicultura e o ambiente - o uso de alimentos ambientalmente corretos em piscicultura. R. Bras. Zootec. 39, 68-87.

De Boland, A.R.; Garner, G.B.; O'Del, B. 1975. Identification and properties of "phytate" in cereal grains and oilseed products. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 23, 1.166-1.189,

De Paula, S.A. 2007. Dissertação de Mestrado. Composição bioquímica e fatores antinutricionais de genótipos de soja. Universidade Federal de Viçosa.

Della Flora, M.A., Maschke, F., Ferreira, C.C., Pedron, F.D.A. 2010. Biologia e cultivo do dourado (*Salminus brasiliensis*). Acta Vet. Brasilica. 4, 7-14.

Diemer, O., Boscolo, W. R., Signor, A. A., Sary, C., Neu, D. H., Feiden, A. 2011. Níveis de fósforo total na alimentação de juvenis de jundiá criados em Tanques-rede. Pesq. Agropec. Trop., Goiânia. 41, 559-563.

Diemer, O., Neu, D. H., Sary, C., Finkler, J. K., Boscolo, W. R., Feiden, A. 2012. Artemia sp. na alimentação de larvas de jundiá (*Rhamdia quelen*.) Ci. Anim. Bras. 13, 175-179.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations.. *Fishery and aquaculture statistics 2012*. Roma: FAO yearbook. 2014b.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations.. *The state of world fisheries and aquaculture: opportunities and challenges*. Roma: FAO. 2014a.

Fialho, E.T., Gomes, P.C., Bellaver, C. 1986. Níveis de farelo de trigo em rações de suínos em crescimento e terminação. Pesquisa Agropecuária Brasileira. 21, 665-671.

Figueiredo, A., V., Fialho, E., T., Vitti, D., M., S., S., Lopes, J., B., Filho, J., C., S., Teixeira, A., S., Lima, J., A., F. 2000. Ação da Fitase sobre a Disponibilidade Biológica do Fósforo, por Intermédio da Técnica de Diluição Isotópica, em Dietas com Farelo de Arroz Integral para Suínos. Rev. bras. zootec. 29, 177-182.

Fracalossi, D.M. et al. 2002. No rastro das espécies nativas. Panorama da Aquicultura. 12, 43-49.

Fracalossi, D.M., Meyer, G., F.M. 2004. Desempenho do jundiá, *Rhamdia quelen*, e do dourado, *Salminus brasiliensis*, em viveiros de terra na região sul do Brasil. *Acta Scient.* 26, 345-352.

Francis, G., Makkar, H.P., Becker, K. 2001. Antinutritional factors present in plant-derived 721 alternate fish feed ingredients and their effects in fish. *Aquaculture*, 199, 197–227.

Freitas, J.M.A., Sary, C., Luchesi, J.D., Feiden, A., Boscolo, W.R. 2011. Proteína e energia na dieta de jundiás criados em tanques-rede. *R. Bras. Zootec.* 40, 2628–2633

Fukuji, T.S., Ferreira, D.L., Soares, A.L., Prete, C.E. C., Ida, E.L. 2008. Ácido fítico de híbridos de milho e alguns produtos industrializados. *Acta Sci. Agron.* 30, 31–35

Gomide, E., M., Rodrigues, P., B., Freitas, R., T., F., Fialho, E., T. 2007. Planos nutricionais com a utilização de aminoácidos e fitase para frangos de corte mantendo o conceito de proteína ideal nas dietas. *R. Bras. Zootec.* 36, 1769-1774,.

Gonçalves A. A. 2011. *Tecnologia do pescado: ciência, tecnologia, inovação e legislação*. São Paulo: Editora Atheneu.

Gonçalves, G.S., Pezzato, L.E., Barros, M.M., Kleeman, G.K., Rocha, D.F. 2005. 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. *R. Bras. Zootec.* 34, 2155–2163.

Gonçalves, G.S., Pezzato, L.E., Padilha, P. de M., Barros, M.M. 2007. Disponibilidade aparente do fósforo em alimentos vegetais e suplementação da enzima fitase para tilápia-do-nilo. *R. Bras. Zootec.* 36, 1473-1480.

Graf, E., Eaton, J.W. 1990. Antioxidant functions of phytic acid. *Free Radical Biol. Med.* 8, 756 61–69.

Greiner, R., Konietzny, U. 2006. Phytase for Food Application. *Food Technol. Biotech.* 44, 759 125–140.

Hatzack, F., Hübel, F., Zhang, W., Hansen, P.E., Rasmussen, S.K. 2001. Inositol phosphates from barley low-phytate grain mutants analysed by metal-dye detection HPLC and NMR. *775 Biochem. J.* 354, 473–80.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro). 2016 . Produção da Pecuária Municipal 2015. 43, 47p.

Jongbloed AW, Kemme PA. 1990. Effect of pelleting mixed feeds on phytase activity and the apparent absorbability of phosphorus and calcium in pigs. *Anim Feed Sci Technol.* 28, 233–242.

Katina, K., Arendt, E., Liukkonen, K. H., Autio, K., Flander, L., & Poutanen, K. 2005. Potential of sourdough for healthier cereal products. *Trends Food Science and Technology*. 16, 104–112.

Kim, T.W., Lei, X.G., 2005. An improved method for a rapid determination of phytase activity in animal feed. *J. Anim. Sci.* 83, 1062–1067.

Kirby L, Nelson, T. 1988. Total and phytate phosphorus content of some feed ingredients derived from grains. *Nutr. Reports Intl.* 37: 277-280

Klein, C., Agne, S.A.A. 2012. Fósforo: de nutriente à poluente!. *Rev. Eletrônica Gest., Educ. Tecnol. Ambient.* 8, 1713–1721.

Konietzny U, Greiner R. 2002. Molecular and catalytic properties of phytatedegrading enzymes (phytases). *Int J Food Sci Technol.* 37, 791– 812.

Konietzny, U., & Greiner, R. 2003. Phytic acid: Nutritional impact. In B. Caballero, L. Trugo, & P. Finglas (Eds.), *Encyclopaedia of food science and nutrition*. pp. 4555–4563. London, UK: Elsevier.

Kumar, V., Sinha, A.K., Makkar, H.P.S., Becker, K. 2010. Dietary roles of phytate and phytase in human nutrition: A review. *Food Chem.* 120, 945–959.

Kumar, V., Sinha, A.K., Makkar, H.P.S., Boeck, G. de, Becker, K. 2012. Phytate and phytase in fish nutrition. *J. Anim. Physiol. An. N.* 96, 335–64.

Laudadio, V., Ceci, E., Tufarelli, V. 2011. Productive traits and meat fatty acid profile of broiler chickens fed diets containing micronized fava beans (*Vicia faba L. var. minor*) as the main protein source. *The Journal of Applied Poultry Research.* 20, 12-20.

Laudadio, V., Tufarelli, V. 2011. Dehulled-micronised lupin (*Lupinus albus L. cv. Multitalia*) as the main protein source for broilers: influence on growth performance, carcass traits and meat fatty acid composition. *Journal of the Science of Food and Agriculture.* 91, 2081-2087.

Lewandowski, V. 2015. Digestibilidade de alimentos energéticos suplementados com fitase para o jundiá (*Rhamdia voulezi*). Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

Loewus, F. A.; Murthy, P. P. 2000. Myo-inositol metabolism in plants. *Plant Science.* 150, 1-19.

Loewus, F., A.; Loewus, M., W. 1983. Mio-inositol: its biosynthesis and metabolismo. *Annual Review of Plant Physiology.* 34, 137-161.

Maga, J.A. 1982. Phytate: its chemistry, occurrence, food interactions, nutritional significance, and methods of analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 30, 1-9.

Ministério da Pesca e Aquicultura – MPA – Boletim estatístico da pesca e aquicultura: Brasil-2011. Brasília, 2013, 129p.

Ministério da Pesca e Aquicultura – MPA – Boletim estatístico da pesca e aquicultura: Brasil-2011. Brasília, 2012, 60p.

Morales, G.A., Moyano, F.J., Marquez, L. 2011. In vitro assessment of the effects of phytate and phytase on nitrogen and phosphorus bioaccessibility within fish digestive tract. *Anim. Feed Sci. Tech.* 170, 209–221.

Moreira, J., A.; Vitti, D., M., S., S.; Lopes, J., B.; Trindade Neto, M., A. 2003. Biodisponibilidade e perdas endógenas mínimas de P em dietas com níveis crescentes de fitase para suínos em crescimento pela técnica de diluição isotópica. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.* 55, 350-356.

Nagata, A., K.; Rodrigues, P., B.; Rodrigues, K., F.; Freitas, R., T., F.; Albino, L., F., T., Fialho, E., T. 2009. Uso do conceito de proteína ideal em rações uso do conceito de proteína ideal em rações com diferentes níveis energéticos, suplementadas com fitase para frangos de corte de 1 a 21 dias de idade. *Ciênc. agrotec.* 33, 599-605.

Oliveira, R.C. 2009. O Panorama da Aquicultura no Brasil: A prática com foco na sustentabilidade. *Rev. Int. Toxicol., R. Amb. Soc.* 2, 71–89.

Peil, S.Q.; Pouey, J.L.O.F.; Lopes, P.R.S.; Martins, C.R.; Timm, G. 2007. Adição de vitamina A na dieta de pós-larvas de jundiá (*Rhamdia quelen*). *Biodiversidade Pampeana.* 5, 9-15.

Quirrenbach, H.R., Kanumfre, F., Rosso, N.D., Carvalho Filho, M.A. 2009. Comportamento do ácido fítico na presença de Fe (II) e Fe (III). *Ciênc. Tecnol. Aliment.* 29, 24-32

Ravindran, V., Bryden, W. L., & Kornegay, E. T. 1995. Phytates: Occurrence, bioavailability, and implications in poultry nutrition. *Avian and Poultry Biology Reviews.* 6, 125–143.

Sartori, A.G. de O., Amancio, R. D. 2012. Pescado: importância nutricional e consumo no Brasil. *Seg. Alim. Nutri.* 19, 83–93.

Selle P.H, Ravindran V. 2006. Microbial phytase in poultry nutrition. *Anim Feed Sci Technol.* 135, 1-41.

Signor, A., A. Boscolo, W., R. Feiden, A. Signor, A. 2007. Triguilho na alimentação da tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus* L.): digestibilidade e desempenho. *Ciência Rural.* 37, 1116-1121.

Signor, A., Feiden, A., Boscolo, W. R., Signor, A. A., Gonçalves, G. S., Sary, C., Klein, S. 2013. Eventos reprodutivos do jundiá *Rhamdia voulezi* cultivados em tanques-rede. *Rev. Bras. Reprod. Anim.* 37, 272-277.

Silfvergrip, A., M., C. A systematic revision of the neotropical catfish genus *Rhamdia* (Teleostei, Pimelodidae). Stockholm, Sweden, 1996. 156p. (PhD Thesis) - Department of Zoology, Stockholm University and Department of Vertebrate Zoology, Swedish Museum of Natural History, 1996.

Silva, Y., L., Rodrigues, P., B., Freitas, R., T., F., Zangeronimo, M., G., Fialho, E., T. 2008. Níveis de proteína e fósforo em rações com fitase para frangos de corte, na fase de 14 a 21 dias de idade. 2. Valores energéticos e digestibilidade de nutrientes. *R. Bras. Zootec.* 37, 469-477.

Simons, P.C.M., Versteegh, A.J., Jongbloed, A.W., Kemme, P.A., Slump, P., Bos, K.D., Wolters, M.G.H., Beudeker, R.F., Verschoor, G.J., 1990. Improvement of phosphorus availability by microbial phytase in broilers and pigs. *Br. J. Nutr.* 64, 525–540.

Sindonio, L., Cavalcanti, I., Capanema, L., Morch, R., Magalhães, G., Lima, J., Burns, V., Alves Júnior, A.J., Mungioli, R. 2012. Panorama da aquicultura no Brasil : desafios e oportunidades. *Agroindústria.* 35, 421–463.

Stefan H.; Anja, K.; Edzard, S.; Joerg, B.; Markus, L.; Oskar, Z. 2005. Biotechnological production and applications of phytases. *Appl Microbiol Biotechnol.* 68, 588–97.

Tufarelli, V., Khan, R.U., Laudadio, V. 2011. Feeding of wheat middlings in lamb total mixed rations: Effects on growth performance and carcass traits. *Anim. Feed Sci. Technol.* 170, 130–135.

Vohra, A., & Satyanarayana, T. 2002. Purification and characterisation of a thermostable and acid-stable phytase from *Pichia anomala*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology.* 18, 687–691.

Weremko, D.; Fandrejowski, H.; Zebrowska, T.; Han, K.; Kim, J.; H.; Cho, W, T. 1997. Bioavailability of phosphorus in feeds of plant origin for pigs. *Asian Australasian Journal of Animal Sciences.* 10, 551-566.

Objetivos

Objetivo Geral

Determinar os efeitos da adição de trigoilho em substituição ao milho na ração, com a suplementação da fitase, sobre o desempenho produtivo, composição bromatológica da carcaça, composição mineral dos ossos e morfometria intestinal de juvenis de jundiá *Rhamdia quelen*.

Objetivos específicos

- Avaliar o desempenho produtivo de juvenis de jundiá submetido às dietas a base de milho e trigoilho com e sem a suplementação de fitase;
- Determinar a influência das dietas na composição bromatológica da carcaça de jundiás;
- Verificar a influência das dietas experimentais suplementadas com fitase sobre a composição mineral dos ossos dos peixes;
- Analisar a influência da substituição do milho pelo trigoilho, com ou sem fitase, nas dietas sobre os parâmetros histológicos do intestino de jundiá.

Capítulo 2. Triguilho em dietas suplementadas com fitase para juvenis de jundiá *Rhamdia quelen*

Resumo

Este estudo teve como objetivo avaliar o desempenho produtivo, composição centesimal da carcaça, composição mineral óssea e histomorfometria de intestino de juvenis de jundiás *Rhamdia quelen* alimentados com dietas contendo triguilho suplementadas ou não com fitase. Foram utilizados 288 juvenis com peso médio de $12,78 \pm 2,78$ g distribuídos aleatoriamente em 24 aquários com volume útil de 500 litros em um sistema de recirculação de água. Durante o período experimental de 45 dias, os peixes foram alimentados quatro vezes ao dia até a saciedade aparente com oito dietas isoproteicas e isocalóricas ($3.400 \text{ kcal.kg}^{-1}$ de energia digestível), constituídas por 0; 33; 67 e 100% de substituição do milho pelo triguilho suplementadas com fitase (0 e $1.500 \text{ FTU/kg}^{-1}$). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 4×2 (níveis de suplementação de triguilho x fitase) com oito tratamentos e três repetições, totalizando 24 unidades experimentais. Foram avaliados o desempenho zootécnico, composição química da carcaça, composição mineral óssea e histologia intestinal. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância fatorial ($P < 0,05$) e quando significativas, as médias foram submetidas ao teste de Tukey. Para o desempenho zootécnico, houve influência do alimento no índice de gordura víscero-somática ($P < 0,05$), em que o nível de 100% de substituição apresentou os menores índices. Para a composição química da carcaça, os peixes alimentados com 100 % de triguilho, sem fitase, apresentaram os menores valores de extrato etéreo na carcaça. Na composição mineral óssea, o nível de 100 % de substituição, suplementada com a enzima, apresentou os menores valores de cálcio e manganês. Para a histologia intestinal, diferenças foram observadas nos peixes alimentados com a dieta com 67% de substituição do milho pelo triguilho, sem fitase, para altura do vilo e altura total dos vilos ($P < 0,05$). O número de células calciformes não apresentou diferenças ($P > 0,05$). Conclui-se que o triguilho, independentemente da suplementação enzimática, pode substituir o milho integralmente em dietas para o jundiá sem que ocorram prejuízos sobre o desempenho produtivo, composição química da carcaça, composição mineral óssea e morfologia intestinal.

Palavras-chave: Alimento alternativo, aquicultura, enzima, substituição.

Wheat middling in diets for silver catfish *Rhamdia quelen* juveniles supplemented with phytase

Abstract

This study aimed to evaluate the productive performance, centesimal composition of the carcass, bone mineral composition and intestinal histomorphometry of juveniles of silver catfish *Rhamdia quelen* juveniles fed diets with or without supplemented phytase. We used 288 juveniles with an average weight of 12.78 ± 2.78 g randomly distributed in 24 aquarium with useful volume of 500 liters in water recirculating system. During the period of 45 days the fish were fed four times a day with eight isoproteic and isocaloric diets constituted by 0; 33; 67 and 100% of replacement of corn by wheat middling supplemented with phytase (0 and 1,500 FTU kg⁻¹). The experimental design was completely random in factorial scheme 4x2 (inclusion levels of wheat middling x phytase) with eight treatments and four replications, totalizing 24 experimental units. The zootechnical performance, carcass chemical composition, bone mineral composition and gut histology were evaluated. The data obtained were submitted to analysis of factorial variance ($P < 0.05$) and when significant, the averages were submitted to Tukey test. For zootechnical performance, there was influence of the food in viscerosomatic fat index ($P < 0.05$) where the replacement level of 100% showed lowest index. For carcass chemical composition, fish fed with wheat middling supplemented with phytase showed lowest levels of fat in carcass as well as fish fed with level of 100% without phytase. In the bone mineral composition, the replacement level of 100%, supplemented with the enzyme, showed the lowest values of calcium and manganese. For intestinal histology, differences were observed in fish fed the diet with 67%, without phytase, differ for the others treatments for height villi and total height of villi ($P < 0.05$). The number of goblet cells did not present differences ($P > 0.05$). We can conclude that the wheat middling, independently of the enzymatic supplementation, can wholly replace corn in diets for the silver catfish without occurring zootechnical performance, carcass chemical composition, bone mineral composition and intestinal morphology damages.

Keywords: Alternative food, aquaculture, enzyme, substitution

1. Introdução

É importante o cultivo de espécies nativas para que a produção aquícola apresente valores mais expressivos. No Brasil, o cultivo de espécies nativas com potencial zootécnico apresenta constante crescimento (IBGE, 2016), porém, são necessários estudos para elucidar a falta de informações sobre as mesmas e sobre seus processos produtivos (Beerli et al., 2003). Na região sul do país, o jundiá vem despertando grande atenção de produtores e pesquisadores, por apresentar boas características para criação e produção comercial, crescimento rápido, fácil adaptabilidade a criação intensiva, carne de excelente qualidade com baixo teor de gordura e poucas espinhas, bom rendimento de carcaça e boa aceitação pelos consumidores (Gomes et al., 2000; Signor et al., 2013; Feiden et al., 2010; Diemer et al., 2012; Diemer et al., 2011), fazendo com que a espécie seja um potencial para criação em cativeiro.

É necessário o conhecimento dos diferentes aspectos quanto a nutrição e alimentação do jundiá para que se tenha o sucesso na criação comercial desta espécie, sendo possível fornecer ao animal dietas balanceadas (Radünz-Neto e Borba, 2012). Para que se possa fornecer dietas balanceadas e que proporcionem um bom desempenho zootécnico, é fundamental a utilização de ingredientes de boa qualidade e disponibilidade de nutrientes (Lovell, 1991), que satisfaçam as exigências nutricionais dos animais em suas diferentes fases da vida. Os ingredientes de origem vegetal vêm sendo utilizados em formulações de rações com maior frequência, pois apresentam composição química homogênea, de fácil obtenção de matéria prima e com menor preço em relação a ingredientes de origem animal (Pedron et al., 2008).

Um destes alimentos vegetais que podem ser utilizados na formulação das rações é o trigoilho, que é um subproduto do trigo de menor valor de mercado. Como este alimento não é utilizado na alimentação humana, por apresentar alterações no seu padrão de qualidade e grãos fragmentados, pode ser uma alternativa empregada em dietas para animais (Barbosa et al, 1990), uma vez que o milho, ingrediente comumente adotado como fonte energética em rações, apresentou aumento dos custos relativos a sua produção e, conseqüentemente, os custos relativos a sua aplicação em dietas aumentaram (Correia et al., 2012).

Pelo fato do trigoilho ser um ingrediente de origem vegetal, existem algumas restrições quanto ao seu uso por ele apresentar fatores antinutricionais, alterando assim o aproveitamento dos nutrientes desse alimento, podendo causar crescimento reduzido, piora na conversão alimentar, alterações hormonais e esporádicas lesões nos órgãos (Campestrini et al,

2005). Os mesmos autores citam que a absorção de fósforo oriundo de alimentos vegetais é dificultada pelo fato dele estar ligado ao ácido fítico, pois os animais monogástricos não dispõem de enzimas para degradá-lo e assim aproveitá-lo. Devido a estes fatores, em alguns casos apenas 20% do fósforo total de alimentos vegetais permanecem disponíveis para absorção pelos animais (Kirby e Nelson, 1988).

Dessa forma, uma das soluções para os efeitos negativos do fitato vem da utilização da enzima fitase, que é capaz de eliminar as propriedades antinutricionais do fitato (Campestrini et al, 2005). A fitase é uma fosfatase que disponibiliza o fósforo que está ligado ao ácido fítico (Bock et al, 2007), resultando em um maior aproveitamento deste elemento dos vegetais, diminuindo a necessidade de adição de fósforo inorgânico as dietas, e assim a descarga desse mineral no ambiente aquático (Bock et al, 2006).

Portanto, estudos relacionados à suplementação de fitase em dietas para o jundiá (*Rhamdia quelen*) são necessários, pois animais alimentados com essas dietas podem apresentar maiores índices de desempenho zootécnico e melhor aproveitamento dos nutrientes das dietas fornecidas. Com isso, o objetivo deste estudo foi determinar os efeitos da adição de trigoilho em substituição ao milho na ração, com e sem a suplementação da fitase, sobre o desempenho produtivo, composição química da carcaça, composição mineral óssea e morfologia intestinal de juvenis de jundiá *Rhamdia quelen*.

2. Material e Métodos

2.1 Animais e delineamento experimental

O experimento foi realizado no Laboratório de Aquicultura do Grupo de Estudos de Manejo na Aquicultura – GEMAQ, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Unioeste/*Campus* de Toledo, durante um período de 60 dias. Para tanto, foram utilizados 288 peixes com peso médio de $12,78 \pm 2,78$ gramas, distribuídos em 24 tanques de 500 L com formato cilíndrico e fundo cônico afunilado, dotados de sistema de recirculação e aeração constante por meio de um soprador de ar central.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 4x2, cujo o primeiro fator foram os níveis de inclusão de trigoilho em substituição ao milho na dieta (0; 33; 67 e 100%) (Tabela 1), e o segundo, os níveis de suplementação de fitase (0 e

1500 FTU/kg), com 8 tratamentos e 3 repetições, totalizando 24 unidades experimentais. Cada unidade experimental foi composta por 12 peixes.

2.2 Dietas experimentais

Às dietas foram processadas na fábrica de ração do Grupo de Estudos de Manejo na Aquicultura (GEMAQ) da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, em Toledo (PR). Os ingredientes utilizados foram moídos individualmente em um triturador tipo martelo com peneira de 0,5mm de diâmetro, pesados, misturados manualmente e extrusados em extrusora Ex-Micro[®], secas em estufa de ventilação forçada a 55°C por 24 horas e, após resfriamento, acondicionadas em sacos em condições refrigeradas. Às dietas com a suplementação de fitase, foi adicionado 1500 FTU/kg na ração, na forma de grânulos durante o processo de mistura dos ingredientes. A enzima utilizada (BASF-10000 FTU/Kg) foi produzida através do fungo *Aspergillus niger*, sendo adicionada às dietas conforme indicado por Rocha et al. (2007).

2.3 Procedimento experimental e metodologia da coleta

Os animais foram alimentados quatro vezes ao dia (08:00; 11:00; 14:00 e 17:00 horas) até a saciedade aparente. Após o período experimental de 45 dias, os peixes passaram por um período de jejum de 24 horas para o esvaziamento do trato gastrointestinal e, posteriormente, os animais foram insensibilizados em benzocaína, na dose de 100 mg.L⁻¹ (Gomes et al., 2001) para a realização das medidas individuais de peso (g).

Após a realização da biometria, os peixes foram eutanasiados com o uso de benzocaína na dose de 250 mg.L⁻¹ (Gomes et al., 2001). Foram recolhidos aleatoriamente três peixes por repetição para a retirada do intestino, fígado e gordura víscero-somática. Após este procedimento, os animais foram utilizados para a determinação da matéria mineral dos ossos. O restante dos animais foram destinados para a análise de composição química da carcaça.

Tabela 1.

Composição percentual e química das dietas experimentais ofertadas a juvenis de jundiá *Rhamdia quelen*.

Ingredientes (%)	Níveis de inclusão de trigoilho (%)							
	0	33	67	100	0	33	67	100
	Suplementação de fitase (1500 FTU/kg ⁻¹)							
	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Presente	Presente	Presente	Presente
Peixe. farinha	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00
Soja, farelo	38,81	36,65	34,49	32,33	38,81	36,65	34,49	32,33
Milho, grão ¹	35,35	23,57	11,78	0,00	35,35	23,57	11,78	0,00
Trigoilho ²	0,00	14,42	28,84	43,26	0,00	14,42	28,84	43,26
Óleo de soja	1,40	0,95	0,49	0,04	1,40	0,95	0,49	0,04
Premix ³	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
L-treonina	0,37	0,39	0,40	0,42	0,37	0,39	0,4	0,42
DL-metionina	0,28	0,28	0,27	0,27	0,28	0,28	0,27	0,27
Cloreto Colina	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Vit C ⁴	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Propionato de cálcio	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
BHT ⁵	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
L-lisina	0,04	0,06	0,09	0,11	0,04	0,06	0,09	0,11
L-Triptofano	0,12	0,08	0,04	0,00	0,12	0,08	0,04	0,00
Sal	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Calcário	0,06	0,04	0,02	0,00	0,06	0,04	0,02	0,00
Fitase	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,30	0,30	0,30
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Nutrientes (%)								
Proteína Digestível	29,00	29,00	29,00	29,00	29,00	29,00	29,00	29,00
ED ⁶ Kcal.kg ⁻¹	3400	3400	3400	3400	3400	3400	3400	3400
Cálcio	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16
Fósforo disponível	0,63	0,64	0,64	0,65	0,63	0,64	0,64	0,65
Amido	26,95	27,22	27,5	27,77	26,95	27,22	27,5	27,77
Lisina total	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15
Met + cis	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46
Treonina Total	1,73	1,73	1,73	1,73	1,73	1,73	1,73	1,73
Triptofano Total	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Composição Química (Matéria natural) (%)								
Matéria Seca	89,55	88,64	89,55	89,48	89,69	89,06	89,69	90,03
Energia Bruta (Kcal.kg ⁻¹)	4091	4005	4010	4004	4054	4020	4027	4019
Proteína bruta ⁵	38,98	37,38	36,96	37,92	35,86	36,53	36,92	36,57
Extrato etéreo	3,55	2,94	2,14	1,78	3,98	3,11	2,39	1,55
Matéria Mineral	11,77	12,82	10,29	10,78	12,09	10,62	10,49	10,18

¹Valores de digestibilidade propostos por Signor et al. (2016). ²Valores de digestibilidade propostos por Lewandowski et al. (2017). ³Níveis de garantia por quilograma do produto: vit. A - 500.000 UI; vit. D3 - 250.000 UI; vit. E - 5.000 mg; vit. K3 - 500 mg; vit. B1 - 1.500 mg; vit. B2 - 1.500 mg; vit. B6 - 1.500 mg; vit. B12 - 4.000 mg; ácido fólico - 500 mg; pantotenato de cálcio - 4.000 mg; vit. C - 10.000 mg; biotina - 10 mg; Inositol - 1.000; nicotinamida - 7.000; colina - 10.000 mg; Cobalto - 10 mg; Cobre - 1.000 mg; Ferro - 5.000 mg; Iodo - 200 mg; Manganês - 1500 mg; Selênio - 30 mg; Zinco - 9.000 mg. ⁴Valores sugeridos por Reis et al. (2011). ⁵Butil hidroxi tolueno. ⁶Valores de proteína bruta e energia digestível estabelecidos com base no mínimo proposto por Freitas et al. (2011) e Fracalossi et al. (2002) para o *Rhamdia voulezi*.

2.4 Desempenho zootécnico

A partir dos valores da pesagem dos animais e da quantificação das dietas consumidas foram calculados os parâmetros de desempenho dos peixes, como: ganho em peso (GP (g) = peso final (g) – peso inicial (g)); taxa de crescimento específico (TCE (%) = $100 \times [(\ln \text{ peso final (g)} - \ln \text{ peso inicial (g)}) / \text{período experimental}]$); conversão alimentar aparente (CAA = alimento fornecido (g) / ganho em peso (g)); taxa de eficiência proteica (TEP (%) = $100 \times (\text{ganho em peso} / \text{proteína bruta consumida})$); índice hepatossomático ((%) = $100 \times (\text{peso do fígado, (g)} / (\text{peso corporal final, (g)}))$); índice de gordura víscero-somático ((%) = $100 \times (\text{peso da gordura víscero-somática, g} / (\text{peso corporal final, (g)}))$; e sobrevivência (SOB (%) = (número final de peixes / número inicial de peixes) x 100).

2.5 Análise de composição química da carcaça

Foram realizadas as análises de composição química das dietas e das carcaças de três peixes no Laboratório de Controle de Qualidade em Alimentos (LQA) da Unioeste *campus* Toledo. As amostras das carcaças foram separadas e armazenadas sob refrigeração (-20°C), posteriormente, as mesmas foram pré-secas em estufa a 55 °C por 72 horas. As análises realizadas foram de umidade, através da secagem a 105 °C por 8 horas; proteína bruta, pelo método de Kjeldhal; lipídios, pelo extrator de soxhlet tendo éter como solvente; matéria mineral, através da calcinação das amostras em 550 °C por 6 horas; e energia das rações, realizada por meio de bomba calorimétrica (IKA Basic, 2000), de acordo com a metodologia descrita pela AOAC (2000).

2.6 Análise de minerais

Para análise de minerais nos ossos, três peixes de cada unidade experimental previamente eutanasiados foram mantidos em água aquecida (80 °C) durante dois minutos, retirando-se as vertebrae com auxílio de pinça, lavados com água destilada com auxílio de pincel e secos em estufa (105 °C) durante 12 horas, sendo moídos em micromoinho, conforme metodologia descrita por Furuya et al. (2001).

Para determinação da concentração dos minerais nos ossos, realizou-se a digestão nitro-perclórica para posterior quantificação. Cálcio, cobre, fósforo, magnésio, manganês, e

zinco foram determinados por Espectrometria de Absorção em Chama (FAAS) segundo os procedimentos recomendados no manual do equipamento (Cookbook Shimadzy, 2002) no Departamento de Química e Bioquímica do Instituto de Biociências da UNESP, *campus* Botucatu-SP.

2.7 *Histologia intestinal*

Para a determinação da histomorfometria das vilosidades intestinais, realizou-se a metodologia proposta por Mello et al. (2013), no qual foram recolhidas porções transversais de aproximadamente 5 cm de comprimento do intestino médio. Posteriormente, as amostras foram fixadas em solução Alfac por seis horas. Após este período, foram conservadas em álcool 70 % para a retirada do fixador até seu processamento. Os tecidos histológicos foram desidratados em concentrações ascendentes de álcoois, clarificadas em xilol e emblocadas em parafina. Os cortes foram obtidos através de seções seriadas de 5 μ m de espessura, corados pelo método de Hematoxilina-Eosina (HE) (Bancroft e Stevens, 1982) e também com o método PAS (ácido periódico de Schiff) + *alcian blue* (AB) pH 2,5 (Bancroft e Gamble, 2002). Em seguida, foi realizada a foto documentação (captura de imagens) através do fotomicroscópio em objetiva de 10X, com o auxílio do *software* de imagens computadorizado cellSens Standard 1.15[®]. Foram analisados 15 vilos por animal mensurando a altura, que corresponde a distância do ápice das vilosidades até o término da serosa, a altura total dos vilos, que corresponde à distância do ápice das vilosidades até o início da camada muscular, e contagem de células caliciformes (Figura 5), perfazendo um total de 135 medidas por tratamento.

2.8 *Qualidade da água*

Os valores dos parâmetros físicos e químicos da água durante o período experimental foram 26,9 \pm 0,10 °C, 6,39 \pm 0,37 mg.L⁻¹ e 7,02 \pm 0,03, para temperatura, oxigênio dissolvido e pH, respectivamente. A temperatura foi mensurada diariamente através de um termômetro digital e os demais parâmetros foram mensurados semanalmente através de um multiparâmetro, modelo YSI 556. Estes valores estão dentro das condições que preconizam Gomes et al. (2000) para a criação da espécie em estudo.



Figura 5. Parede do intestino medial do jundiá. Letra A= altura do vilão; Letra B= altura total do vilão. Seta vermelha representa uma célula caliciforme. Alcian blue, objetiva 10x.

2.9 Estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de normalidade e homocedasticidade e atendendo a esses pressupostos, foram submetidos a análise de variância fatorial, ao nível de significância de 5% ($P < 0,05$), a fim de observar diferenças na interação entre o milho e o trigo, na substituição do milho pelo trigo e na suplementação da enzima. O teste de médias foi realizado apenas para a interação quando esta foi significativa, excluindo os efeitos isolados. Ao se constatar diferenças ($p < 0,05$) foi realizado o teste de comparação de médias, através do teste de Tukey com o auxílio do *software* Statistica 7.0[®] (Statsoft, 2004).

3. Resultados

3.1 Desempenho zootécnico

As variáveis de ganho em peso (GP), conversão alimentar aparente (CAA), taxa de crescimento específico (TCE), taxa de eficiência proteica (TEP), índice hepatossomático (IHS) e sobrevivência (SOB) não apresentaram interação entre os fatores, diferenças entre a substituição de milho por trigo e também sobre a suplementação da enzima ($P > 0,05$) (Tabela 2). O índice de gordura víscero-somático (IGVS) apresentou diferenças somente para a substituição de milho por trigo ($P < 0,05$) (Tabela 2). Na substituição do milho pelo trigo, o nível de 100 % de substituição apresentou os menores valores de IGVS, diferindo dos peixes alimentados com os tratamentos 0, 33 e 67% (Tabela 2).

Tabela 2.

Desempenho zootécnico de juvenis de jundiás *Rhamdia quelen* alimentados com dietas contendo níveis crescentes de substituição do milho por trigo suplementadas com fitase.

Variáveis*	Fitase	Níveis de inclusão de trigo (%)				Probabilidade (p -valor)		
		0	33	67	100	F ¹⁰	AL ¹¹	I ¹²
GP ¹ (g)	A ⁸	28,10± 3,41	22,04 ± 0,94	25,16 ± 5,02	21,12 ± 2,89	Ns	Ns	Ns
	P ⁹	29,78±4,47	21,65 ± 3,19	24,76 ± 7,73	31,96 ± 7,26			
CAA ²	A	1,32 ± 0,60	2,13 ± 0,57	2,31 ± 1,10	1,63 ± 0,40	Ns	Ns	Ns
	P	1,29 ± 0,23	2,37 ± 0,52	1,41 ± 0,20	1,55 ± 0,16			
TCE ³ (%)	A	2,47 ± 0,11	1,78 ± 0,67	2,30 ± 0,18	2,07 ± 0,37	Ns	Ns	Ns
	P	2,55 ± 0,18	2,10 ± 0,10	2,25 ± 0,51	2,29 ± 0,10			
TEP ⁴ (%)	A	1,38±0,17	0,86 ± 0,31	1,23 ± 0,25	1,04 ± 0,14	Ns	Ns	Ns
	P	1,46±0,22	1,11 ± 0,11	1,35 ± 0,26	1,51 ± 0,39			
IHS ⁵ (%)	A	2,16±0,26	1,73±0,07	2,11±0,15	2,11±0,43	Ns	Ns	Ns
	P	1,95±0,21	2,13±0,24	2,01±0,46	2,62±0,52			
IGVS ⁶ (%)	A	0,94±0,07 ^A	1,47±0,53 ^A	1,04±0,35 ^A	0,54±0,16 ^B	Ns	0,01	Ns
	P	1,55±0,26 ^A	1,20±0,45 ^A	1,05±0,10 ^A	0,47±0,13 ^B			
SOB ⁷ (%)	A	90,00±14,14	56,67 ± 36,82	70,00 ± 28,28	83,33 ± 12,47	Ns	Ns	Ns
	P	100,00 ± 0,00	66,67 ± 28,67	86,67 ± 4,71	66,67 ± 28,67			

*O teste de Tukey foi realizado apenas para a interação quando esta foi significativa. ¹Ganho em peso;

²Conversão alimentar aparente; ³Taxa de crescimento específico; ⁴Taxa de eficiência proteica; ⁵Índice hepatossomático; ⁶Índice de gordura víscero-somático; ⁷Sobrevivência; ⁸Ausente; ⁹Presente; ¹⁰Fitase;

¹¹Alimento; ¹²Interação.

Valores (médias±desvio padrão) seguidos por letras maiúsculas distintas na mesma linha significa que houve diferença estatística ($P<0,05$) entre os níveis de substituição do milho pelo trigoilhho.

Valores (médias±desvio padrão) seguidos por letras minúsculas distintas na mesma coluna significa que houve diferença estatística ($P<0,05$) entre a suplementação de fitase.

3.2 Análise de composição química da carcaça

A umidade não apresentou interações entre os fatores e na suplementação de fitase ($P>0,05$), porém apresentou diferenças na substituição do milho pelo trigoilhho ($P<0,05$). Os maiores valores foram evidenciados no nível de 100% de substituição e os menores valores nos níveis 0 e 67 % de substituição. A variável de proteína não apresentou interação entre os fatores ($P>0,05$), como também não apresentou diferenças para a substituição do milho pelo trigoilhho e suplementação da enzima fitase ($P>0,05$). O extrato etéreo apresentou interação entre os fatores e diferenças na substituição do milho pelo trigoilhho ($P<0,05$). O nível de 100%, sem fitase, apresentou os menores valores para esta variável e os níveis 0%, com fitase e 33%, sem fitase, apresentaram os maiores valores de extrato etéreo. A variável de matéria mineral apresentou diferenças para a interação entre os fatores ($P<0,05$), porém não houve diferenças entre as médias dos tratamentos (Tabela 3).

Tabela 3.

Composição centesimal da carcaça de juvenis de jundiás alimentados com dietas contendo níveis crescentes de trigoilhho em substituição ao milho suplementadas com fitase.

Variáveis*	Fitase	Níveis de inclusão de trigoilhho (%)				Probabilidade		
		0	33	67	100	F ³	AL ⁴	I ⁵
Umidade (%)	A ¹	75,64±0,45 ^B	75,53±0,61 ^{AB}	75,64±0,51 ^B	77,33±0,30 ^A	Ns	0,01	Ns
	P ²	75,59±0,51 ^B	76,36±0,34 ^{AB}	75,29±0,92 ^B	76,43±0,59 ^A			
Proteína (%)	A	17,15±0,58	16,53±0,33	16,71±0,01	16,84±0,31	Ns	Ns	Ns
	P	16,40±0,12	16,45±0,24	17,78±1,35	15,79±0,61			
Extrato etéreo (%)	A	6,04±0,38 ^{AB}	6,67±0,88 ^A	5,75A±0,24 ^{AB}	4,43±0,22 ^B	Ns	0,01	0,03
	P	6,29±0,60 ^A	5,20±0,22 ^{AB}	5,28±0,83 ^{AB}	5,27±0,28 ^{AB}			
Matéria mineral (%)	A	3,29±0,25 ^A	3,50±0,05 ^A	3,22±0,05 ^A	3,39±0,24 ^A	Ns	Ns	0,02
	P	3,20±0,17 ^A	3,09±0,08 ^A	3,43±0,10 ^A	3,55±0,04 ^A			

*O teste de Tukey foi realizado apenas para a interação quando esta foi significativa. ¹Ausente; ²Presente;

³Fitase; ⁴Alimento; ⁵Interação.

Valores (médias±desvio padrão) seguidos por letras maiúsculas distintas na mesma linha significa que houve diferença estatística ($P<0,05$) entre os níveis de substituição do milho pelo trigoilhho.

Valores (médias±desvio padrão) seguidos por letras minúsculas distintas na mesma coluna significa que houve diferença estatística ($P<0,05$) entre a suplementação de fitase.

3.3 Análise de minerais

Para o cálcio (Ca), houve interação entre os fatores e diferenças na substituição do milho pelo trigoilho ($P < 0,05$). Os maiores valores de cálcio foram evidenciados nos tratamentos 33 e 100 %, sem fitase e 0, 33 e 67 %, com fitase. Os menores valores de cálcio foram encontrados no tratamento 100 %, com fitase. O manganês (Mn) apresentou interação entre os fatores e diferenças na substituição de milho pelo trigoilho ($P < 0,05$). O nível de 33 % de substituição, sem fitase, apresentou os maiores valores para este mineral e o nível de 100 %, com fitase, os menores valores. O cobre (Cu), magnésio (Mg), fósforo (P) e zinco (Zn) não apresentaram diferenças ($P > 0,05$) para interação entre os fatores, pela substituição de milho por trigoilho e para a suplementação da enzima (Tabela 4).

Tabela 4.

Composição mineral óssea de juvenis de jundiás *Rhamdia quelen* alimentados com dietas com níveis crescentes de substituição do milho pelo trigoilho suplementadas com fitase.

Variáveis*	Fitase	Níveis de inclusão de trigoilho (%)				Probabilidade (<i>p</i> -valor)		
		0	33	67	100	F ⁹	AL ¹⁰	I ¹¹
Ca(mg/g) ¹	A ⁷	84,86±8,83 ^{AB}	93,53±4,37 ^A	83,01±3,38 ^{AB}	88,22±1,80 ^A	Ns	0,009	0,007
	P ⁸	86,63±1,73 ^A	89,18±2,34 ^A	88,04±2,12 ^A	70,98±3,58 ^B			
Cu(mg/g) ²	A	0,07±0,05	0,07±0,08	0,09±0,01	0,09±0,04	Ns	Ns	Ns
	P	0,09±0,02	0,08±0,02	0,10±0,07	0,09±0,04			
Mg(mg/g) ³	A	0,69±0,22	0,61±0,10	0,84±0,08	0,85±0,14	Ns	Ns	Ns
	P	0,90±0,14	0,83±0,11	0,58±0,14	0,81±0,04			
Mn(mg/g) ⁴	A	0,05±0,03 ^{AB}	0,09±0,01 ^A	0,04±0,02 ^{AB}	0,06±0,01 ^{AB}	Ns	0,04	0,03
	P	0,06±0,01 ^{AB}	0,07±0,01 ^{AB}	0,08±0,02 ^{AB}	0,03±0,01 ^B			
P(mg/g) ⁵	A	107,05±7,46	106,66±16,18	100,33±14,41	95,85±1,40	Ns	Ns	Ns
	P	98,48±1,32	92,71±3,57	100,04±8,89	90,36±1,46			
Zn(mg/g) ⁶	A	0,04±0,02	0,06±0,01	0,03±0,02	0,04±0,02	Ns	Ns	Ns
	P	0,03±0,01	0,05±0,02	0,04±0,01	0,02±0,01			

*O teste de Tukey foi realizado apenas para a interação quando esta foi significativa. ¹Cálcio; ²Cobre; ³Magnésio; ⁴Manganês; ⁵Fósforo; ⁶Zinco; ⁷Ausente; ⁸Presente; ⁹Fitase; ¹⁰Alimento; ¹¹Interação

Valores (médias±desvio padrão) seguidos por letras maiúsculas distintas na mesma linha significa que houve diferença estatística ($P < 0,05$) entre os níveis de substituição do milho pelo trigoilho.

Valores (médias±desvio padrão) seguidos por letras minúsculas distintas na mesma coluna significa que houve diferença estatística ($P < 0,05$) entre a suplementação de fitase.

3.4 Histologia intestinal

A análise de histomorfometria do intestino de jundiás apresentou apenas interação entre os fatores nas variáveis de altura e altura total dos vilos ($P < 0,05$). Em ambas as variáveis, o nível de 67 % de inclusão do trigoilho na dieta, sem fitase, diferiu do mesmo nível, com a suplementação da enzima. Os demais níveis não diferiram entre si. Não houve interação entre os fatores, diferenças na substituição de milho por trigoilho e também na suplementação da enzima ($P > 0,05$) sobre o número de células caliciformes nas vilosidades intestinais de jundiás (Tabela 5).

Tabela 5.

Histomorfometria do intestino de juvenis de jundiás *Rhamdia quelen* alimentados com dietas com níveis crescentes de substituição do milho pelo trigoilho suplementadas com fitase.

Variáveis*	Fitase	Níveis de inclusão de trigoilho (%)				Probabilidade (p-valor)		
		0	33	67	100	F ³	AL ⁴	I ⁵
Altura do vilo (µm)	A ¹	378,23±56,75 ^{AB}	377,24±68,80 ^{AB}	226,68±36,11 ^B	362,70±38,53 ^{AB}	Ns	Ns	0,02
	P ²	379,58±26,87 ^{AB}	342,54±40,90 ^{AB}	391,54±28,69 ^A	343,61±54,13 ^{AB}			
Altura total do vilo (µm)	A	471,3±69,20 ^{AB}	456,68±76,83 ^{AB}	302,09±28,22 ^B	449,20±39,59 ^{AB}	Ns	Ns	0,03
	P	479,38±41,65 ^{AB}	432,45±43,24 ^{AB}	496,34±46,70 ^A	438,64±70,66 ^{AB}			
Nº de Células Caliciformes	A	52,89±11,13	51,5±6,01	35,99±3,74	47,78±11,88	Ns	Ns	Ns
	P	41,48±2,38	44,4±0,77	58,59±25,46	48,33±10,14			

*O teste de Tukey foi realizado apenas para a interação quando esta foi significativa. ¹Ausente; ²Presente; ³Fitase; ⁴Alimento; ⁵Interação

Valores (médias ± desvio padrão) seguidos por letras maiúsculas distintas na mesma linha significa que houve diferença estatística ($P < 0,05$) entre os níveis de substituição do milho pelo trigoilho.

Valores (médias ± desvio padrão) seguidos por letras minúsculas distintas na mesma coluna significa que houve diferença estatística ($P < 0,05$) entre a suplementação de fitase.

4. Discussão

4.1 Desempenho zootécnico

O fósforo, dentre os minerais, apresenta grande importância para o crescimento, mineralização óssea e no metabolismo de lipídios (Pezzato et al., 2006). Pode-se dizer que neste estudo o fósforo foi direcionado para o metabolismo de lipídios, uma vez que os peixes apresentaram diferenças apenas para o índice de gordura visceral ($P < 0,05$) (Tabela 3).

Diversos autores vem estudando a influência da utilização da fitase em dietas e determinando seu nível ideal de suplementação para as diferentes espécies. Para aquelas de hábito alimentar onívoro, como a tilápia tilápia-do-Nilo, pacu e tambaqui, são sugeridos a suplementação mínima de 1000; 433,33; e 2185 FTU/ kg⁻¹, respectivamente, em dietas contendo ingredientes vegetais (Portz e Liebert, 2005; Furuya et al., 2008; Mendonça et al., 2012). A melhora no desempenho produtivo dos animais alimentados com dietas contendo a inclusão da fitase está relacionado aos seus efeitos positivos sobre a digestibilidade proteica e disponibilidade de minerais e, conseqüentemente, seu favorecimento na absorção intestinal destes nutrientes (Rocha et al., 2007).

Para o jundiá, Rocha et al. (2007), recomenda a adição de 1500 FTU/kg⁻¹ em dietas a base de ingredientes vegetais para melhores respostas de ganho em peso e taxa de crescimento específico. Neste estudo, a não influência da fitase sobre as outras variáveis de desempenho pode ser explicado devido ao trigo e seus derivados apresentarem alto teor de fitase endógena em sua composição, que pode variar entre 928 e 1565 FTU/kg⁻¹ (Godoy et al., 2005), inibindo assim o efeito do ácido fítico sobre a quelação de nutrientes, através da fitase endógena do ingrediente (Signor et al., 2016; Lewandowski et al., 2017).

Além disso, mesmo o jundiá sendo considerado um peixe onívoro, apresenta tendência à carnivoría, pois sua morfologia gastrintestinal é semelhante a de peixes carnívoros, implicando em uma menor capacidade de digerir fontes de amido se comparado a outras espécies onívoras, como tilápia, pacu e tambaqui (Rodrigues et al., 2012). Não há informações sobre a quantidade de amido do trigoilho, contudo, como este alimento é composto de grãos menores de trigo e considerando o teor de amido desse cereal, de 54,93 %, quantidade inferior em relação a outros ingredientes vegetais, como por exemplo, o milho (63 %), comumente utilizado em dietas para peixes, tornando o trigoilho um ingrediente viável na utilização em dietas para o jundiá sem que ocorram prejuízos zootécnicos.

Para espécies como a tilápia-do-Nilo, salmão do Atlântico e truta arco-íris, a utilização de trigoilho nas dietas não comprometeu o desempenho produtivo dos peixes, demonstrando que este ingrediente pode ser utilizado nas dietas (Signor et al., 2007; Hughes, 1990; Hilton e Slinger, 1983). O trigoilho apresenta valores digestíveis de energia, proteína e fósforo mais elevado do que o milho para o jundiá (Signor et al., 2016; Lewandowski et al., 2017; Oliveira Filho e Fracalossi, 2006), e o milho apresenta valores mais elevados de amido em sua composição comparado ao trigo e seus derivados (Rostagno et al., 2011). Mesmo com diferenças em suas composições químicas, apenas o índice de gordura víscero-somática apresentou diferenças para o alimento ($p < 0,05$), em que o nível de 100 % de substituição

apresentou os menores valores para esta variável. A maior deposição de gordura visceral encontrada nos peixes alimentados com as dietas de 0, 33 e 67 %, pode ser explicado pelo fato de que estas dietas necessitaram de uma maior suplementação de óleo de soja para complementar seu conteúdo energético e, visto que, dietas contendo carboidratos com alto teor de lipídios podem aumentar o conteúdo de gordura visceral e corporal (Erfanullah, 1998). Como o trigoilho apresenta valores de energia digestível maior que o milho (Signor et al., 2016; Lewandowski et al., 2017), as dietas que continham a substituição total de milho pelo trigoilho necessitaram de uma menor adição de óleo de soja e, conseqüentemente, ocorreu uma menor deposição de gordura visceral nos peixes alimentados com estas dietas.

Outro fator que pode ter influenciado a maior deposição de gordura visceral nos peixes alimentados com as dietas 0, 33 e 67 % pode estar relacionado ao fato de que o milho apresenta menos fósforo disponível em sua composição do que o trigoilho (0,20 x 0,39 %, respectivamente) (Signor et al., 2016; Lewandowski et al., 2017) e, como este mineral atua na oxidação de ácidos graxos e glicogênese, nas dietas contendo substituição total do milho pelo trigoilho, a maior disponibilidade de fósforo proporcionou uma maior oxidação de ácidos graxos (Eya e Lovell, 1997).

4.2 Análise de composição química da carcaça

A fitase proporciona uma maior disponibilidade de nutrientes do milho pelo fato de atuar sobre o fitato, disponibilizando mais energia ao animal (Signor et al., 2016). Possivelmente esta maior energia acarretou em maior deposição de extrato etéreo na carcaça dos animais alimentados com as dietas sem a substituição de milho pelo trigoilho, suplementadas com fitase, visto que quando há excesso de energia proveniente da dieta ocorre o aumento do conteúdo de extrato etéreo da carcaça (Sá e Fracalossi, 2002).

Para o nível de substituição de 100 %, sem a suplementação da enzima, ocorreu a menor deposição lipídica na carcaça. Tal fato pode ter ocorrido devido ao trigoilho apresentar mais fósforo disponível em sua composição do que o milho e este participar no metabolismo dos lipídios, reduzindo os valores de gordura da carcaça dos peixes. Esta condição também foi notada por Eya e Lovell (1997), em estudo para avaliar diferentes níveis de fósforo na dieta para o bagre do canal (*Ictalurus punctatus*), onde os autores observaram que a medida que aumentava os níveis de fósforo nas dietas, ocorria a diminuição de deposição de gordura visceral e muscular, afirmando que o fósforo foi o responsável por tal acontecimento através

da β -oxidação de ácidos graxos e aumento da glicogênese e, paralelamente a isso, ocorreu um aumento da proteína muscular, devido ao fato de que o fósforo apresenta capacidade de retenção de nitrogênio e, conseqüentemente, o incremento proteico.

Rocha et al. (2007), em estudo para avaliar a ação da fitase em jundiás (*Rhamdia quelen*), também observaram a ocorrência de diminuição do conteúdo lipídico a medida que aumentaram os níveis de fitase nas dietas. Contudo, não foi notado o aumento dos níveis de proteína, conforme relatado por Eya e Lovell (1997), fato que também não ocorreu no presente estudo. Possivelmente, as dietas utilizadas neste estudo e no realizado por Rocha et al. (2007) atenderam as exigências proteicas para esta espécie (Freitas et al., 2011), uma vez que as dietas utilizadas nos dois experimentos continham valores semelhantes de proteína bruta (aproximadamente 37 %).

Bock et al. (2006), em estudo com a suplementação de diferentes níveis de fitase sobre a digestibilidade de nutrientes para a tilápia-do-Nilo, verificaram que o valor de 1500 FTU/kg⁻¹ proporcionou os melhores coeficientes de digestibilidade de proteína, afirmando que esta melhora na digestibilidade deve ser considerada para que se tenham satisfatórias respostas zootécnicas e menor excreção de nitrogênio. Todavia, no presente estudo, a suplementação desta enzima não proporcionou diferenças nos teores de proteína na carcaça dos jundiás. Situação também notada por Bock et al. (2007), onde os autores não evidenciaram diferenças para este parâmetro em tilápias alimentadas com quatro níveis de fitase nas dietas (0; 1000; 1500; 2000 FTU/kg⁻¹). Danwitz et al. (2016), em estudo para avaliar a suplementação de fitase em dietas a base de proteína de colza, também não encontraram diferenças para esta variável, entretanto, os autores afirmam que a utilização de fitase em dietas é uma ferramenta útil para melhorar o desempenho dos peixes e diminuir o impacto ambiental da produção que utilizam dietas com fontes vegetais, devido a uma melhor digestibilidade e utilização dos nutrientes.

Pezzato et al. (2006), em estudo para determinar a exigência de fósforo para a tilápia-do-Nilo, verificaram que a inclusão de fósforo na dieta diminui a composição lipídica da carcaça. Os autores citam que níveis de até 0,61 % de fósforo nas dietas promovem aumento da proteína bruta na carcaça de tilápia. Afirmam ainda que níveis acima destes valores acarretam em menor deposição proteica na carcaça dos peixes. Satoh et al. (1996), em estudo com trutas, também relataram menor deposição de proteínas na carcaça quando os peixes foram alimentados com excesso de fósforo nas dietas. Pode-se afirmar que o nível de fósforo utilizado neste estudo atendeu a exigência para o jundiá, promovendo boa síntese proteica

visto que os níveis de proteína da composição da carcaça não apresentaram diferenças entre os tratamentos.

A disponibilidade de nutrientes em dietas com ingredientes vegetais pode ser comprometida pelo poder de quelação do ácido fítico, uma vez que este apresenta capacidade de se ligar com alguns minerais, proteínas, carboidratos e lipídios (Vohra & Satyanarayan, 2002; Konietzny & Greiner, 2003; Ravindran et al., 1995), através de suas cargas negativas, que se ligam a moléculas carregadas positivamente (Graf e Eaton, 1990), reduzindo a disponibilidade de alguns minerais. Entretanto, esta condição não foi constatada neste estudo, visto que não foram evidenciadas diferenças entre as médias dos tratamentos para a variável de matéria mineral da carcaça e os valores deste experimento são semelhantes aos estudos realizados por Goes et al. (2015) e Feiden et al. (2010) para o jundiá.

4.3 Análise de minerais

Os peixes alimentados com a dieta contendo a substituição total do milho pelo trigoilho, suplementada com a enzima, apresentou os menores valores de cálcio na composição óssea. O fato de que o fósforo e o cálcio competem pelo mesmo sítio de absorção, por possuírem propriedades físicas e químicas semelhantes, pode explicar esta menor deposição de cálcio, uma vez que o excesso de fósforo prejudica a absorção e mineralização óssea deste mineral (Buzinaro et al., 2006).

Tal fato também foi notado sobre a deposição de manganês nos ossos dos peixes, em que provavelmente o aumento da disponibilidade de fósforo, proporcionado pela ação da enzima sobre o ácido fítico, culminou na menor deposição de manganês nos peixes alimentados com as dietas contendo a substituição total do milho por trigoilho, com fitase. Este resultado corrobora com Satoh et al. (1992), os quais afirmam que o aumento da disponibilidade de fósforo na dieta reduz a mineralização óssea de manganês e zinco em carpas comum (*Cyprinus carpio*). Entretanto, não foram evidenciadas diferenças na deposição de zinco nos ossos dos jundiás. Em contraste aos resultados do presente estudo, trutas arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) alimentadas com dietas contendo fitase para disponibilizar mais fósforo aos peixes, não apresentaram diferenças na composição óssea para os minerais de zinco e manganês (Vielma et al., 1998). Porém, os autores afirmam que as dietas utilizadas continham níveis de Mn e Zn acima da exigência para a truta arco-íris, o que pode ter

influenciado os valores de disponibilidade destes minerais e, com isso, a deposição destes minerais nos ossos de trutas não diminuiu mesmo com o excesso de fósforo nas dietas.

A adição da fitase em dietas aumenta a concentração dos minerais como magnésio, cálcio, fósforo e zinco no plasma, ossos e no corpo das trutas arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) (Vielma et al., 1998). Para o jundiá, Lewandowski et al. (2017), encontraram melhoras na digestibilidade do trigoilho sobre os minerais de cálcio e cobre, quando as dietas foram suplementadas com fitase (1500 FTU/kg⁻¹), entretanto, para o ferro, fósforo e magnésio, a enzima não melhorou a digestibilidade, quando comparado as dietas sem sua suplementação.

A suplementação da enzima fitase não influenciou sobre a deposição de fósforo nos ossos de jundiás quando comparado as dietas que não continham a enzima (Tabela 4). Possivelmente, a maior disponibilidade de fósforo proporcionada pela fitase nas dietas foi direcionada ao metabolismo dos lipídios, visto que os peixes alimentados com as dietas com a presença da enzima apresentaram menor deposição lipídica na carcaça, bem como menor índice de gordura nas vísceras, condição também encontrada por Pezzato et al. (2006) para a tilápia-do-Nilo. Furuya et al. (2001), verificaram que a inclusão a partir de 500 FTU/kg⁻¹ nas dietas aumenta a deposição de fósforo, cálcio e magnésio nos ossos de tilápias, entretanto, a adição de 3000 FTU/kg⁻¹ apresentou efeito contrário. Os autores estimaram que a inclusão de 702 e 688 FTU/kg⁻¹ de fitase, proporciona máxima disponibilidade de cálcio e fósforo, respectivamente, afirmando que a inclusão da enzima em dietas, além de proporcionar maior absorção e disponibilidade destes minerais, aumenta a digestibilidade da proteína, favorecendo o desempenho e diminuindo a descarga de nutrientes para o meio aquático e, conseqüentemente, sua eutrofização.

Em relação ao cobre e magnésio, pode-se observar que a inserção da fitase nas dietas não influenciou na deposição destes minerais nos ossos de jundiás. Lewandowski et al. (2017), em estudo para a mesma espécie, não evidenciaram que a fitase aumenta a digestibilidade de magnésio. Os resultados deste estudo estão de acordo com Satoh et al. (1992), no qual os autores também não encontraram influência nos níveis de magnésio nos ossos de carpa comum (*Cyprinus carpio*) quando as dietas continham elevado níveis de fósforo. O ácido fítico possui alta capacidade de quelação com o cobre (Vohra et al., 1965). A literatura descreve que altas concentrações de cobre na dieta resultam em diminuição no ganho em peso, menor crescimento e piora na conversão alimentar (Watanabe et al., 1997). Sabe-se que a fitase promove uma maior absorção de cobre por parte do trigoilho para os jundiás (Lewandowski et al., 2017), entretanto, no presente estudo, não foram observadas diferenças sobre estes parâmetros e sobre a deposição de cobre nos ossos, mesmo o trigoilho

apresentando mais cobre em sua composição, quando comparado ao milho ($21,8 \times 2,9 \text{ mg.kg}^{-1}$, respectivamente). Ferrari et al. (2004) também não encontraram diferenças para a deposição de cobre nos ossos de tilápias-do-Nilo mesmo em dieta contendo com uma dosagem alta (320 mg.kg^{-1}), indicando que o fígado é o maior depósito deste mineral e, que altas dosagens podem causar alterações hepáticas, como aumento excessivo, manchas e coloração opaca. Todavia, neste estudo, não foram observadas diferenças para o índice hepatossomático.

4.4 Histologia intestinal

As vilosidades intestinais apresentam função de absorver nutrientes, contudo, sua atividade pode ser dificultada na presença de fatores antinutricionais (Mueller-Harvey & McAllan, 1992). Dentre eles, o ácido fítico é um dos mais estudado na nutrição animal devido ao seus efeitos sobre a disponibilidade de alguns minerais e também proteínas no intestino (Selle et al., 2009). No presente estudo, o nível de substituição de 67 % de milho por trigoilho, sem a suplementação da fitase, foi o que apresentou os menores valores de altura e altura total do vilão ($P < 0,05$). Morales et al. (2013) afirmam que o intestino pode apresentar diferenças por diversos fatores, dentre eles o tamanho do peixe. Esta pode ser a explicação para o presente estudo, visto que os peixes foram escolhidos de forma aleatória para a análise histológica. Outro fator que pode corroborar com esta afirmativa é que o número de células caliciformes do tratamento 67%, sem fitase, não diferiu dos demais ($P > 0,05$) e, as células caliciformes são um indicativo de alterações histológicas (Schwarz et al., 2010). Para os outros níveis de substituição, com ou sem a suplementação da enzima fitase, não foram encontradas diferenças ($P > 0,05$), indicando que o ácido fítico presente no trigoilho não acarretou em alterações histológicas no intestino de jundiás. A suplementação da fitase nas dietas ou a fitase endógena presente no trigoilho pode ter quebrado os ortofosfatos ligados ao fitato (Kumar et al., 2012), disponibilizando o fósforo e outros minerais aos peixes, contribuindo para o não aparecimento de alterações histológicas intestinais.

As células caliciformes tem como função a produção de muco e secreção de glicoproteínas para a proteção do epitélio intestinal contra patógenos intestinais (Schwarz et al., 2010; Macari et al., 2002). Schwarz et al. (2010) afirmam que estas células são mais ativas ou em maior quantidade quando há a presença de patógenos. Os peixes alimentados com as diferentes dietas não apresentaram diferenças para o número de células caliciformes ($P > 0,05$), sugerindo que durante a fase experimental o ácido fítico presente no milho e no trigoilho não apresentaram capacidade de alteração no número destas células.

5. Conclusão

O trigoilho pode substituir em sua totalidade o milho em dietas para juvenis de jundiá *Rhamdia quelen*, independente da suplementação de fitase, sem que ocorram déficit em seu desempenho zootécnico, composição química da carcaça, composição mineral óssea e morfometria intestinal.

6. Referências

- AOAC (Association of Official Analytical Chemists), 2000. Official methods of analysis of the Association Analytical Chemists. 18.ed. Gaithersburg, Maryland.
- Bancroft, J. D., Stevens, A. 1982. Theory and practice of histological methods. 2 ed. New York: Churchill Livingstone, 662p.
- Bancroft, J. D., Gramble, M. 2002. Theory and practice of histological techniques. New York: Churchill Livingstone, 796p.
- Barbosa, H.P., Fialho, E.T., Lima, G.J.M.M., Ferreira, A.S. 1990. Triguilho na alimentação de suínos. Concórdia: EMBRAPA – CNPSA, p.1-3. (Comunicado técnico).
- Bargo, F., Delahoy, J.E., Schroeder, G.F., Muller, L.D., 2006. Milk fatty acid composition of dairy cows grazing at two pasture allowances and supplemented with different levels and sources of concentrate. Anim. Feed Sci. Technol. 125, 17–31.
- Beerli, E. L., Logato, P. V. R., Freitas, R. T. F. 2003. Alimentação e comportamento de larvas de pacu, *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887). Ciência e Agrotecnologia. 28, 149-155.
- Bergamin, G.T., Neto, J.R., Emanuelli, T., Lazzari, R., Maschio, D., Knapp, V. 2010. Substituição da farinha de carne suína por fontes vegetais em dietas para carpa-húngara. Pesquisa Agropecuária brasileira. 45, 1189-1197.
- Bock, C.L., Pezzato, L.E., Cantelmo, O.A., Barros, M.M. 2006. Fitase e digestibilidade aparente de nutrientes de ração por tilápias-do-nilo. Rev. Bras. Zootec. 35, 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. Rev. Bras. Zootec. 36, 1455–1461.
- Boscolo, W.R., Signor, A., Freitas, J.M.A. de, Bittencourt, F., Feiden, A. 2011. Nutrição de peixes nativos. Rev. Bras. Zootec. 40, 145–154.
- Buzinaro, E. F., Almeida, R. N., & Mazeto, G. M. F. D. S. 2006. Biodisponibilidade do cálcio dietético. Arquivos Brasileiros de Endocrinologia & Metabologia. 50, 852-861.
- Campestrini, E., Da Silva, V. T. M., AppelT, M. D. 2005. Utilização de enzimas na alimentação animal. Revista Eletrônica Nutritime. 2, 259-272.
- Corrêia, V., Silva, L.P., Pedron, F.A., Lazzari, R., Ferreira, C.C., Radünz-Neto, J. 2012. Fontes energéticas vegetais para juvenis de jundiá e carpa. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia. 64, 693-701.

Danwitz, V. A., van Bussel, CGJ, Klatt, SF, Schulz, C., 2016. Dietary Phytase Supplementation in Rapeseed Protein Based Diets Influences Growth Performance, Digestibility and Nutrient Utilisation in Turbot (*Psetta maxima* L.). 450, 405-411.

Diemer, O., Boscolo, W. R., Signor, A. A., Sary, C., Neu, D. H., Feiden, A. 2011. Níveis de fósforo total na alimentação de juvenis de jundiá criados em Tanques-rede. Pesq. Agropec. Trop., Goiânia. 41, 559-563.

Diemer, O., Neu, D. H., Sary, C., Finkler, J. K., Boscolo, W. R., Feiden, A. 2012. Artemia sp. na alimentação de larvas de jundiá (*Rhamdia quelen*) Cien. Anim. Bras. 13, 175-179.

Eya, J. C., & Lovell, R. T. 1997. Available phosphorus requirements of food-size channel catfish (*Ictalurus punctatus*) fed practical diets in ponds. Aquaculture. 154, 283-291.

Erfanullah, A., K., J. 1998. Effect of dietary carbohydrate-to-lipid ratio on growth and body composition of walking catfish (*Clarias batrachus*). Aquaculture. 161, 159-168.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2014. *The state of world fisheries and aquaculture: opportunities and challenges*. Roma: FAO.

Feiden, A., Signor, A. A., Diemer, O., Sary, C., Boscolo, W. R., & Neu, D. H. 2010. Desempenho de juvenis de jundiá (*Rhamdia voulezi*) submetidos a alimentação com ração orgânica certificada e comercial. Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais. 8, 381-387.

Feiden, A., Signor, A. A., Diemer, O., Sary, C., Boscolo, W. R., Neu, D. H. 2010. Desempenho de juvenis de jundiás (*Rhamdia voulezi*) submetidos à alimentação com ração orgânica certificada e comercial. Ciênc. Agrár. Ambient. 8, 381-387.

Ferrari, J. E. C., Barros, M. M., Pezzato, L. E., Gonçalves, G. S., Hisano, H., & Kleemann, G. K. 2004. Níveis de cobre em dietas para a tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*. Acta Scientiarum. Animal Sciences, 26, 429-436.

Freitas, J.M.A., Sary, C., Luchesi, J.D., Feiden, A., Boscolo, W.R. 2011. Proteína e energia na dieta de jundiás criados em tanques-rede. Rev. Bras. Zootec. 40, 2628–2633.

Furuya, W. M., Gonçalves, G. S., Furuya, V. R. B., & Hayashi, C. 2001. Fitase na alimentação da Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Desempenho e digestibilidade. Ver. Bras. Zootec. 30, 924-929.

Furuya, W. M., Michelato, M., Silva, L. C. R., Santos, L. D., Silva, T. S. C., Schamber, C. R., Furuya, V. R. B. 2008. Fitase em rações para juvenis de pacu (*Piaractus mesopotamicus*). Boletim do Instituto de Pesca. 34, 489-496.

Godoy, S., Chicco, C., Meschy, F., & Requena, F. 2005. Phytic phosphorus and phytase activity of animal feed ingredients. *Interciencia*. 30, 24-28.

Goes, E., S., R.; Feiden, A., Neu, D. H., Boscolo, W. R., & Signor, A. 2015. Rendimentos do processamento e composição centesimal de filés do jundiá *Rhamdia voulezi*. *Ciência Animal Brasileira*. 16, 481-490.

Gomes, L.C., Chippari-Gomes, A.R., Lopes, N.P., Araujo-Lima, C.A.R.M. 2001. Efficacy of benzocaine as an anesthetic in juvenil tambaqui *Colossoma macropolum*. *Journal of the world aquaculture society*. 32, 426-431,.

Gomes, L.C., Golombieski, J.I., Gomes, A.R.C., Baldisserotto, B. 2000. Biologia do jundiá *Rhamdia quelen* (Teleostei, pimelodidae). *Ciência rural*. 30, 179-185.

Graf, E., Eaton, J.W. 1990. Antioxidant functions of phytic acid. *Free Radical Biol. Med.* 8, 61–69.

Hilton, J., W., Slinger, S., J. 1983. Effect of wheat bran replacement of wheat middlings in extrusion processed (floating) diets on the growth of juvenile rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Aquaculture*. 35, 201-210.

Hughes, S., G. 1990. Use of triticale as a replacement for wheat middlings in diets for *Atlantic salmon*. *Aquaculture*. 90, 173-178.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). 2016. Produção da Pecuária Municipal 2015. 43, 47p.

Kim, T.W., Lei, X.G., 2005. An improved method for a rapid determination of phytase activity in animal feed. *J. Anim. Sci.* 83, 1062–1067.

Kirby L., Nelson, T. 1988. Total and phytate phosphorus content of some feed ingredients derived from grains. *Nutr. Reports Intl.* 37, 277-280.

Konietzny, U., & Greiner, R. 2003. Phytic acid: Nutritional impact. In B. Caballero, L. Trugo, & P. Finglas (Eds.), *Encyclopaedia of food science and nutrition*. 4555–4563. London, UK: Elsevier.

Kumar, V., Sinha, A.K., Makkar, H.P.S., Boeck, G. de, Becker, K. 2012. Phytate and phytase in fish nutrition. *J. Anim. Physiol.* 96, 335–64.

Laudadio, V., Ceci, E., Tufarelli, V. 2011. Productive traits and meat fatty acid profile of broiler chickens fed diets containing micronized fava beans (*Vicia faba L. var. minor*) as the main protein source. *The Journal of Applied Poultry Research*. 20, 12-20,.

Laudadio, V., Tufarelli, V. 2011. Dehulled-micronised lupin (*Lupinus albus L. cv. Multitalia*) as the main protein source for broilers: influence on growth performance, carcass

traits and meat fatty acid composition. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 91, 2081-2087.

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, 111-119.

Lovell, R.T. 1991. Nutrition of aquaculture species. *Journal of animal Science*. 69, 4193-4200.

Macari, M., Furlan, R. L., Gonzales, E. 2002. Fisiologia aviária aplicada a frangos de corte. Jaboticabal: FUNEP.

Mello, H.M., Julieta, R.E., Niza, I.G., Moraes, F.R., Ozório, R.O.A., Shimada, M., Engracia, F.J.R., Claudiano, G.S. 2013. Efeitos benéficos de probióticos no intestino de juvenis de Tilápia-do-Nilo. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, 33, 724-730.

Mendonça, P. P., Costa, P. C., Polese, M. F., Vidal Jr, M. V., & Andrade, D. R. 2012. Efeito da suplementação de fitase na alimentação de juvenis de tambaqui (*Colossoma macropomum*). *Archivos de zootecnia*. 61, 437-448.

Morales, G.A., Rodrigañez, M.S. de, Márquez, 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. *Anim. Feed Sci. Tech*. 181, 54-64.

Mueller-Harvey, I., McCallan, A.B. 1992. Tannins: their biochemistry and nutritional properties. *Adv. Plant Cell Biochem. Biotechnol*. 1, 151-217

Nagae, M. Y., Hayashi, C., & Galdioli, E. M. 2008. Inclusão do tritcale em rações para alevinos de piavuçu, *Leporinus macrocephalus* (Garavello & Britski, 1988). *Acta Scientiarum. Animal Sciences*. 23, 849-853.

Oliveira-Filho, P. R. C., & Fracalossi, D. M. 2006. Coeficientes de digestibilidade aparente de ingredientes para juvenis de jundiá. *Rev. Bras. Zootec*, 35, 1581-1587.

Pedron, F.A., Neto, J.R., Emanuelli, T., Silva, L.P., Lazzari, R., Corrêia, V., Bergamin, G.T., Veiverberg, C.A. 2008. Cultivo de jundiás alimentados com dietas com casca de soja ou de algodão. *Pesquisa agropecuária brasileira*. 43, 93-98.

Pezzato, L. E., Rosa, M. J. S., Barros, M. M., & Guimarães, I. G. 2006. Exigência em fósforo disponível para alevinos de tilápia do Nilo. *Ciência Rural*. 36, 1600-1605.

Radünz-Neto, J., Borba, M.R. Exigências nutricionais e alimentação do jundiá. In: Fracalossi, D.M., Cyrino, J.E.P. 2012. *Nutriaqua: nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aquicultura brasileira*. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Aquicultura e biologia Aquática. pp 375.

Ravindran, V., Bryden, W. L., & Kornegay, E. T. 1995. Phytates: Occurrence, bioavailability, and implications in poultry nutrition. *Avian and Poultry Biology Reviews*. 6, 125–143.

Rocha, C. B., Pouey, J. L. O. F., Enke, D. B. S., Xavier, E. G., & Almeida, D. B. 2007. Suplementação de fitase microbiana na dieta de alevinos de jundiá: efeito sobre o desempenho produtivo e as características de carcaça. *Ciência rural*. 37, 1772-1778.

Rodrigues, A.P.O., Gominho-Rosa, M.D.C., Carginin-Ferreira, E., Francisco, A. de. Fracalossi, D.M. 2012. Different utilization of plant sources by the omnivores jundiá catfish (*Rhamdia quelen*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquacult. Nutr.* 18, 65-72.

Rostagno, H.S., Albino, L.F.T., Donzele, J.L., Gomes, P.C., de Oliveira, R.F., Lopes, D.C., Ferreira, A.S., Barreto, S.L.T., Euclides, R.F, 2011. Tabelas brasileiras para suínos e aves: composição de alimentos e exigências nutricionais, 3rd ed. Universidade Federal de Viçosa.

Sá, M. V., C & Fracalossi, D. M. 2002. Exigência proteica e relação energia/proteína para alevinos de piracanjuba (*Brycon orbignyanus*). *R. Bras. Zootec.* 31, 1-10.

Satoh, S.; Izume, K.; Takeuchi, T. 1992. Effect of supplemental tricalcium phosphate on zinc and manganese availability to common carp. *Nippon Suisan Gakkaishi*. 58, 539- 545.

Satoh, S., Porn-Ngam, N., Takeuchi, T., & Watanabe, T. 1996. Influence of Dietary Phosphorus Levels on Growth and Mineral Availability in Rainbow Trout. *Fisheries science*, 62, 483-487.

Schwarz, K. K., Furuya, W. M., Natali, M. R. M., Michelato, M., & Gualdezi, M. C. 2010. Mananoligossacarídeo em dietas para juvenis de tilápias do Nilo. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*. 32, 197-203.

Selle, P., H., Ravindran, V., Partridge, G., G. 2009. Beneficial effects of xylanase and/or phytase inclusions on ileal amino acid digestibility, energy utilisation, mineral retention and growth performance in wheat-based broiler diets. *Animal Feed Science and Technology*. 153, 303-313.

Signor, A., A. Boscolo, W., R. Feiden, A. Signor, A. 2007. Triguilho na alimentação da tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus* L.): digestibilidade e desempenho. *Ciência Rural, Santa Maria*. 37, 1116-1121.

Signor, A., Lewandowski, V., Silva, R. A. D., Fries, E. M., & Schuller, J. M. 2016. Effect of phytase on digestibility of corn, sorghum and wheat bran by silver catfish (*Rhamdia voulezi*). *Acta Scientiarum. Animal Sciences*. 38, 355-359.

Signor, A., Feiden, A., Boscolo, W. R., Signor, A. A., Gonçalves, G. S., Sary, C., Klein, S. 2013. Eventos reprodutivos do jundiá *Rhamdia voulezi* cultivados em tanques-rede. Rev. Bras. Reprod. Anim. 37, 272-277.

Statsoft, Inc. STATISTICA (data analysis software system) 2004. Version 7.0. www.statsoft.com.

Tufarelli, V., Khan, R.U., Laudadio, V. 2011. Feeding of wheat middlings in lamb total mixed rations: Effects on growth performance and carcass traits. Anim. Feed Sci. Technol. 170, 130–135.

Vielma, J., Lall, S.P., Koskela, J., Schöner, F.J., Mattila, P. 1998. Effects of dietary phytase and cholecalciferol on phosphorus bioavailability in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) Aquaculture. 163, 309–323.

Vohra, A., & Satyanarayana, T. 2002. Purification and characterisation of a thermostable and acid-stable phytase from *Pichia anomala*. World Journal of Microbiology and Biotechnology. 18, 687–691.

Vohra, P., Gray, A., Kratzer, F. H. 1965. Phytic acid-metal complexes. Proc. Soc. Exp. Biol. Med. 120, 449.

Watanabe, T., Kiron, V., & Satoh, S. 1997. Trace minerals in fish nutrition. Aquaculture. 151, 185-207.