

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

FITASE EM DIETAS PARA MATRINXÃ *Brycon cephalus*
E PIAVUÇU *Leporinus macrocephalus*

Autora: Sandra Regina de Souza
Orientador: Prof. Dr. Wilson Massamitu Furuya

MARINGÁ
Estado do Paraná
janeiro - 2008

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

FITASE EM DIETAS PARA MATRINXÃ *Brycon cephalus*
E PIAVUÇU *Leporinus macrocephalus*

Autora: Sandra Regina de Souza
Orientador: Prof. Dr. Wilson Massamitu Furuya

Tese apresentada como parte das exigências para
obtenção do título de DOUTORA EM ZOOTECNIA no
Programa de Pós-graduação em Zootecnia da
Universidade Estadual de Maringá – Área de
Concentração Produção Animal.

MARINGÁ
Estado do Paraná
Janeiro – 2008

*"Ainda que eu tenha o dom de
profetizar
e conheça todos os mistérios
e toda a ciência;
Ainda que eu tenha tamanha fé
a ponto de transformar
montanhas,
se não tiver amor, nada
serei."*

(Trecho da carta de São Paulo aos Coríntios)

Aos

*Meus pais Ulisses e Maria Luzia,
que me deram os alicerces para a
construção de meu projeto de vida.*

Às

*Minhas irmãs, Edna, Andréa e Mariana
pela amizade, incentivo e confiança.*

Ao

*Meu esposo Edson, pela compreensão
demonstrada durante minhas ausências,
pela dedicação, companheirismo e amor.*

Aos

*Meus filhos, Renan e Henrique,
a razão do nosso existir.*

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, início, luz e força.

Ao Professor Doutor Carmino Hayashi, pela confiança, incentivo e empenho no início desta jornada.

Ao Professor Doutor Wilson Massamitu Furuya, pela orientação, confiança, empenho, estímulo e paciência durante os momentos difíceis.

À Universidade Estadual de Maringá pela estrutura educacional disponibilizada.

Ao Programa de Capacitação Técnico-Administrativo da UEM pela concessão do afastamento parcial das minhas atividades profissionais.

Ao Laboratório de Aquicultura – Núcleo de Pesquisas em Limnologia, Ictiologia e Aquicultura – Nupelia, pela liberação das horas de trabalho.

Aos professores e funcionários do Departamento de Zootecnia e do Programa de Pós-graduação em Zootecnia, pelos ensinamentos e auxílio.

Aos bolsistas e estagiários do Laboratório de Aquicultura, pelo auxílio e amizade durante a realização deste trabalho.

Aos amigos Anna Christina, Cristiano, Nandeyara, Priscila e Rosangela, pela amizade, incentivo, carinho e paciência durante estes anos de convívio.

Ao meu amigo Wilson que, mesmo distante, me deu força e me incentivou para que este sonho se realizasse.

Aos meus amigos Carlos Eduardo, Claudemir (Miro) e Eliana que muito mais do que colegas de trabalho, são meus irmãos de coração, e foram peças fundamentais para a realização desse trabalho.

Aos meus pais Ulisses e Maria Luzia, por me ensinar a importância de ser perseverante.

À minha família pela compreensão nos momentos de ausência, confiança e incentivo contínuo.

Ao Edson, meu esposo, pela compreensão, carinho, amor, dedicação, companhia e ajuda incondicional, mesmo nas minhas ausências.

Aos meus filhos Renan e Henrique, que sempre estiveram presente nesta jornada sem ao menos saberem o quanto ajudaram.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

SANDRA REGINA DE SOUZA, filha de Ulisses de Souza e Maria Luzia de Souza, nasceu em Iguaraçu, Paraná, no dia 03 de maio de 1966.

Em março de 1983, foi contratada pela Universidade Estadual de Maringá, onde exerce o cargo de Zootecnista junto ao Núcleo de Pesquisas em Limnologia, Ictiologia e Aqüicultura – Nupelia.

Em fevereiro de 1998, concluiu o curso de Graduação em Zootecnia pela Universidade Estadual de Maringá.

Em março de 2002, concluiu o curso de Pós-graduação em nível de Mestrado no Programa de Pós-graduação em Zootecnia – área de concentração Produção Animal da Universidade Estadual de Maringá.

Em março de 2004, iniciou no curso de Pós-graduação, em nível de Doutorado, na área de concentração Produção Animal, Programa de Pós-graduação em Zootecnia da Universidade Estadual de Maringá.

No dia 31 de janeiro de 2008, foi submetida à avaliação pela Banca Examinadora de sua Tese de Doutorado e obteve o título de Doutor em Zootecnia, na área de concentração em Produção Animal.

ÍNDICE

	Página
LISTA DE TABELAS	ix
RESUMO.....	xi
ABSTRACT.....	xiii
I - INTRODUÇÃO	01
1.1. Espécies estudadas.....	02
1.1.1. Matrinxã.....	02
1.1.2. Piavuçu	04
1.2. Digestibilidade	04
1.3. Fósforo.....	06
1.4. Qualidade de água	07
1.5. Fitase exógena.....	09
1.6. Fitase em dietas para peixes	10
1.7. Referências	12
II - OBJETIVOS GERAIS	18
III - Fitase Microbiana em Dietas para o Matrinxã (<i>Brycon cephalus</i>): Desempenho, Composição Corporal e Qualidade da Água	19
Resumo	19
Abstract	20
Introdução	21
Material e Métodos	22
Resultados e Discussão.....	25
Conclusões	33
Referências	34

IV - Fitase Microbiana em Dietas para o Piavuçu (<i>Leporinus macrocephalus</i>): Desempenho, Composição Corporal, Qualidade de Água e Digestibilidade	38
Resumo	38
Abstract	39
Introdução	40
Material e Métodos	41
Resultados e Discussão.....	45
Conclusões	55
Referências	56
V - CONSIDERAÇÕES FINAIS	59

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 - Composição percentual e química das dietas experimentais com fosfato bicálcico (FB), sem fosfato bicálcico (SFB) e com diferentes níveis de fitase para o matrinxã <i>Brycon cephalus</i>	23
Tabela 2 - Desempenho produtivo dos alevinos de matrinxã <i>Brycon cephalus</i> alimentados com dietas com fosfato bicálcico (FB), sem fosfato bicálcico (SFB) e com diferentes níveis de fitase.	26
Tabela 3 - Composição corporal e percentagem de cálcio e fósforo nos ossos do matrinxã <i>Brycon cephalus</i> , alimentados com dietas com fosfato bicálcico (FB), sem fosfato bicálcico (SFB) e com diferentes níveis de fitase.	27
Tabela 4 - Parâmetros físicos e químicos, amônia e ortofosfato na água dos tanques do matrinxã <i>Brycon cephalus</i> , alimentados com dietas com fosfato bicálcico (FB), sem fosfato bicálcico (SFB) e com diferentes níveis de fitase.	31
Tabela 5 - Composição percentual e química das dietas experimentais com fosfato bicálcico (FB), sem fosfato bicálcico (SFB) e com diferentes níveis de fitase para o piavuçu <i>Leporinus macrocephalus</i>	42
Tabela 6 - Desempenho produtivo do piavuçu <i>Leporinus macrocephalus</i> , alimentado com dietas com fosfato bicálcico (FB), sem fosfato bicálcico (SFB) e com diferentes níveis de fitase.	45

Tabela 7 - Composição corporal e percentagem de cálcio e fósforo nos ossos do piavuçu <i>Leporinus macrocephalus</i> , alimentado com dietas com fosfato bicálcico (FB), sem fosfato bicálcico (SFB) e com diferentes níveis de fitase.	47
Tabela 8 – Parâmetros físicos e químicos, amônia e ortofosfato na água dos tanques de alevinos de piavuçu <i>Leporinus macrocephalus</i> , alimentados com dietas com fosfato bicálcico (FB), sem fosfato bicálcico (SFB) e com diferentes níveis de fitase.	50
Tabela 9 - Coeficiente de digestibilidade aparente (CDA) dos nutrientes das dietas com fosfato bicálcico (FB), sem fosfato bicálcico (SFB) e com diferentes níveis de fitase para o piavuçu <i>Leporinus macrocephalus</i>	52

RESUMO

Objetivou-se neste trabalho avaliar a utilização de dietas com fosfato bicálcico e sem fosfato bicálcico, com fitase (500, 1000 e 2000 UFA/kg) para o matrinxã *Brycon cephalus* (experimento 1) e piavuçu *Leporinus macrocephalus* (experimento 2) por meio do desempenho produtivo, qualidade de água e digestibilidade da energia e nutrientes (piavuçu). Foram conduzidos dois experimentos em um delineamento inteiramente casualizado com cinco tratamentos e cinco repetições. As dietas utilizadas foram formuladas unicamente com ingredientes de origem vegetal. Ao final do período experimental os peixes foram anestesiados e abatidos para serem submetidos à análise. A água dos dois experimentos foi coletada no final do período para a determinação da concentração de ortofosfato e amônia total por meio de leitura em fotocolorímetro da Alfakit. Os dados obtidos para os diferentes níveis de fitase foram submetidos à análise de regressão polinomial. A comparação dos dados obtidos com a dieta com fosfato bicálcico com os de cada dieta sem fosfato bicálcico sem e com fitase foi realizada por meio de teste de média. No experimento 1, foram utilizados 500 alevinos de matrinxã ($8,71 \pm 0,67$ g), distribuídos em 25 tanques de fibrocimento com volume útil de 800 L de água, durante 50 dias. Não foi observado efeito dos diferentes níveis de fitase sobre as variáveis de desempenho, composição da carcaça, retenção de minerais nos ossos e amônia e ortofosfato na água. Por meio do teste de média foi observado melhor conversão alimentar, menor conteúdo de gordura e maiores teores de cinzas e cálcio na carcaça em peixes que receberam a dieta com fosfato bicálcico. Os peixes que receberam a dieta com fitase excretaram menos fósforo para a água. No Experimento 2, foram utilizados 200 alevinos ($10,90 \pm 1,70$ g) distribuídos em 25 tanques de fibrocimento com volume útil de 200 L de água. Para o ensaio de digestibilidade foram utilizados 50 peixes ($113,39 \pm 29,31$ g) distribuídos em cinco cubas de vibra de vidro. As dietas utilizadas foram as mesma do experimento de desempenho onde incorporou-se o óxido de cromo (0,1%) como indicador. Não foram observados efeitos da inclusão

de fitase sobre o desempenho produtivo. Foi observado aumento linear dos níveis de fitase sobre o teor de cinzas na carcaça e coeficientes de digestibilidade aparente da matéria seca, energia bruta, proteína bruta, extrato etéreo e disponibilidade do fósforo. Foi observado efeito quadrático da inclusão de fitase sobre o teor de matéria seca na carcaça e de fósforo nos ossos, em que foram estimados os valores máximos com a inclusão de 1000 e 1071 UFA/kg de dieta. Foi observado maior conteúdo de proteína na carcaça, menor excreção de fósforo e maior disponibilidade do fósforo em peixes que receberam a dieta com fitase. Concluiu-se que é possível a utilização de dietas isentas de proteína de origem animal sem a inclusão de fosfato bicálcico e fitase para juvenis de piavuçu e matrinxã sem prejuízos sobre o desempenho produtivo dos peixes e menor excreção de fósforo para a água.

Palavras-chave: desempenho, digestibilidade, enzima, fosfato bicálcico, qualidade de água

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the use diets with and without dicalcium phosphate, without and with phytase (500, 1000 and 2000 UFA/kg) for the matrinxã *Brycon cephalus* (experiment 1) and piavuçu *Leporinus macrocephalus* (experiment 2) through the productive performance, water quality and energy and nutrient digestibility (piavuçu). A total of two experiments in a totally random design, with five treatments and five replications were carried out. The used diets were formulated using exclusively vegetal origin ingredients. In the end of the experimental period the fish were anesthetized and withdraw to be submitted to the analysis. The water in the two experiments was collected in the end of the experimental period to determine the orthophosphate and total ammonium concentration by lecture in Alkafit photometric system. The data obtained for the different phytase level were submitted to the analysis of polynomial regression. The comparison among the data obtained from diet with dicalcium phosphate with the diets without dicalcium phosphate but with phytase was done by a media test. In the experiment 1, were used 500 fingerling of matrinxã (8.71 ± 0.67 g), distributed in 25 fiber-cement tanks containing a useful volume of 800 L of water for 50 days. There was no effect of different phytase levels on variables of performance carcass composition, mineral retention in bones and ammonia and orthophosphate in water. Through the media test it was observed a better feed:gain ratio, a lower fat content and higher ash and calcium levels in fish carcass that received the diet with dicalcium phosphate. The fish that received the diet with phytase excreted less phosphorus to the water. In the experiment 2 were used 200 fingerlings (10.90 ± 1.70) distributed in 25 fiber-cement tanks with a useful volume of 200 L of water. For the digestibility trait a total of 50 fish (113.39 ± 29.31 g) distributed in five glasses fiber vats, were used. The used diets were the same of the performance experiment where it was incorporated the chromium oxide (0.1%) as a marker. There was not observed the effect of phytase inclusion on productive performance. It was observed a linear increase

of the phytase inclusion on carcass ash and apparent digestibility coefficient of dry matter, gross energy, crude protein, ether extract and phosphorus availability. It was observed a quadratic effect of phytase inclusion on carcass dry matter and bones phosphorus which were estimated maximum values with the inclusion of 1000 and 1071 UFA/ kg of diet. It was observed a higher protein content in carcass, lower phosphorus excretion and higher phosphorus availability in fish that received diet with phytase. It was concluded that it is possible the use of diets free of animal protein without the dicalcium phosphate and phytase inclusion to piavuçu and matrinxã juveniles without damage fish productive performance and lower phosphorus excretion to the water.

Keywords: performance, digestibility, enzyme, dicalcium phosphate water quality.

I - INTRODUÇÃO

A aquicultura é a atividade agropecuária que mais cresceu nos últimos anos, principalmente no Brasil, país que apresenta várias características favoráveis, tais como clima, potencial hidrológico e espécies com potencial zootécnico, pelo hábito alimentar e aceitação no mercado, além de produção de alimentos e subprodutos (FAO, 2005).

As dietas para peixes apresentam elevados níveis de proteína e são responsáveis por cerca de 50% do total dos custos de produção (Pezzato, 1999). Dentre as fontes proteicas, a farinha de peixe é o ingrediente mais utilizado em dietas para organismos aquáticos, ainda que seja de elevado custo, baixa padronização de nutrientes e excesso de minerais (Furuya et al., 2001a). Entretanto, fatores antinutricionais limitam a inclusão de vários ingredientes vegetais (Francis et al., 2001). O uso de fontes proteicas e energéticas de origem vegetal resulta em boas respostas de desempenho para algumas espécies de peixes, além de permitir a elaboração de dietas de menor custo. Porém, para

que estas fontes possam ser utilizadas de forma efetiva, é preciso conhecer sua composição química e seu valor nutritivo para cada espécie.

O fósforo é considerado o segundo mineral, em termos quantitativos da estrutura óssea (Steffens, 1987), presente também nos ácidos nucleicos, nos fosfolipídios e em várias enzimas (Berne, 1980). O fitato é a principal forma de armazenamento do fosfato nos grãos, onde age como fator antinutricional, pois está ligado à proteína e outros minerais como zinco, ferro e cálcio formando quelatos (Lonnerdal, 2002; Lopez et al., 2002). Os peixes, assim como os monogástricos, não secretam a enzima fitase, que é responsável pela hidrólise do fitato e disponibilização do fósforo. Logo, a suplementação de dietas com fitase exógena possibilita o aumento na disponibilidade de diversos minerais, em especial do fósforo (Gonçalves, 2003).

Para que a piscicultura se desenvolva e atinja o nível de conhecimento nutricional e tecnológico em que se encontram a avicultura e a suinocultura, são necessárias pesquisas que avaliem o valor nutritivo dos alimentos, além de manejo adequado para cada espécie. Com o aumento da produtividade, vem aumentando também o interesse do impacto sobre o ambiente, principalmente com relação ao fósforo excretado nos efluentes, uma vez que este exerce papel fundamental na eutrofização dos ambientes aquáticos. Dessa forma, o conhecimento da digestibilidade dos nutrientes dos alimentos e sua relação com a qualidade de água são considerados de fundamental importância para uma piscicultura sustentável. Assim, uma dieta artificial deve ser de baixo impacto ambiental, formulada e processada de forma a apresentar adequada estabilidade na água, levando a um melhor aproveitamento dos nutrientes e, conseqüentemente, minimizando as perdas para a água, o que permite a manutenção de sua qualidade durante vários ciclos de criação (Pezzato, 1999).

1.1. Espécies estudadas

O matrinxã *Brycon cephalus* e o piavuçu *Leporinus macrocephalus* são espécies nativas do Brasil, onívoras e de grande importância para a piscicultura. Em cativeiro, apresentam rápido crescimento e boa conversão alimentar, quando alimentados com dietas sem alimentos de origem animal (Mendonça & Melo, 1994; Pereira Filho, 1994; Faria et al., 2001; Izel et al., 2004). Além disso, apresentam carne de excelente

qualidade, sendo ainda apreciadas na pesca esportiva.

1.1.1. Matrinxã

O gênero *Brycon* pertence à ordem Characiformes, família Briconidae, com cerca de 40 espécies descritas (Britski et al., 1988). Tem ampla distribuição na América Central e do Sul. A espécie *Brycon cephalus* (matrinxã) está entre as principais representantes da bacia Amazônica e São Francisco, sendo de grande importância na pesca comercial e esportiva (Mendonça & Melo, 1994; Marques et al., 2004). Esta espécie possui porte médio, podendo atingir cerca 40 cm de comprimento, corpo relativamente alto e comprimido, coloração cinza uniforme com uma mancha escura arredondada na região humeral, nadadeiras alaranjadas, exceto a caudal, que geralmente é cinza. Os dentes fortes estão implantados em várias fileiras na maxila superior, alimentando-se, preferencialmente, de frutos e sementes (Ferreira et al., 1998). Possuem carne nobre e rápido crescimento (Mendonça & Melo, 1994), fatores importantes para sua utilização na piscicultura. Em cativeiro, atinge peso de abate com cerca de um ano de idade (Pereira-Filho, 1994; Frascá-Scorvo et al., 2001).

O matrinxã possui amplo espectro alimentar, classificado como onívoro por alimentar-se, principalmente, de frutos, sementes, flores, insetos e restos de peixes (Goulding, 1979; Graef et al., 1987; Pizango-Paima, 1997). Em cultivo, aceita bem dietas artificiais, bem como subprodutos agroindustriais. Apresenta capacidade de adaptar seu metabolismo em função do tipo de nutriente presente na dieta, aumentando a atividade das enzimas digestivas em função do substrato de alimento ofertado (Reimer, 1982). Por essa característica, pode aproveitar eficientemente lipídios, carboidratos e proteína como fonte de energia para realizar suas funções biológicas.

Werder & Saint-Paul (1979), citado por Pereira-Filho (1994) testaram fontes proteicas de origem vegetal e animal sobre o crescimento do matrinxã e observaram que esta espécie aproveita igualmente bem as duas fontes de proteína. Resultado semelhante foi obtido por Cyrino et al. (1986). Nos últimos anos, estudos relativos ao manejo e nutrição desta espécie têm sido intensificados para obter informações que possibilitem sua criação em cativeiro, uma vez que a mesma responde positivamente em termos de desempenho com a utilização de alimentos de origem vegetal, o que contribui para a redução do custo de produção (Furuya, 2001).

Poucas são as informações sobre o matrinxã e o manejo alimentar da espécie. Assim, há necessidade de pesquisas para possibilitar sua criação racional em cativeiro.

1.1.2. Piavuçu

O piavuçu *Leporinus macrocephalus* é uma espécie que pertence à família Anostomidae, que compreende peixes caracterizados pelo corpo alongado e fusiforme, narina em forma de tubo, dentes incisivos em número de seis a oito em cada maxila, firmemente implantados (Nakatani et al., 2001). Esta família está amplamente representada na América do Sul (Castagnolli, 1992), vivendo em rios e lagos, distribuídos pela bacia do rio Paraguai (Graça & Pavanelli, 2007).

O gênero *Leporinus* apresenta cerca de 70 espécies. Dentro do gênero, o piavuçu é a que apresenta maior porte, razão pela qual é considerada de grande importância econômica para a pesca (Garavello & Britski, 1988). Além disso, é um dos peixes mais criado em cativeiro, pelo seu bom desempenho em cultivo (Ribeiro et al., 2001).

A exemplo das demais espécies do gênero *Leporinus*, o piavuçu possui hábito alimentar onívoro, alimenta-se principalmente de insetos, restos de peixes e vegetais (Santos, 2000), apresenta comportamento alimentar diurno com capacidade para explorar grande diversidade de fontes alimentares, de acordo com a disponibilidade dos recursos presentes no ambiente (Ribeiro et al., 2001). Em confinamento, possui facilidade de adaptação a dietas artificiais, apresenta rápido crescimento, rusticidade, carne saborosa e bons índices zootécnicos (Soares et al., 2000; Galdioli et al., 2001), sendo uma excelente opção para a pesca esportiva (Castagnolli, 1997).

Estudos desenvolvidos por Faria et al. (2001) mostram que a farinha de peixe, principal fonte proteica em dietas para peixes, pode ser totalmente substituída pelo farelo de soja sem prejudicar o desempenho produtivo dos alevinos do piavuçu. Outros ingredientes proteicos, como os farelos de canola e de algodão, também foram avaliados, e podem ser utilizados em dietas para o piavuçu sem prejuízos ao desempenho dos peixes (Soares et al., 2000, Galdioli, et al., 2001).

1.2. Digestibilidade

Digestibilidade é a relação entre a quantidade de alimento que o animal ingere e a que não aparece nas fezes, sendo esta última aquela parcela que é efetivamente assimilada. Essa relação expressa em porcentagem recebe o nome de coeficiente de digestibilidade (Peixoto & Maier, 1993). De acordo com Hanley (1987), por meio da digestibilidade, mede-se a habilidade do peixe para digerir e absorver os nutrientes de um alimento ou dieta. Estudos da digestibilidade de nutrientes e alimentos com diferentes espécies têm revelado diferenças na utilização de energia para as diferentes espécies, de acordo com as diferenças na fisiologia da digestão (Degani et al., 1997a). Pela grande diversidade de espécies, as investigações com peixes, apesar de acumularem décadas, ainda apresentam-se escassas quando comparadas com outras espécies zootécnicas (Pezzato, 1999).

Determinar a digestibilidade dos nutrientes de determinado alimento é um dos primeiros passos quando se pretende avaliar seu potencial em dietas para peixes (Cho, 1987). A determinação de digestibilidade tem sido prioridade na aquicultura, tanto para avaliar ingredientes ou a qualidade de dietas completas (Sadiku & Juancey, 1995). Segundo Hepher (1988), a digestão do alimento depende de três fatores principais: o diâmetro das partículas que constituem o alimento ingerido, pelos quais se torna susceptível a ação das enzimas digestivas, a atividade dessas enzimas e o tempo de exposição do alimento no trato digestório. Outros fatores como o processamento e a composição da dieta também influenciam na digestibilidade.

Em experimentos de digestibilidade com peixes, o que realmente se determina é a digestibilidade aparente, pois a digestibilidade real, muitas vezes, é desconhecida, uma vez que incorporado aos excrementos sólidos estão as descamações do epitélio, microrganismos e elementos inorgânicos, entre outros. Na prática, estes aspectos são desprezados pela sua pequena contribuição quantitativa (Peixoto & Maier, 1993).

Apesar do método de coleta por “extrusão” estar sendo utilizado com sucesso para peixes como as trutas *Oncorhynchus mykiss* (Hajen et al., 1993; Weatherup & McCracken, 1998) híbridos de "striped bass" *Morone saxatilis* x *Morone chrysops* (Sullivan & Reig, 1995) e para híbridos de tilápias *Oreochromis aureus* x *Oreochromis niloticus* (Degani et al., 1997b), o método indireto de coleta de fezes ainda continua sendo o mais utilizado para ensaios de digestibilidade em peixes. De acordo com o NRC

(1993), em ambos os métodos, a coleta de fezes sem perdas de nutrientes para a água ainda é um ponto crítico.

Segundo Aksnes & Opstvedt (1998), muitas das dietas para peixes são formuladas com base nos valores dos coeficientes de digestibilidade dos alimentos que foram obtidos para outras espécies. Esta prática não é nutricionalmente adequada, pois pode provocar grande impacto no desempenho dos peixes e no meio ambiente, uma vez que os nutrientes não-digeridos e absorvidos serão excretados (Boscolo et al., 2002). Somente a partir de dietas com altos coeficientes de digestibilidade dos nutrientes e energia, será possível melhorar a conversão alimentar, maximizar os lucros e, principalmente, minimizar o impacto ambiental (Sugiura et al., 1998; Pezzato et al., 2002).

1.3. Fósforo

O fósforo está entre os minerais de maior importância na nutrição animal. É essencial para diversas funções metabólicas, reprodutivas e fisiológicas em peixes (Roy & Lall, 2004). Cerca de 80% do fósforo está contido na estrutura óssea do animal, sendo encontrado também nos ácidos nucleicos, nos fosfolipídios e em várias enzimas. Nos peixes, aproximadamente 85 a 90% do fósforo estão presente nos ossos e escamas (Lovell, 1988). A deficiência de fósforo pode resultar na redução do apetite, retardo no crescimento e anemia hipocrômica microcítica. Em alguns casos, convulsão seguida de morte, além de escoliose e lordose (Ogino & Kamizono, 1975). Além disso, pode causar deformidade nas vértebras e hipodensidade de minerais nas vértebras pela baixa mineralização (Helland et al., 2006).

O farelo de soja e o milho são os principais ingredientes de origem vegetal utilizados no preparo de dietas para peixes. Nestes, cerca de 70% do fósforo está na forma de ácido fítico, uma forma não disponível para os monogástricos (Pallauf & Rimbach, 1997; Hardy, 1998). A mucosa do intestino dos monogástricos, incluindo os peixes, não secreta a enzima fitase, um ácido fosfatase que catalisa a remoção do fósforo do fitato e o torna assimilável no trato digestório (Jackson et al., 1996; Pallauf & Rimbach, 1997; Hughes & Soares Jr., 1998; Vielma et al., 1998; Nwanna et al., 2007).

Além da baixa disponibilidade de fósforo, o ácido fítico também forma quelatos

com vários cátions como Na, K, Mg, Zn, Fe e Cu (Leiner, 1994), indisponibilizando-os para os peixes. Em sistemas de cultivo, a dieta é a principal fonte de fósforo para os peixes, uma vez que o fósforo disponível na água está em quantidades insuficientes para sua manutenção e crescimento (Hepher, 1993). A suplementação de dietas com fósforo inorgânico, principalmente na forma de fosfato bicálcico, é comum quando se utilizam dietas com elevadas proporções de ingredientes de origem vegetal, em que o fósforo é parcialmente indisponível, principalmente para peixes onívoros, que apresentam boas respostas de desempenho em dietas sem ingredientes de origem animal (Li et al., 1996; Gonçalves, 2003). O fosfato bicálcico é uma fonte de fósforo inorgânico resultante da acidificação da rocha fosfórica, normalmente com ácido sulfúrico, resultando em ácido fosfórico, que é neutralizado após sua purificação com carbonato de cálcio. Em diferentes estudos de biodisponibilidade, o fósforo oriundo do fosfato bicálcico é considerado 100% disponível, sendo largamente utilizado na alimentação animal (Lima et al., 1997).

Nas duas últimas décadas, na piscicultura, o uso de dietas compostas por ingredientes com alta digestibilidade tem permitido reduções consideráveis na liberação de fósforo. Entretanto, é eminente a necessidade de se reduzir a poluição oriunda das pisciculturas, em vários países. Para tanto, fazem-se necessárias estratégias para melhorar a utilização do fósforo das dietas e minimizar o aporte de fósforo para o ambiente (Vielma et al., 1998).

Em cultivo intensivo, a alta concentração de fósforo na água provoca prejuízos ecológicos no ambiente aquático pela eutrofização dos corpos de água (Persson, 1991), levando a baixos níveis de oxigênio dissolvido e o excesso de matéria orgânica que provocam a mortalidade dos peixes (Correll, 1999).

1.4. Qualidade da água

A expansão mundial da aquicultura de água doce leva a uma crescente preocupação do impacto da descarga de nutrientes sobre a qualidade de água (Lanari et al., 1998). No norte da Europa, o conteúdo de fósforo nas dietas é monitorado regularmente pelas autoridades federais pela sua contribuição na eutrofização. O uso de dietas compostas por ingredientes com alta digestibilidade tem permitido reduções

consideráveis na liberação de fósforo nas duas últimas décadas.

A eutrofização das águas significa seu enriquecimento com nutrientes, principalmente o fósforo e o nitrogênio que resultam em progressiva degradação de sua qualidade, especialmente em lagos, pelo crescimento maciço de plantas aquáticas (Xavier et al., 2005). Segundo Esteves (1998), a eutrofização dos corpos de água pode ser um processo natural, também conhecido como envelhecimento de lagos, ou um processo artificial provocado pela ação antrópica.

Em tanques de cultivo, o ambiente é enriquecido com os dejetos dos peixes (Bock et al., 2006), que aumentam a produção de fitoplâncton e plantas aquáticas, podendo acarretar em "blooms", que reduzem os níveis de oxigênio dissolvido em função do processo de respiração das bactérias durante a decomposição da matéria orgânica. Em casos extremos, a eutrofização resulta em piora da qualidade de água, podendo alterar as características sensoriais da carne dos peixes (Furuya et al., 2006), além de provocar a sua mortalidade (Cain & Garling, 1995).

Os efluentes provenientes da aquicultura, quando liberados no ambiente, podem afetar as comunidades de organismos ali residentes, levando à redução de organismos menos tolerantes e a aumentos populacionais dos mais resistentes às condições mais severas. Pelo impacto dos efluentes, mudanças marcantes ocorrem nas populações das comunidades bentônicas e perifíticas. Em relação aos peixes, ocorre aumento da biomassa das espécies resistentes a poluição e redução das frágeis (Selong & Helferich, 1998). Assim, para os produtores de peixes, a descarga de fósforo no ambiente é uma preocupação crescente, pois é uma das principais fontes de poluição ambiental (Bock et al., 2006; Biswas et al., 2007b). Na tentativa de reduzir a quantidade de fósforo nas excretas, muitos nutricionistas têm buscado métodos que possam reduzir a excreção de fósforo. Neste sentido, a enzima fitase vem se destacando como alternativa viável para reduzir a poluição ambiental.

1.5. Fitase exógena

A fitase é uma enzima que possui especificidade relativa que retira fósforo de qualquer substrato (Pizzolante, 2000). A fitase exógena é usada para aumentar a disponibilidade do fósforo de alimentos por meio da liberação do fosfato do ácido fítico (Liu et al., 1998). Na Europa e nos Estados Unidos, pela grande pressão para reduzir os níveis de fósforo dos efluentes, viabilizou-se a produção de enzimas exógenas, em especial a fitase (Bedford, 2000).

A fitase microbiana foi utilizada inicialmente para reduzir a excreção de fósforo proveniente de produções comerciais de suínos e aves que apresentam grandes quantidades de excrementos e, conseqüentemente, grande descarga de fósforo no solo. Esta prática resultou em melhor disponibilidade de cálcio, zinco, proteína/aminoácidos e da energia para os animais (Kornegay, 1999).

Dentre as inúmeras enzimas industriais disponíveis, destacam-se as produzidas por bactérias (*Bacillus subtilis*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas* sp. e *Klebsiella* sp.), fungos e leveduras onde se pode encontrar mais de 200 fungos isolados pertencentes aos gêneros *Aspergillus*, *Mucor*, *Penicillium* e *Rhizopus* (Gonçalves, 2003) que produzem a fitase.

A maioria das fitases é ativa em pH ao redor de 4,5 a 6,0 e a temperatura ideal fica entre 45-60 °C (Liu et al., 1998). Para que se mantenha estável, é necessário mantê-la em temperaturas menores que 90°C e pH entre 3,0 e 9,0, sendo que variações extremas de pH e temperatura elevada podem reduzir a atividade da enzima ou até mesmo destruí-la. Temperaturas abaixo de 0°C também podem prejudicar a ação da enzima. A fitase deve ser armazenada na forma pura e em baixas temperaturas (geladeira a $\pm 5^{\circ}\text{C}$) e, quando for utilizada, deverá ser misturada diretamente aos macroingredientes ou via suplemento mineral (Pizzolante, 2000). Por outro lado, quando armazenada com produtos que possuem características inócuas, pode continuar estável e ser armazenada por até seis meses, mesmo em condições ambientais instáveis (Classen, 1996). Uma unidade de fitase ativa (UFA) é definida como a quantidade de fitase que libera fósforo inorgânico do fitato de sódio (5,1 mM) a uma taxa de 1 $\mu\text{mol}/\text{min}$ em pH 5,5 e a uma temperatura de 37°C (Kornegay, 1999).

1.6. Fitase em dietas para peixes

Apesar de ainda serem poucos os estudos sobre o efeito da fitase em dietas para as várias fases de desenvolvimento das diversas espécies de peixes utilizadas em cultivos, algumas espécies têm respondido de forma positiva à suplementação desta enzima em relação ao desempenho, disponibilidade de fósforo e retenção de minerais nos ossos.

Estudos mostram que a fitase melhorou o desempenho produtivo da truta arco-íris (Cain & Garling, 1995; Vielma et al., 1998; Vielma et al., 2002), do “flounder japonês” *Paralichthys olivaceus* (Masumoto et al., 2001), da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) (Furuya et al., 2001b; Libert & Portz, 2005; Furuya et al., 2006), do *Pangasius pangasius* (Debnath et al., 2005a), da “silver perch” *Bidyanus bidyanus* (Yang et al., 2006) e da carpa comum *Ciprinus carpio* (Nwanna et al., 2007; Nwanna & Schwarz, 2007). Entretanto, não foi observado efeito do uso da fitase no desempenho produtivo da carpa comum (Schäfer et al., 1995), truta arco-íris (Vielma et al., 2000), salmão do Atlântico (*Salmo salar*) (Storebakken et al., 1998; Sajjadi & Carter, 2004) e camarão *Penaeus monodon* (Biswas et al., 2007b).

Com relação ao aumento da disponibilidade de fósforo, a fitase mostrou-se eficiente para a truta arco-íris (Rodehutschord & Pfeffer, 1995; Vielma et al., 1998; Lanari et al., 1998; Forster et al., 1999; Cheng & Hardy, 2002), para o salmão do Atlântico (Storebakken et al., 1998; Sajjadi & Carter, 2004), para “striped bass” *Morone saxatilis* (Hughes & Soares Jr., 1998), para o “flounder japonês” (Masumoto et al., 2001), para a tilápia do Nilo (Furuya et al., 2001a; Bock et al., 2006) e para a carpa comum (Nwanna et al., 2007). Ela mostrou-se eficiente também com relação ao aumento na digestibilidade da proteína para o salmão do Atlântico (Storebakken et al., 1998), para o *P. pangasius* (Debnath et al., 2005b) e para a tilápia do Nilo (Furuya et al., 2001a; Liebert & Portz, 2007).

Além de melhorar a disponibilidade do fósforo e aumentar a eficiência de retenção dos nutrientes, o fornecimento de dietas suplementadas com fitase proporciona redução significativa na excreção de fósforo para o meio ambiente (Schäfer et al., 1995; Jackson et al., 1996; Lanari et al., 1998; Storebakken et al., 1998; Forster et al., 1999; Vielma, 2002; Sajjadi e Carter, 2004; Bock et al., 2006; Furuya et al., 2006; Biswas, et al., 2007a; Biswas, et al., 2007b; Liebert e Portz, 2007; Nwanna et al. 2007).

A fitase pode melhorar o desempenho, a digestibilidade e a disponibilidade dos nutrientes da dieta, além de reduzir a excreção de fósforo. Assim, a utilização de dietas suplementadas com fitase tem-se mostrado cada vez mais importante, uma vez que favorece a criação de peixes com redução do impacto ambiental.

1.7. Referências

- AKSNES, A.; OPSTVEDT, J. Content of digestible energy in fish feed ingredients determined by the ingredient-substitution method. **Aquaculture**, v.161, n.1-4, p.45-53, 1998.
- BEDFORD, M.R. Exogenous enzymes in monogastric nutrition – their current value and future benefits. **Animal Feed Science and Technology**. v.86, n.1, p.1-13, 2000.
- BERNE, R.M. **Fisiologia**. 2.ed. Guanabara: Brasil, 1980.
- BISWAS, A.K.; KAKU, H.; JI, S.C. et al. Use of soyben meal and phytase for partial replacement of fish meal in the diet of red sea bream, *Pagrus major*. **Aquaculture**. v.267, n.1-4, p.284-291, 2007a.
- BISWAS, P.; PAL, A.K.; SAHU, N.P. et al. Lysine and/or phytase supplementation in the diet of *Penaeus monodon* (Fabricius) juveniles: Effect on growth, body composition and lipid profile. **Aquaculture**. v.265, n.1-4, p. 253-260, 2007b.
- BOCK, C.L.; PEZZATO, L.E.; CANTELMO, O.A. et al. Fitase e digestibilidade aparente de nutrientes de rações por tilápias-do-Nilo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.5, p.2197-2202, 2006.
- BOSCOLO, W.R.; HAYASHI, C.; MEURER, F. Digestibilidade aparente de nutrientes de alimentos convencionais e alternativos para a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.2, p.539-545, 2002.
- BRITSKI, H.A. SATO, Y.; ROSA, A.B.S. **Manual de identificação de peixes da região de Três Marias: com chaves de identificação para os peixes da bacia do São Francisco**. 3.ed. Brasília, 1988.
- CAIN, K.D.; GARLING, D.L. Pretreatment of soybean meal with phytase for salmonid diets to reduce phosphorous concentrations in hatchery effluents. **The Progressive Fish-Culturist**, v.57, n.2, p.114-119, 1995.
- CASTAGNOLLI, N. **Criação de peixes de água doce**. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 189p.
- CASTAGNOLLI, N. Piscicultura intensiva e sustentável de espécies nativas brasileiras. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E NUTRIÇÃO DE PEIXES, 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: CBNA, 1997, p.117-130.
- CYRINO, J.E.P.; CASTAGNOLLI, N.; PEREIRA FILHO, M. Digestibilidade da proteína de origem animal e vegetal pelo matrinxã (*Brycon ceplalus* (Günther, 1869) (Euteleostei, Characiformes, Characidae). In: V SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AQUICULTURA, 1986, Cuiabá, **Anais...** Cuiabá: 1986, p.49-62.
- CHENG, Z.J.; HARDY, R.W. Effect of microbial phytase on apparent nutrient digestibility of barley, canola meal, wheat and wheat middlings, measured *in vivo* using rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture Nutrition**, v.8, n.4, p.271-277, 2002.
- CHO, C.H. La energia en la nutrición de los peces. In: CHO, C.H. **Nutrición en acuicultura II**. Madrid-España: J. Espinosa de los Monteros y U. Labarta, 1987. p.197-237.
- CLASSEN, H.L. **Enzymes in action**. Feed Mix, v.4, n.2, 1996.
- CORRELL, D.L. Phosphorus: a rate limiting nutrient in surface waters. **Poultry Science**. v.78, n.4, p.674-682, 1999.
- DEBNATH, D.; PAL, A.K.; SAHU, N.P. et al. Effect of dietary microbial phytase supplementation on growth and nutrient digestibility of *Pangasius pangasius* (Hamilton) fingerlings. **Aquaculture Research**, v.36, n.2, p.180-187, 2005a.

- DEBNATH, D.; PAL, A.K.; SAHU, N.P. et al. Mineral status of *Pangasius pangasius* (Hamilton) fingerlings in relation to supplemental phytase: absorption, whole-body and bone mineral content. **Aquaculture Research**, v.36, n.4, p.326-335, 2005b.
- DEGANI, G.; VIOLA, S.; YEHUDA, Y. Apparent digestibility coefficient of protein sources for carp, (*Cyprinus carpio* L). **Aquaculture**, v.28, n.1, p.23-28, 1997a.
- DEGANI, G.; VIOLA, S.; YEHUDA, Y. Apparent digestibility of protein and carbohydrate in feed ingredients for adult tilapia (*Oreochromis aureus x O. niloticus*). **The Israeli Journal of Aquaculture**, v.49, n.3, p.115-123, 1997b.
- ESTEVEVES, F.A. **Fundamentos de Limnologia**, 2.ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 575p.
- FAO, Aquaculture production statistic 2000-2005. 2005. FAO <http://www.fao.org/figis/servlet/species?fid=3217>, FAO, Rome.
- FARIA, A.C.E.A.; HAYASHI, C.; SOARES, C.M. Substituição parcial da farinha de peixe pelo farelo de soja em dietas para alevinos de piavuçu, *Leporinus macrocephalus* (Garavello & Britski, 1988), **Acta Scientiarum**, v.23, n.4, p.835-840, 2001.
- FERREIRA, E.J.G; ZUANON, J.A.S.; SANTOS, G. M. dos. **Peixes comerciais do médio Amazonas: Região de Santarém**, Pará: Ibama, Brasília, 1998.
- FRANCIS, G.; MAKKAR, H.P.S.; BECKER, K. Antinutricional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. **Aquaculture**, v.199, n.3-4, p.197-227, 2001.
- FRASCÁ-SCORVO, C.M.D.; CARNEIRO, D.J.; MALHEIROS, E.B. Comportamento alimentar do matrinxã (*Brycon cephalus*) no período de temperaturas mais baixas. **Boletim do Instituto de Pesca**, v.27, n.1, p.1-5. 2001
- FORSTER, I.; HIGGS, D.A.; DOSANJH, B.S. Potential for dietary phytase to improve the nutritive value of canola protein concentrate and decrease phosphorus output in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) held in 11°C fresh water. **Aquaculture**, v.179, n.1-4, p.109-125, 1999.
- FURUYA, W.M. Espécies Nativas. In: MOREIRA, H.L.M. et al. **Fundamentos da Moderna Aquicultura**. Canoas: ULBRA, 2001. 200p.
- FURUYA, W.M.; PEZZATO, L.E.; PEZZATO, A.C. et al. Coeficientes de digestibilidade e valores de aminoácidos digestíveis de alguns ingredientes para Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, n.4, p.1143-1149, 2001a.
- FURUYA, W.M.; GONÇALVES, G.S.; FURUYA, V.R.B. et al. Fitase na alimentação da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*. Desempenho e digestibilidade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, n.3, p.924-929, 2001b.
- FURUYA, W.M.; BOTARO, D.; SILVA, L.C.R. et al. Fitase em dietas para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) (175 a 327 G). **Archivos de Zootecnia**, v.55, n.210, p.161-170, 2006.
- GALDIOLLI, E.M.; HAYASHI, C.; FARIA, A.C.E.A. et al. Substituição parcial e total da proteína do farelo de soja pela proteína dos farelos de canola e algodão em dietas para alevinos de piavuçu, *Leporinus macrocephalus*, (Garavello e Britski, 1988). **Acta Scientiarum**, v.23, n.4 p.841-847, 2001.
- GARAVELLO, J.C.; BRITSKI, H.A. *Leporinus macrocephalus* sp. da Bacia do Rio Paraguai (Ostariophysi, Anostomidae). **Naturalia**, v.13, n.1, p.67-74, 1988.
- GONÇALVES, G.S. **Digestibilidade aparente de alimentos vegetais suplementados com fitase pela tilápia do Nilo *Oreochromis niloticus***. Botucatu: Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, 2003. 72p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia)

- Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia - Universidade Estadual Paulista, 2003.
- GOULDING, M. **Ecologia da pesca do rio Madeira**. Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq. Instituto Nacional e Pesquisa da Amazônia, INPA. Manaus, Amazonas. p.172, 1979.
- GRAÇA, W.J.; PAVANELLI, C.S. **Peixes da Planície de inundação do Alto do Rio Paraná e Áreas Adjacentes**. Maringá: EDUEM, 2007. 241p.
- GRAEF, E.W.; RESENDE, E.K.; PETRY, P. et al., Policultivo de matrinxã (*Brycon* sp.) e jaraqui (*Semaprochilodus* sp) em pequenas represas. **Acta Amazonica**, v.16/17, n. único, p.33-42, 1987.
- HAJEN, W.E.; HIGGS, D.A.; BREAMES R.M. et al. The Digestibility of various Foodstuffs by post-juvenile chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) in sea water. **Aquaculture**, v.112, n.2, p.333-348, 1993.
- HANLEY, F. The digestibility of foodstuffs and the effects of feeding selectivity determinations in tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, v.66, n.2, p.163-179, 1987.
- HARDY, R.W. Phytase, **Aquaculture Magazine**, Asheville, p.77-80, nov/dec. 1998.
- HELLAND, S.; DENSTADLI, V.; WITTEN, P.E.; et al. Hyperdense vertebrae and mineral content in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fed diets with graded levels of phytic acid. **Aquaculture**, v.261, n.2, p.603-614, 2006.
- HEPHER, B. **Nutrition of pond fishes**. Cambridge: Cambridge University Press, 1988. 386p.
- HEPHER, B. **Nutrición de Peces Comerciales en Estanques**. México: Balderas, 1993.
- HUGHES, K.P.; SOARES JR., J.H. Efficacy of phytase on phosphorus utilization in practical diets fed to striped bass *Morone saxatilis*. **Aquaculture Nutrition**, v.4, n.2, p.133-140, 1998.
- IZEL, A.C.U.; PEREIRA-FILHO, M.; MELO, L.A.S.; et al. Avaliação de níveis protéicos para a nutrição de juvenis de matrinxã (*Brycon cephalus*). **Acta Amazônica**, v.34, n.2, p.179-184, 2004.
- JACKSON, L.S.; MENG, H.L.; ROBINSON, E.H. Use de microbial phytase in channel catfish *Ictalurus punctatus* diets to improve utilization of phytase phosphorus. **Journal of the World Aquaculture Society**, v.27, n.3, p.309-313, 1996.
- KORNEGAY, E.T. Feeding to reduce nutrient excretion: effects of phytase on phosphorus and other nutrients. **Biotechnology in the Feed Industry**, 1999.
- LANARI, D.; D'AGARO, E.; TURRI, C. Use of nonlinear regression to evaluate the effects of phytase enzyme treatment of protein plant diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, v.161, n.3, p.345-356, 1998.
- LEINER, I.E. Implications of antinutritional components in soybean foods. **Critical Reviews Food Science Nutrition**, v.34, n.1-2, p.31-67. 1994.
- LI, M.H.; ROBINETTE H.R.; ROBINSON, E.H. Efficacy of dicalcium and defluorinated rock phosphates as dietary phosphorus sources for channel catfish (*Ictalurus punctatus*). **Aquaculture**, v.147, n.1-2, p.107-114, 1996.
- LIEBERT, F.; PORTZ, L. Nutrient utilization of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* fed plant based low phosphorus diets supplemented with graded levels of different sources of microbial phytase. **Aquaculture**, v.248, n.1-4, p.111-119, 2005.
- LIEBERT, F.; PORTZ, L. Different sources of microbial phytase in plant based low phosphorus diets for Nile tilapia *Oreochromis niloticus* may provide different effects on phytase degradation. **Aquaculture**, v.267, n.1-4, p.292-299, 2007.

- LIMA, F.R.; MENDONÇA, J.M.X.; ALVAREZ, J.C. et al. Biological evaluations of commercial dicalcium phosphates as sources of available phosphorus for broiler chicks. **Poultry Science**, v.76, n.9, p.1707-1713, 1997.
- LIU, B.L.; RAFIQ, A.; TZENG, Y.M. et al. The induction and characterization of phytase and beyond. **Enzyme and Microbial Technology**, v.22, n.5, p.415-424, 1998.
- LONNERDAL, B. Phytic acid-trace element. (Zn, Cu, Mn) interactions. **International Journal Food Science Technology**. v.37, n.7, p.749-758, 2002.
- LOPEZ, H.W.; LEENHARDT, F.; COUDRAY, C. Minerals and phytic acid interactions: is it a real problem for human nutrition? **International Journal Food Science Technology**. v.37, n.7, p.727-739, 2002.
- LOVELL, T. *Nutrition and Feeding of fish*. Alabama: Audum University, 1988.
- MARQUES, N.R.; HAYASHI, C.; FURUYA, W.M. et al. Influência da densidade de estocagem no cultivo de alevinos de matrinxã *Brycon cephalus* (Günther, 1869) em condições experimentais. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v.26, n.1, p.55-59, 2004.
- MASUMOTO, T.; TAMURA, B.; FHIMENO, S. Effects of phytase on bioavailability of phosphorus in soybean meal-based diets for Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. **Fisheries Science**, v.67, n.6, p.1075-1080, 2001.
- MENDONÇA, J.O.J.; MELO, J.S.C. In: I SEMINÁRIO SOBRE CRIAÇÃO DE ESPÉCIES DO GÊNERO *Brycon*. Pirassununga: 1994.
- NAKATANI, K.; AGOSTINHO, A.A.; BAUMGARTNER, G. et al. **Ovos e larvas de peixes de água doce: desenvolvimento e manual de identificação**. Maringá: EDUEM, 2001. 378p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of warmwater, fishes and shellfishes: nutrient requirements of domestic animals**. Washington: National Academy Press, 1993. 114p.
- NWANNA, L.C.; EISENREICH, R.; SCHWARZ, F.J. Effect of wet-incubation of dietary plant feedstuffs with phytase on growth and mineral digestibility by common carp (*Cyprinus carpio* L.). **Aquaculture**. 2007, doi: 10.1016/j.aquaculture.2007.04.020
- NWANNA, L.C.; SCHWARZ, F. Effect of supplementation phytase on growth, phosphorus digestibility and bone mineralization of common carp (*Cyprinus carpio* L.) **Aquaculture Research**, v.38, n.10, p.1037-1044. 2007.
- OGINO, C.; KAMIZONO, M. Mineral requirements of fish. Effects of dietary salt-mixture levels on growth, mortality and body composition in rainbow trout and carp. **Bulletin of Japanese Society of Scientific Fisheries**, v.41, n.2, p.429-439, 1975.
- PALLAUF, J.; RIMBACH, G. Nutritional significance of phytic acid and phytase. **Archives of animal Nutrition**, v.50, n.1, p.301-319. 1997.
- PEIXOTO, R.R.; MAIER, J.C. **Nutrição e alimentação animal**. 2.ed. Pelotas: UCPel, EDUCAT, UFPel. 1993. 169p.
- PEREIRA FILHO, M. Estudos desenvolvidos no INPA (Manaus-Amazonas) com o matrinxã, *Brycon cephalus* (Günther, 1869). In: **I SEMINÁRIO SOBRE CRIAÇÃO DE ESPÉCIES DO GÊNERO *Brycon***. Pirassununga, 1994.
- PERSSE, G. Eutrophication resulting from salmonid fish culture in fresh and salt waters: Scandinavian experiences. In: **NUTRITIONAL STRATEGIES AND AQUACULTURE WASTE. PROCEEDINGS OF THE FRIST INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NUTRITIONAL STRATEGIES IN MANAGEMENT OF AQUACULTURE WASTE** (ed. By C.B. Cowey & C.Y. Cho), pp. 163-185. University of Ghelph, ON. Canada. 1991.

- PEZZATO, L.E. Alimentação de peixes - Relação custo benefício. In: **REUNIÃO ANUAL SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA**, 37., 1999, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1999. p.109-118.
- PEZZATO, L.E.; MIRANDA, E.C.; BARROS, M.M. et al. Digestibilidade Aparente de ingredientes pela Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.4, p.1595-1604, 2002.
- PIZANGO-PAIMA, E.G. **Estudo da alimentação e composição corporal do matrinxã, *Brycon cephalus* (Gunther, 1869) (Characiformes, Characidae) na Amazônia central**. Manaus: Fundação Universidade do Amazonas, 1997. 71p. Dissertação (Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia – Universidade do Amazonas, 1997.
- PIZZOLANTE, C.C. **Estabilidade da fitase e sua utilização na alimentação de frangos de corte**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2000. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Lavras, 2000.
- REIMER, G. The influence of diet on the digestive enzyme of the Amazon fish matrinxã, *Brycon cf. melanopterus*. **Journal of Fish Biology**, v.21, n.6, p.637-642. 1982.
- RIBEIRO, R.P.; HAYASHI, C.; MARTINS, E.N. et al. Hábito e seletividade alimentar de pós-larvas de piavuçu, *Leporinus macrocephalus* (Garavello & Britski, 1988), submetidas a diferentes dietas em cultivos experimentais. **Ascta Scientiarium**, v.23, n.4, p.829-834, 2001.
- RODEHUTSCORD, M.; PFEFFER, E. Effects of supplemental microbial phytase on phosphorus digestibility and utilization in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Water Science Technology**, v.31, n.10, p.143-147, 1995.
- ROY, P.K.; LALL, S.P. Urinary phosphorus excretion in haddock (*Melanogrammus aeglefinus* L.) and Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) **Aquaculture**, v.233, n.1-4, p.369-382, 2004.
- SADIKU, S.O.E.; JUANCEY, K. Digestibility, apparent amino acid availability and waste generation potencial of soybean flour: poltry meat meal blend based diets for tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.), fingerlings. **Aquaculture**, v.151, n.26, p.651-657, 1995.
- SAJJADI, M.; CARTER, C.G. Dietary phytase supplementation and the utilization of phosphorus by Atlantic salmo (*Salmo salar* L.) fed a canola-neal-based diet. **Aquaculture**, v.240, n.1-4, p.417-431, 2004.
- SANTOS, G. O. Aspectos importantes para a piscicultura do gênero *Leporinus* Spix, 1929 – uma revisão. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.6, n.1, p.151-156, 2000.
- SCHÄFER, A.; KOPPE, W.M.; MEYER-BURGDORFF, H.G. et al. Effects of microbial phytase on utilization of native phosphorus carp in diet based on soybean meal. **Water Science Technology**, v.31, n.10, p.150-155, 1995.
- SELONG, J.H.; HELFRICH, L.A. Impacts of trout culture effluent on water quality and biotic communities in Virginia headwater streams. **The Progressive Fish-Culturist**, v.60, n.4, p.247-261, 1998.
- SOARES, C.M.; HAYASHI, C.; FURUYA, V.R.B. et al. Substituição parcial e total da proteína do farelo de soja pela proteína do farelo de canola na alimentação de alevinos de piavuçu (*Leporinus macrocephalus*, L.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, vol. 29, n.1, p.15-22, 2000.
- STEFFENS, W. **Principios fundamentales de la alimentación de los peces**. Zaragoza, 1987.
- STOREBAKKEN, T.; SHEARER, K.D.; ROEM, A.J. Availability of protein, phosphorus and other elements in fish meal, soy-ptotein concentrate and phytase-

- treated soy-protein-concentrate-based diets to Atlantic salmon, *Salmo salar*. **Aquaculture**, v.161, n.1-4, p.365-379, 1998.
- SUGIURA, S.H.; DONG, F.M.; RATHBONE, C.K. et al. Apparent protein digestibility and mineral availabilities in various feed ingredients for salmonid feeds. **Aquaculture**, v.159, n.3-4, p.177-202, 1998.
- SULLIVAN, J. A.; REIGH, R.C. Apparent digestibility of selected feedstuffs in diets for hybrid striped bass (*Morone saxatilis* x *Morone chrysops*) **Aquaculture**, v.138, n.2, p.312-322, 1995.
- VIELMA, J.; LALL, S.P.; KOSKELA, J. et al. Effects of dietary phytase and cholecalciferol on phosphorous bioavailability in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, v.163, n.3, p.309-323, 1998.
- VIELMA, J.; MÄKINEN, T.; EKHOLM, P. et al. Influence of dietary soy and phytase levels on performance and body composition of large rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and algal availability of phosphorus load. **Aquaculture**, v.183, n.3-4, p.349-362, 2000.
- VIELMA, J.; ROUHONEN, K.; PEISKER, M. Dephytinization of two soy proteins increases phosphorus and protein utilization by rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. **Aquaculture**, v.204, n.1-2, p.145-156, 2002.
- WEATHERUP, R.N.; McCRAKEN, K.J. Comparison of estimates of digestibility of two diets for rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum), using two markers and two methods of faeces collection. **Aquaculture**, v.29, n.5, p.527-533, 1998.
- XAVIER, C.F.; DIAS, L.N.; BRUNKOW, R.F. Eutrofização. In: ANDREOLI, C.V.; CARNEIRO C. **Gestão integrada de mananciais de abastecimento eutrofizados**. Curitiba: Sanepar, Finep, 2005.
- YANG, S-D.; LIN, T-S.; LIU, F-G. et al. Influence of dietary phosphorus levels on growth, metabolic response and body composition of juvenile silver perch (*Bidyanus bidyanus*). **Aquaculture**, v.253, n.1-4, p.592-601, 2006.

II – OBJETIVOS GERAIS

O presente estudo teve por objetivo avaliar a utilização de dietas com fosfato bicálcico e sem fosfato bicálcico, com fitase (500, 1000 e 2000 UFA/kg) para o matrinxã *Brycon cephalus* e piavuçu *Leporinus macrocephalus*, por meio do desempenho produtivo, composição corporal, qualidade da água e digestibilidade da energia e nutrientes (piavuçu).

III - Fitase Microbiana em dietas para o Matrinxã *Brycon cephalus*: Desempenho, Composição Corporal e Qualidade da Água

RESUMO – Este trabalho teve como objetivo avaliar a utilização do fosfato bicálcico e da fitase sobre o desempenho a composição corporal e a qualidade da água de juvenis de matrinxã alimentados com dietas isentas de proteína de origem animal. Foram utilizados 500 peixes ($8,71 \pm 0,67g$) distribuídos em um delineamento inteiramente casualizado com cinco tratamentos e cinco repetições. Foram avaliadas dietas com fosfato bicálcico e sem fosfato bicálcico sem e com diferentes níveis de fitase (500, 1000 e 2000 unidades de fitase ativa - UFA/kg), contendo 1,12% de fósforo total para a dieta com fosfato bicálcico e 0,58% de fósforo total para as dietas isentas de fosfato bicálcico. Ao final do experimento, amostras da água foram coletadas para determinar a concentração de ortofosfato e amônia da água. Os peixes foram alimentados até saciedade aparente quatro vezes/dia. Por meio da análise de regressão, observou-se que o uso de dietas com diferentes níveis de fitase não afetou o desempenho produtivo, a retenção de nutrientes na carcaça, os teores de cálcio e fósforo nos ossos e a concentração de amônia e ortofosfato na água dos tanques. Por meio do teste de média, observou-se que a conversão alimentar dos peixes que receberam a dieta com fosfato bicálcico foi melhor que a dos peixes que receberam as dietas sem fosfato bicálcico com fitase. Para as variáveis de composição corporal, observou-se que os teores de proteína bruta, cinzas e cálcio foram mais elevados para a dieta com fosfato bicálcico, enquanto que os teores de gordura foram inferiores. A água dos tanques com os peixes que receberam a dieta com fosfato bicálcico continha menor concentração de amônia total dissolvida e maior concentração de ortofosfato quando comparado com os demais tratamentos. A utilização de dietas sem fosfato bicálcico e com fitase não afeta o desempenho produtivo, mas reduz o conteúdo de gordura na carcaça e a excreção de fósforo pelo matrinxã.

Palavras-chave: desempenho, enzima, mineral, ossos, peixe, qualidade de água.

III – Microbial phytase in diets of Matrinxã *Brycon cephalus*: Performance, Corporal Composition and Water Quality

ABSTRACT – this work objective to evaluate the use of dicalcium phosphate and phytase on performance, corporal composition and water quality of Matrinxã juveniles fed with diets free of animal protein. There were used 500 fish ($8.71 \pm 0.67\text{g}$) distributed in a totally random design with five treatments and five replications. There were evaluated diets with and without dicalcium phosphate and with and without different phytase levels (500, 1000 and 2000 units of active phytase – UFA/kg), having 1.12% of total phosphorus to diet with dicalcium phosphate and 0.58% of total phosphorus to diets free of dicalcium phosphate. In the end of the experiment water samples were collected to determine the orthophosphate and ammonia water concentration. The fish were fed until apparent satiety four times per day. Through regression analysis it was observed that the use of diets with different phytase levels did not affect the productive performance, nutrients retention in carcass, calcium and phosphorus content in bones and ammonia and orthophosphate concentration in tanks water. Through media test it was observed that the feed/gain ratio of fish receiving diet with dicalcium phosphate was better than fish receiving diets without dicalcium phosphate but with phytase. To the corporal composition variables it was observed that the content of crude protein, ash and calcium were higher to diet with dicalcium phosphate, while the fat contents were lower. The tank water with fish receiving diet with dicalcium phosphate had the lower concentration of dissolved total ammonia and higher concentration of orthophosphate when compared with others treatments. The use of diets without dicalcium phosphate but with phytase did not affect the productive performance but decrease the fat content in carcass and phosphorus excretion by the matrinxã.

Keywords: performance, enzyme, mineral, bones, fish, water quality.

INTRODUÇÃO

O matrinxã é uma espécie onívora, nativa da bacia Amazônica que apresenta rápido crescimento, boa adaptação ao confinamento e carne de excelente sabor (Pereira Filho, 1994; Marques et al., 2004). Esta espécie é capaz de aproveitar eficientemente os carboidratos como fonte de energia (Reimer, 1982).

O fósforo é um importante mineral constituinte do tecido esquelético (Roy & Lall, 2003) que se encontra distribuído em todas as células do organismo, principalmente nas membranas (Lovell, 1988). A deficiência de fósforo reduz o crescimento, deposição de minerais nos ossos (Lall, 2002), e pode causar deformidades ósseas em diversas regiões do corpo dos peixes (Sugiura et al., 2004; Cheng et al., 2005) e provocar aumento de lipídios na carcaça (Yang et al., 2006).

A inclusão de fitase microbiana em dietas para peixes tem sido preconizada como alternativa para aumentar a disponibilidade da proteína, do fósforo, e de outros minerais (Masumoto et al., 2001 e Baruah et al., 2007) e, conseqüentemente, melhorar a taxa de crescimento dos peixes e a conversão alimentar (Sajjadi & Carter, 2004; Baruah et al., 2007), além de reduzir a descarga de fósforo e nitrogênio (Sajjadi & Carter, 2004; Nwanna et al., 2007).

No Brasil, a utilização de fitase, em dietas para peixes, foi inicialmente avaliada por Furuya et al. (2001) que observaram que esta enzima melhora o desempenho, disponibilidade do fósforo e retenção de minerais para a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Posteriormente, outros trabalhos que avaliam a fitase para a tilápia do Nilo também foram desenvolvidos por Gonçalves (2003), Furuya et al. (2004), Liebert & Portz, (2005), Bock et al., (2006) Furuya et al. (2006), Liebert & Portz, (2007).

A descarga de fósforo no ambiente é uma preocupação crescente para os produtores de peixes (Biswas et al., 2007a), uma vez que é um dos principais responsáveis pelo processo de eutrofização dos ambientes naturais (Xavier et al., 2005). O excesso de fósforo reduz os níveis de oxigênio dissolvido e, em casos extremos, causa a mortalidade dos peixes (Cain & Garling, 1995). Assim, a enzima fitase vem sendo utilizada para disponibilizar o fósforo dos ingredientes da dieta para peixes, reduzindo sua excreção (Furuya et al., 2006; Nwanna et al., 2007).

O presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a utilização de dietas com fosfato bicálcico e sem fosfato bicálcico com diferentes níveis de fitase (0, 500,

1000 e 2000 UFA/kg) para o matrinxã sobre o desempenho produtivo, composição corporal e qualidade da água.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Aquicultura do Núcleo de Pesquisas em Limnologia, Ictiologia e Aquicultura da Universidade Estadual de Maringá, durante os meses de março a maio de 2006, por 50 dias.

Os peixes foram distribuídos em um delineamento inteiramente casualizado com cinco tratamentos e cinco repetições. Foram utilizados 500 alevinos de matrinxã ($8,71 \pm 0,67$ g), distribuídos em 25 tanques de fibrocimento com volume unitário útil de 800 L. Os tanques estavam instalados em uma estufa de sombrite preta (50%) com cobertura em plástico transparente que impede a entrada de água da chuva nos tanques. Cada tanque possuía entrada e saída de água individual e aeração contínua por meio de pedra porosa conectada a um soprador de forma a manter o oxigênio dissolvido entre 5 a 7 mg/L. A temperatura foi mantida entre 24 a 27°C por meio de aquecedores de 100 Watts. Durante todo o período experimental, os tanques foram mantidos cobertos com sombrite preta (50%) para reduzir a incidência de luz e, assim, minimizar a produção primária.

Foram elaboradas dietas experimentais à base de farelo de soja e milho, com fosfato bicálcico (controle positivo) e sem fosfato bicálcico (controle negativo) e com diferentes níveis de fitase (500, 1000 e 2000 UFA/kg (Tabela 1). A composição química das dietas experimentais foram determinadas no Laboratório de Análise de Alimentos do Departamento de Zootecnia da Universidade Estadual de Maringá, conforme metodologia descrita por Silva & Queiroz (2002).

Os ingredientes utilizados para o preparo das dietas foram moídos em moinho, tipo faca com peneira de 0,75 mm. Após pesagem, os ingredientes foram homogeneizados manualmente. A fitase foi pesada em balança analítica digital (0,01g), dissolvida em água (50°C) e incorporada às dietas. Todas as dietas foram umedecidas com água a 50°C na proporção de 30% do peso total da mistura, depois foram incubadas por 30 min, permanecendo cobertas com plástico preto. Após, foram aglomeradas em

moedor de carne elétrico e desidratada em estufa de ventilação forçada (45°C) por 24 h. Após secagem, os grânulos foram desintegrados por meio de moedor elétrico e separados por meio de peneiras para granulometrias de solos. Visando fornecer dietas com pelets no tamanho adequado ao tamanho da boca dos peixes, foram utilizados pelets de duas diferentes granulometrias. No início, os pelets utilizados continham de 1,18 a 2 mm e à medida que os peixes foram crescendo passou-se a utilizar pelets de 2 a 4 mm. O arraçoamento foi feito manualmente e parcelado em quatro vezes ao dia (8; 11; 14 e 17 h), à vontade até a saciedade.

Tabela 1 - Composição percentual e química das dietas experimentais com fosfato bicálcico (FB), sem fosfato bicálcico (SFB) e com diferentes níveis de fitase para o matrinxã *Brycon cephalus*

Ingrediente	FB	SFB			
		Níveis de Fitase (UFA/kg)			
		0	500	1000	2000
Farelo de soja	62,34	62,31	62,31	62,31	62,31
Milho	29,35	29,40	29,40	29,40	29,40
Bagaço de cana	2,17	4,7	4,7	4,7	4,7
Calcário calcítico	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28
DL-Metionina	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
L-Lisina	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Fosfato bicálcico	2,61	--	--	--	--
Óleo de soja	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Premix ¹	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Vitamina C ²	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Antioxidante ³	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Sal comum	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Fitase ⁴ (%)	--	--	0,005	0,010	0,020
Nutrientes⁵					
Matéria seca (%)	92,51	90,23	90,23	90,23	90,23
Energia bruta (kcal/kg)	4035,95	4157,45	4157,45	4157,45	4157,45
Proteína bruta (%)	32,89	32,80	32,80	32,80	32,80
Fibra bruta (%)	3,11	4,42	4,42	4,42	4,42
Extrato etéreo (%)	2,20	2,00	2,00	2,00	2,00
Cálcio (%)	1,75	1,23	1,23	1,23	1,23
Fósforo total (%)	1,12	0,58	0,58	0,58	0,58

¹ Suplemento mineral e vitamínico (Supre Mais): composição por kg.: Vit. A = 500.000 UI; vit. D3 = 200.000 UI; vit. E = 5.000 mg; vit. K3 = 1.000 mg; vit. B1 = 1.500 mg; vit. B2 = 1.5000 mg; vit. B6 = 1.500 mg; vit. B12 = 4.000 mg; ác. Fólico = 500 mg; pantotenato de Ca = 4.000 mg; vitamina C = 15.000 mg; biotina = 50 mg; colina = 40.000 mg; niacina = 24.000 mg; Fe = 5.000 mg; Mn = 1.500 mg; Cu = 500 mg; Zn = 5.000 mg; I = 20 mg; Co = 10 mg e Se = 210 mg;

² Vitamina C (42% de ácido ascórbico)

³ Butil Hidroxi Tolueno.

⁴ Fitase microbiana (Natuphus 10000® - BASF, Brasil)

⁵ Valores determinados no Laboratório de Análises de Alimentos - DZO/UEM

Cerca de uma hora após a primeira alimentação, foi realizada a sifonagem do fundo dos tanques para retirada das excretas. Os parâmetros químicos da água, como pH, condutividade elétrica (mS/cm) e oxigênio dissolvido (mg/L) foram medidos semanalmente com peagâmetro (Oakton), condutivímetro (Digital-Leitwert-Messgerät/VDSF-G) e oxímetro (YSI Model 55-12FT), respectivamente. A temperatura da água foi monitorada diariamente às 8 e 17 h com termômetro de mercúrio graduado de 0 a 50°C.

Para determinar a concentração de ortofosfato (ppm) e amônia total (mg/L) da água de cada tanque, foi retirada, ao final do período experimental, uma amostra de 500 mL de água (30 cm de profundidade) de cada um dos cantos e no centro de cada tanque. Esta amostra foi reduzida a 50 mL. Uma alíquota de 5 mL foi pipetada, transferida para cubetas onde se acrescentaram os reagentes específicos. Na sequência, foi procedida a leitura em fotocolorímetro (SL 2K da Alfakit).

Ao final do período experimental, os peixes foram mantidos em jejum por 24 h, foram anestesiados com benzocaína (80 ppm) para o abate. Em seguida, cada peixe foi pesado em balança digital portátil (0,01 g). Foram analisados o ganho de peso, conversão alimentar, taxa de eficiência proteica, retenção de nitrogênio, índice hepato somático e sobrevivência.

A retenção de nitrogênio, na carcaça dos peixes, foi determinada, segundo a expressão descrita por Jauncey & Ross (1982).

$$R_N(\%) = \left(\frac{(P_f \times N_f) - (P_i \times N_i)}{N_c} \right) \times 100$$

em que:

R_N = retenção do nitrogênio (%)

P_f e P_i = peso final e inicial médio dos peixes, respectivamente (g);

N_f e N_i = % nitrogênio no peixe ao final e início do experimento, respectivamente;

N_c = nitrogênio consumido (g).

Para a determinação da umidade e composição corporal (proteína, extrato etéreo, cinza, cálcio e fósforo), seis peixes inteiros de cada unidade experimental, exceto escamas, foram triturados em liquidificador, depois levados à estufa de ventilação forçada a 55°C por 72 h e moídos em moinho bola.

Os ossos submandibulares da cabeça de seis peixes de cada unidade experimental

foram retirados, desengordurados durante 24 h com éter de petróleo e secos em estufa de ventilação forçada a 45°C por 12 h e moídos em moinho bola para procedimento das análises de cálcio e fósforo. A coleta dos ossos para determinação desses minerais foi realizada, segundo a metodologia descrita por Furuya et al. (2001).

As análises de umidade e composição corporal dos peixes, das dietas e dos ossos foram realizadas no Laboratório de Análises de Alimentos do Departamento de Zootecnia da Universidade Estadual de Maringá, de acordo com as metodologias descritas por Silva & Queiroz (2002).

Por meio do programa computacional SAEG (UFV, 2002), os dados das variáveis de desempenho, composição corporal, ossos e qualidade de água dos tratamentos com diferentes níveis de fitase foram submetidos à análise de regressão polinomial ($P < 0,05$). Para comparar os dados do tratamento-controle positivo (dieta com fosfato bicálcico) com os dados de cada um dos tratamentos foi utilizado o teste “*t*” ($P < 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios de desempenho produtivo do matrinxã alimentados, com dietas com fosfato bicálcico e sem fosfato bicálcico com ou sem fitase, encontram-se na Tabela 2. Pelas análises de regressão não foram observados efeitos dos níveis de fitase ($P > 0,05$) sobre as variáveis de desempenho produtivo.

O uso de dietas com fitase não afetou ($P > 0,05$) o ganho de peso e a sobrevivência do matrinxã ao final do período experimental, estando de acordo com o observado para juvenis de salmão do Atlântico (Sajjadi & Carter, 2004; Denstadli et al., 2007), para juvenis de “Korean rock fish” *Sebastes schlegeli* (Yoo et al., 2005) e para juvenis de tilápia do Nilo (Furuya et al., 2006). Entretanto, uma melhora no ganho de peso dos peixes que receberam dietas suplementadas com fitase foi relatada por Vielma et al. (2004) com truta-arco-íris, Furuya et al. (2001) com a tilápia do Nilo e Debnath et al. (2005a) com o *Pangasius pangasius*, Nwanna et al. (2007) com a carpa comum. Por outro lado, Nwanna & Schwarz (2007) utilizaram, para a carpa comum, dieta sem fitase

e com $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ como fonte de fósforo (controle positivo), e outra sem nenhuma fonte de fósforo inorgânico sem e com fitase (1000, 2000 e 4000 UFA/kg) e observaram que o ganho de peso dos peixes que receberam a dieta controle positivo foi superior que os demais tratamentos.

Tabela 2 - Desempenho produtivo dos alevinos de matrinxã *Brycon cephalus*, alimentados com dietas com fosfato bicálcico (FB), sem fosfato bicálcico (SFB) e com diferentes níveis de fitase.

Variável	FB	SFB				CV ¹
		Níveis de Fitase (UFA/kg) [#]				
		0	500	1000	2000	
Peso inicial (g)	9,35	8,84	8,94	8,85	8,98	6,07
Ganho de peso médio (g)	44,14	41,13	37,56	38,42	43,44	15,61
Conversão alimentar	1,24 ^A	1,31 ^A	1,37 ^B	1,40 ^B	1,35 ^B	12,17
Taxa eficiência proteica (%)	2,53 ^A	2,34 ^A	2,30 ^A	2,24 ^B	2,41 ^A	13,00
Retenção de nitrogênio (%)	37,31 ^A	37,64 ^A	38,37 ^A	34,29 ^B	37,00 ^A	9,66
Índice hepato-somático (%)	1,65 ^A	1,63 ^A	1,52 ^B	1,60 ^A	1,64 ^A	7,49
Sobrevivência (%)	95,00	98,00	99,00	98,75	97,00	4,17

¹ Coeficiente de variação

[#] Valores não diferem entre si (ANOVA, P>0,05).

Valores na mesma linha com letras iguais não diferem (P>0,05) pelo teste “t”

Quando se comparou, por meio do teste de média, os parâmetros de desempenho dos peixes alimentados com a dieta que continha fosfato bicálcico com as demais, observou-se que a taxa de eficiência proteica e a retenção de nitrogênio em peixes alimentados com a dieta com fosfato bicálcico foram mais elevadas (P<0,05) em relação aos peixes que receberam dieta com 1000 UFA/kg de dieta.

A piora na conversão alimentar dos peixes que receberam dietas com fitase em comparação aos que consumiram dieta com fosfato bicálcico, como observado nesse experimento, também foi relatado para a truta arco-íris (Vielma et al., 2004) e para a tilápia do Nilo quando as dietas foram suplementadas com fitase em níveis de 500 a 1250 UFA/kg de dieta (Liebert & Portz, 2005). Estudos com o salmão do Atlântico, catfish e carpa comum, realizados por Hauler & Carter (1997), Li & Robinson (1997) e Nwanna & Schwarz (2007), respectivamente, indicaram que a fitase estimula o apetite dos peixes levando à piora na conversão alimentar. Contradizendo estes resultados, o uso da fitase melhorou a conversão alimentar de algumas espécies, conforme foi observado por Jackson et al. (1996) com juvenis de catfish, por Furuya et al. (2001) para a tilápia do Nilo, por Debnath et al. (2005a) com alevinos de *P. pangasius* e por Baruah et al. (2007) com o *L. rohita*.

O fato do uso da fitase, em dietas sem fosfato bicálcico, não afetar ($P>0,05$) a taxa de eficiência proteica e a retenção de nitrogênio dos peixes difere dos resultados obtidos por Debnath et al. (2005a), que utilizaram fitase em dietas com níveis de 150 a 2000 UFA/kg para o *P. pangasius* e obtiveram maior taxa de eficiência proteica quando comparada com a dieta sem esta enzima. Por outro lado, Vielma et al. (2002) relataram que a fitase não afetou a taxa de eficiência proteica da truta arco-íris, o que concorda com o observado para o matrinxã neste trabalho.

O índice hepato-somático dos peixes alimentados com a dieta suplementada com 500 UFA/kg foi inferior ($P<0,05$) ao dos que receberam a dieta com fosfato bicálcico. Entretanto, Yoo et al. (2005) não observaram efeito da fitase sobre o índice hepato-somático do “Korean rock fish”.

Os resultados do presente estudo indicam que o matrinxã possui baixa exigência em fósforo disponível, uma vez que o desempenho dos peixes alimentados com dietas que contêm fitase foi semelhante aos dos alimentados com a dieta controle sem fitase e da com fosfato bicálcico como fonte de fósforo.

Os valores médios da composição química dos peixes e a percentagem de cálcio e fósforo nos ossos do matrinxã encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3 - Composição corporal e percentagem de cálcio e fósforo nos ossos do matrinxã *Brycon cephalus*, alimentados com dietas com fosfato bicálcico (FB), sem fosfato bicálcico (SFB) e com diferentes níveis de fitase.

Variável (%)	FB	SFB				CV ¹
		Níveis de Fitase (UFA/kg)				
		0	500	1000	2000	
Carcaça						
Umidade ²	71,23	70,81	71,29	72,01	71,13	2,54
Proteína	16,34 ^A	16,18 ^A	16,26 ^A	15,51 ^B	15,69 ^B	1,86
Extrato Etéreo	7,21 ^A	7,86 ^B	7,75 ^B	8,03 ^B	7,80 ^B	4,98
Cinzas	9,08 ^A	8,22 ^B	8,51 ^B	8,48 ^B	8,12 ^B	3,84
Cálcio	0,68 ^A	0,57 ^B	0,55 ^B	0,54 ^B	0,55 ^B	6,84
Fósforo	0,55	0,52	0,54	0,52	0,52	4,37
Ossos						
Cálcio	17,91	18,02	17,81	18,12	17,42	3,61
Fósforo	10,05 ^A	10,07 ^A	10,10 ^A	10,43 ^B	10,03 ^A	2,77

¹ Coeficiente de variação

² Efeito quadrático: $Y = 29,2703 - 0,0019712X + 0,0000009X^2 - R^2 = 0,89$

Valores na mesma linha com letras iguais não diferem ($P>0,05$) pelo teste “t”.

Observou-se efeito quadrático dos níveis de fitase ($P < 0,05$) somente sobre a umidade dos peixes, em que foi estimado valor máximo da variável com 1121 UFA/kg de dieta. Entretanto, para a umidade, não houve diferença ($P > 0,05$) dos tratamentos com fitase quando comparado com aquele que contém o fosfato bicálcico. Resultado semelhante ao obtido neste estudo foi observado por Yoo et al. (2005) que forneceram dietas sem e com fitase (1000 e 2000 UFA/kg) para o “Korean rock fish” e não observaram efeitos da enzima. Este mesmo comportamento foi observado por Denstadli et al. (2007) em estudos com salmão do Atlântico alimentados com dietas suplementadas com 2900 UFA/kg.

A presença de fitase na dieta não resultou em diferenças ($P > 0,05$) sobre os teores de proteína corporal do matrinxã, o que concorda com o observado por Weerd et al. (1999) com o catfish africano *Clarias gariepinus*, Forster et al. (1999) com a truta arco-íris, Masumoto et al. (2001) com o “flounder japonês”, Liebert & Portz (2005) com a tilápia do Nilo, Yoo et al. (2005) com juvenis de “Korean rock fish”, Biswas et al. (2007a) com “Red seabream” *Pagrus major*. Entretanto, Debnath et al. (2005b) relataram aumento da proteína corporal do *P. pangasius* com a adição de fitase (150 a 2000 UFA/kg) nas dietas. A proteína corporal dos peixes que receberam a dieta com fosfato bicálcico não diferiu ($P > 0,05$) da dos peixes que receberam as dietas sem fitase e com 500 UFA/kg. Este resultado concorda com o observado por Liebert & Portz (2005) com a tilápia do Nilo, que também não observaram diferenças sobre a proteína corporal dos peixes com o uso de dietas com fosfato bicálcico ou sem fosfato bicálcico sem fitase.

No presente estudo, foi observado incremento ($P < 0,05$) na porcentagem de extrato etéreo nos peixes quando estes foram alimentados com dietas sem fosfato bicálcico, independente da presença da fitase ou não. Este comportamento pode estar relacionado com o fato de que a deficiência de fósforo nas dietas acelera a síntese de ácidos graxos, via citrato, a partir dos aminoácidos (Rodehutsord & Pfeffer, 1995). Por outro lado, Vielma et al. (1998) observaram aumento de extrato etéreo corporal na truta arco-íris quando estas receberam dietas com 1500 UFA/kg. Estes resultados diferem dos obtidos por Denstadli et al. (2007) que relataram redução no extrato etéreo do salmão do Atlântico com o uso de fitase na dieta. Redução nos níveis de extrato etéreo corporal também foi observada por Biswas et al. (2007b) que utilizaram dietas com fitase para camarões. Entretanto, nenhum efeito da fitase da dieta sobre a porcentagem nos níveis de extrato etéreo dos peixes foi observado por Yoo et al. (2005), Baruah et al. (2007);

Biswas et al. (2007a) com o “Korean rock fish”, *L. rohita* e “Red seabream”, respectivamente.

A suplementação de fitase não afetou ($P>0,05$) os teores de cinza, cálcio e fósforo da composição corporal do matrinxã. Este resultado está de acordo com os relatos de Yoo et al. (2005) para o “Korean rock fish”, e Biswas et al. (2007a) para o “Red seabream”. Por outro lado, os resultados aqui obtidos diferem dos encontrados por Vielma et al. (1998) e Sugiura et al. (2001) que observaram aumento na percentagem de cinzas da carcaça de truta arco-íris que receberam dieta suplementada com fitase. Com relação ao cálcio na carcaça, resultado diferente obtido foi relatado por Furuya et al. (2004) para a tilápia do Nilo, durante o período de reversão sexual que observaram incremento linear do cálcio na carcaça em função do aumento nos níveis de fitase. O fato de não ter sido observado efeito da fitase sobre os teores de fósforo na carcaça do matrinxã difere do relatado para o “Red seabream” (Biswas et al., 2007a) para a truta arco-íris (Sugiura et al., 2001; Vielma et al., 2004) e para o salmão do Atlântico (Sajjadi & Carter, 2004), que observaram maior deposição de fósforo na carcaça com a suplementação de fitase nas dietas.

Os teores de cinzas e cálcio das carcaças dos peixes alimentados com a dieta com fosfato bicálcico foram superiores ($P<0,05$) aos dos peixes alimentados com dietas sem fosfato bicálcico sem e com fitase. Os resultados obtidos com a dieta, com fosfato bicálcico em relação a sem fosfato bicálcico e sem fitase, estão de acordo com o relato de Liebert & Portz (2005) com tilápia do Nilo. Por outro lado, diferindo dos resultados deste trabalho, Forster et al. (1999), com truta arco-íris e Sajjadi & Carter (2004) com salmão do Atlântico, não observaram diferenças entre os teores e cinza na carcaça dos peixes alimentados com dietas com e sem fosfato bicálcico.

Os teores de fósforo nas carcaças do matrinxã não foram afetados ($P>0,05$) pelos diferentes tratamentos. Esse resultado difere do descrito para o salmão do Atlântico e tilápia do Nilo por Sajjadi & Carter (2004) e Liebert & Portz (2005), respectivamente.

Pela análise de regressão, não foi observado efeito da fitase ($P>0,05$) sobre a percentagem de cálcio e fósforo dos ossos dos peixes (Tabela 4). Contradizendo os resultados deste trabalho, maior deposição de cálcio e fósforo, nos ossos de peixes que receberam dietas suplementadas com fitase, foi observada por Liebert & Portz (2005), Furuya et al. (2001) e Furuya et al. (2006) para a tilápia do Nilo e por Debnath et al. (2005b) para o *P. pangasius*. Os efeitos positivos da adição de fitase sobre a retenção de cálcio e fósforo nos ossos também foram obtidos para o catfish (Jackson et al., 1996),

truta arco-íris (Vielma et al., 1998; Vielma et al., 2002), salmão do Atlântico (Sajjadi & Carter, 2004; Denstadli et al., 2007), *L. rohita* (Baruah et al., 2005) e para a tilápia do Nilo (Furuya et al., 2006).

Os peixes que receberam a dieta com fosfato bicálcico apresentaram menor percentagem de fósforo nos ossos ($P < 0,05$), quando comparado a dos peixes que receberam dietas com 1000 UFA/kg, enquanto que os teores de cálcio não diferiram ($P > 0,05$) (Tabela 3). Sajjadi & Carter (2004) também relatam maiores teores de fósforo nos ossos de salmão do Atlântico tratados com dietas com fosfato bicálcico. Devido ao fósforo ser um importante mineral constituinte do tecido esquelético (Roy & Lall, 2003), sua deficiência pode reduzir o crescimento e a deposição de minerais nos ossos (Lall, 2002) e pode causar deformidades ósseas em diversas regiões do corpo dos peixes (Sugiura et al., 2004; Cheng et al., 2005).

Durante todo o período experimental, bem como durante o abate e coleta de material, não foram observados sinais externos de deformidades ósseas nos peixes. Este fato pode estar relacionado com uma baixa exigência de fósforo pelos peixes, ou até mesmo com o tempo a que os peixes foram submetidos a dietas isentas de fosfato bicálcico. Segundo Hughes & Soares Jr. (1998), o fornecimento de dietas deficientes em fósforo por dez semanas provoca escoliose em juvenis de *Morone saxatilis*. De acordo com Yang et al. (2006), a ocorrência de anormalidades externas, em peixes alimentados com dietas com deficiência de fósforo, está relacionada com a duração do experimento. Para Roy & Lall (2003), a ocorrência ou não de deformidades ósseas, além de estar relacionada com a duração do experimento, pode ser influenciada por diversos fatores relacionados com a água, o peixe e a dieta utilizada.

Os parâmetros físicos e químicos da água, bem como os níveis de amônia total dissolvido e ortofosfato não foram afetados ($P > 0,05$) pelos diferentes níveis de fitase nas dietas (Tabela 4). Não foram observadas diferenças ($P > 0,05$) para a temperatura, pH, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica da água dos tratamentos com fitase, quando comparados com o tratamento contendo fosfato bicálcico, que permaneceram dentro da faixa recomendada para a aquicultura (Egna & Boyd, 1997) e para a espécie, em que a faixa ideal de temperatura para o bom desenvolvimento do matrinxã é de 25 a 30°C (Izel, 1995, Frascá-Scorvo et al., 2001).

Os níveis de amônia total dissolvida da água dos tanques em que os peixes receberam dieta com fosfato bicálcico apresentaram valores inferiores ($P < 0,05$) aos da água dos tanques em que os peixes receberam as dietas sem fosfato bicálcico com os

diferentes níveis de fitase (0, 500, 1000 e 2000). Dietas com deficiência de fósforo realizam a síntese de ácidos graxos a partir dos aminoácidos, liberando assim, maior quantidade de amônia para o meio (Rodehutschord & Pfeffer, 1995). Poucos são os estudos que avaliam o efeito na fitase sobre a excreção de amônia e a sua concentração na água dos tanques de cultivo de peixes. Entretanto, resultados diferentes aos obtidos, neste estudo, foram observados por Biswas et al. (2007b) com juvenis de camarão alimentados com dietas sem e com fitase em que observaram que não houve efeito da inclusão de 500 UFA/kg de dieta sobre a excreção de amônia.

Tabela 4 - Parâmetros físicos e químicos, amônia e ortofosfato na água dos tanques do matrinxã *Brycon cephalus*, alimentados com dietas com fosfato bicálcico (FB), sem fosfato bicálcico (SFB) e com diferentes níveis de fitase.

Parâmetro	FB	SFB				CV ¹
		Níveis de Fitase (UFA/kg) [#]				
		0	500	1000	2000	
Temperatura (°C)	26,64	26,79	26,93	26,89	26,84	0,72
O ₂ D (mg/L) ²	4,75	4,10	4,30	4,43	4,90	20,06
pH	7,09	7,14	7,13	7,16	7,22	1,47
CE (µS/cm) ³	165,63	1724,41	172,20	172,38	172,63	2,95
Amônia (mg/L)	0,130 ^A	0,410 ^B	0,340 ^B	0,335 ^B	0,364 ^B	19,01
Ortofosfato (mg/L)	0,625 ^A	0,010 ^B	0,010 ^B	0,012 ^B	0,018 ^B	42,73

¹ Coeficiente de variação

² O₂D = Oxigênio dissolvido

³ CE = Condutividade Elétrica

[#] Valores não diferem entre si (ANOVA, P>0,05).

Valores na mesma linha com letras iguais não diferem (P>0,05) pelo teste “t”.

O uso da dieta com fosfato bicálcico proporcionou valores mais elevados (P<0,05) de ortofosfato, quando comparado com aqueles obtidos com as demais dietas. A presença de grande disponibilidade de fósforo (1,12% Ptotal) na dieta que foi suplementada com fosfato bicálcico pode ter sido a responsável pelo alto teor de fósforo na água dos tanques que receberam estas dietas, pois, de acordo com Bureau & Cho (1999), o excedente de fósforo da dieta é excretado pelas fezes e urina dos peixes. Concordando com o resultado obtido no presente trabalho, menor excreção de fósforo com peixes alimentados com dietas suplementadas com fitase também foi obtida por Storebakken et al. (1998) quando utilizaram fitase (500 UFA/kg) para juvenis de salmão do Atlântico e por Vielma et al. (2000) em estudos com a truta arco-íris. Jackson et al. (1996) ofereceram ao catfish dieta com 500 UFA/kg e obtiveram redução de 33% no fósforo fecal em relação ao tratamento sem a enzima. Nwanna & Schwarz (2007), em

estudos com a carpa comum, observaram menor excreção de fósforo nos tratamentos que continham fitase, quando comparado com o tratamento com fósforo mineral e sem a enzima. Ainda em estudos com a carpa comum, Nwana et al. (2007) observaram que o emprego da fitase proporcionou redução de até 50% na excreção do fósforo fecal. Redução nos níveis de fósforo na água também foi observada para o cultivo de camarão com dietas suplementadas com 500 UFA/kg (Biswas et al., 2007b).

De forma geral, os resultados do presente estudo demonstram que a fitase não influencia o desempenho produtivo dos juvenis de matrinxã. Entretanto, o uso de dietas sem fosfato bicálcico suplementadas ou não com fitase leva à redução do fósforo excretado, um dos principais poluentes em criações intensivas de peixes e nos ambientes aquáticos.

CONCLUSÕES

A utilização de fitase não afetou o desempenho produtivo e a composição corporal dos juvenis de matrinxã. É possível utilizar dietas sem fosfato bicálcico e sem fitase sem prejuízos sobre o desempenho produtivo dos juvenis de matrinxã, com redução na excreção de fósforo para a água.

REFERÊNCIAS

- BARUAH, K.; PAL, A.K.; SAHU, N.P. et al. Dietary protein level, microbial phytase, citric acid and their interactions on bone mineralization of *Labeo rohita* (Hamilton) juveniles. **Aquaculture Research**, v.36, n.8, p803-812, 2005.
- BARUAH, K.; SUHU, N.P.; PAL, A.K. et al. Dietary microbial phytase and citric acid synergistically enhances nutrient digestibility and growth performance of *Labeo rohita* (Hamilton) juveniles at sub-optimal protein level, **Aquaculture Research**, v.38, n.2, p.109-120, 2007.
- BISWAS, A.K.; KAKU, H.; JI, S.C. et al. Use of soyben meal and phytase for partial replacement of fish meal in the diet of red sea bream, *Pagrus major*. **Aquaculture**, v.267, n.1-4, p.284-291, 2007a.
- BISWAS, P.; PAL, A.K.; SAHU, N.P. et al. Lysine and/or phytase supplementation in the diet of *Penaeus monodon* (Fabricius) juveniles: Effect on growth, body composition and lipid profile. **Aquaculture**, v.265, n.1-4, p. 253-260, 2007b.
- BOCK, C.L.; PEZZATO, L.E.; CANTELMO, O.A. et al. Fitase e digestibilidade aparente de nutrientes de rações por tilápias do Nilo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.5, p.2197-2202, 2006.
- BUREAU, D.P.; CHO, C.Y. Phosphorus utilization by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): estimation of dissolved phosphorus waste output. **Aquaculture**, v.179, n.1-4, p.127-140, 1999.
- CAIN, K.D.; GARLING, D.L. Pretreatment of soybean meal with phytase for salmonid diets to reduce phosphorous concentrations in hatchery effluents. **The Progressive Fish-Culturist**, v.57, n.2, p.114-119, 1995.
- CHENG, A.C.; WU, J.D.; YANG, S.D. et al. Dietary phosphorus requeriment of juvenile Malabar grouper (*Epinephelus malabaricus*). **Journal of Fish Society Taiwan**, v.32, p.41-52, 2005.
- DEBNATH, D.; PAL, A.K.; SAHU, N.P. et al. Effect of dietary microbial phytase supplementation on growth and nutrient digestibility of *Pangasius pangasius* (Hamilton) fingerlings. **Aquaculture Research**, v.36, n.2, p.180-187, 2005a.
- DEBNATH, D.; SAHU, N.P.; PAL, A.K. et al. Mineral status f *Pangasius pangasius* (Hamilton) fingerling in relation to supplemental phytase: absorpition, whole-body and bone mineral content. **Aquaculture Research**, v.36, n.4, p.326-335, 2005b.
- DENSTADLI, V.; STOREBAKKEN, T.; SVIHUS, B. A comparison of online phytase pre-treatment of vegetable feed ingredients and phytase coating in diets for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) reared in cold water, **Aquaculture**, v.269, n. -4, p.414-426, 2007.
- EGNA, H.S.; BOYD, C.E. **Dynamics of pond aquaculture**, Boca Raton: CRC Press, 1997. 342p.
- FORSTER, I.; HIGGS, D.A.; DOSANJH, B.S. Potential for dietary phytase to improve the nutritive value of canola protein concentrate and decrease phosphorus output in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) held in 11°C fresh water. **Aquaculture**, v.179, n.1-4, p.109-125, 1999.
- FRASCÁ-SCORVO, C.M.D.; CARNEIRO, D.J.; MALHEIROS, E.B. Comportamento alimentar do matrinxã (*Brycon cephalus*) no período de temperaturas mais baixas. **Boletim do Instituto de Pesca**, v.27, n.1, p.1-5, 2001.

- FURUYA, W.M.; GONÇALVES, G.S.; FURUYA, V.R.B. et al. Fitase na alimentação da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) Desempenho e digestibilidade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, n.3, p.924-929, 2001.
- FURUYA, W.M.; NEVES, P.R.; SILVA, L.C.R. et al. Fitase na alimentação da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), durante o período de reversão de sexo. **Acta Scientiarum – Animal Sciences**, v.26, n.3, p.299-303, 2004.
- FURUYA, W.M.; BOTARO, D.; SILVA, L.C.R. da et al. Fitase em dietas para a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) (175 a 327 g). **Archivos de Zootecnia**, v.55, n.210, p.161-170, 2006.
- GONÇALVES, G.S. **Digestibilidade aparente de alimentos vegetais suplementados com fitase pela tilápia do Nilo *Oreochromis niloticus***. Botucatu: Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, 2003. 72p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia - Universidade Estadual Paulista, 2003.
- HAULER, R.C.; CARTER, C.G. Phytase stimulates appetite on Atlantic salmon *salmo salar* parr fed soybean meal. **Proceedings of the Nutrition Society of Australia**, v.21, 139, 1997.
- HUGHES, K.P.; SOARES JR., J.H. Efficacy of phytase on phosphorus utilization in practical diets fed to striped bass *Morone saxatilis*. **Aquaculture Nutrition**, v.4, n.2, p.133-140, 1998.
- IZEL, A.C.V. A qualidade do solo e da água. **IN: Criando peixes na Amazônia**. Val, A.L. e Honczaryk, A. (ed.) Manaus:INPA, p.17-27, 1995.
- JACKSON, L.S.; MENG, H.L.; ROBINSON, E.H. Use de microbial phytase in channel catfish *Ictalurus punctatus* diets to improve utilization of phytase phosphorus. **Journal of the World Aquaculture Society**, v.27, n.3, p.309-313, 1996.
- JAUNCEY, K.; ROSS, B. **A guide to tilapia feeds and feeding**. Scotland: University Press, 1982. 111p.
- LALL, S.P. *The minerals*, In: HALVER, J. E.; HARDY, R. W. **Fish Nutrition**, 3rd ed. San Diego: Academic Press, 2002. p.260-308.
- LIEBERT, F.; PORTZ, L. Nutrient utilization of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* fed plant based low phosphorus diets supplemented with graded levels of different sources of microbial phytase. **Aquaculture**, v.248, n.1-4, p.111-119, 2005.
- LIEBERT, F.; PORTZ, L. Different sources of microbial phytase in plant based low phosphorus diets for Nile tilapia *Oreochromis niloticus* may provide different effects on phytase degradation, **Aquaculture**, v. 267, n.1-4, p.292-299, 2007.
- LI, M.H.; ROBINSON, E.H. microbial phytase can replace inorganic phosphorus supplements in channel cat-fish (*Ictalurus punctatus*) diets. **Journal of World Aquaculture Society**, v.28, p.402-406, 1997.
- LOVELL, R.T. **Nutrition and feeding of fish**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1988. 260p.
- MARQUES, N.R.; HAYASHI, C.; FURUYA, W.M. et al. Influência da densidade de estocagem no cultivo de alevinos de matrinxã *Brycon cephalus* (Günther, 1869) em condições experimentais. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v.26, n.1, p.55-59, 2004.
- MASUMOTO, T.; TAMURA, B.; FHIMENO, S. Effects of phytase on bioavailability of phosphorus in soybean meal-based diets for Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. **Fisheries Science**, v.67, n.6, p.1075-1080, 2001.
- NWANNA, L.C.; EISENREICH, R.; SCHWARZ, F.J. Effect of wet-incubation of dietary plant feedstuffs with phytase on growth and mineral digestibility by common carp (*Cyprinus carpio* L.). **Aquaculture**. 2007, doi:

- 10.1016/j.aquaculture.2007.04.020
- NWANNA, L.C.; SCHWARZ, F. Effect of supplementation phytase on growth, phosphorus digestibility and bone mineralization of common carp (*Cyprinus carpio* L.) **Aquaculture Research**, v.38, n.10, p.1037-1044, 2007.
- PEREIRA FILHO, M. Estudos desenvolvidos no INPA (Manaus-Amazonas) com o matrinxã, *Brycon cephalus* (Günther, 1869). In: I SEMINÁRIO SOBRE CRIAÇÃO DE ESPÉCIES DO GÊNERO *BRYCON*, 1994, Pirassununga, **Anais...** Pirassununga: 1994.
- REIMER, G. The influence of diet on the digestive enzyme of the Amazon fish matrinxã, *Brycon cf. melanopterus*. **Journal of Fish Biology**, v.21, n.6, p.637-642, 1982.
- ROY, P.K.; LALL, S.P. Dietary phosphorus requirement of juvenile haddock (*Melanogrammus aeglefinus* L.). **Aquaculture**, v.221, n.1-4, p.451-468, 2003.
- RODEHUTSCORD, M.; PFEFFER, E. Effects of supplemental microbial phytase on phosphorus digestibility and utilization in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Water Science Technology**, v.31, n.10, p.143-147, 1995.
- SAJJADI, M.; CARTER, C.G. Dietary phytase supplementation and the utilization of phosphorus by Atlantic salmo (*Salmo salar* L.) fed a canola-meal-based diet. **Aquaculture**, v.240, n.1-4, p.417-431, 2004.
- SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de alimentos** (métodos químicos e biológicos). Viçosa, MG: Editora UFV, 2002, 235p.
- STOREBAKKEN, T.; SHEARER, K.D.; ROEM, A.J. Availability of protein, phosphorus and other elements in fish meal, soy-protein concentrate and phytase-treated soy-protein-concentrate-based diets to Atlantic salmon, *Salmo salar*. **Aquaculture**, v.161, n.1-4, p.365-379, 1998.
- SUGIURA, S.H.; GABAUDAN, J.; DONG, F.M. et al. Dietary microbial phytase supplementation and the utilization of phosphorus, trace minerals and protein by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed soybean meal-based diets. **Aquaculture Research**, v.32, n.7, p.583-592, 2001.
- SUGIURA, S.H.; HARDY, R.W.; ROBERTS, R.J. The pathology of phosphorus deficiency in fish – a review. **Journal of Fish Disease**, v.27, p.255-265, 2004.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA - UFV. **SAEG** - Sistema de análises estatísticas e genéticas. Versão 8.0, Viçosa, MG, 2002, 142p. (Manual do usuário)
- VIELMA, J.; LALL, S.P.; KOSKELA, J. et al. Effects of dietary phytase and cholecalciferol on phosphorous bioavailability in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, v.163, n.3, p.309-323, 1998.
- VIELMA, J.; MÄKINEN, T.; EKHOLM, P. et al. Influence of dietary soy and phytase levels on performance and body composition of large rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and algal availability of phosphorus load. **Aquaculture**, v.183, n.3-4, p.349-362, 2000.
- VIELMA, J.; ROUHONEN, K.; PEISKER, M. Dephytinization of two soy proteins increases phosphorus and protein utilization by rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. **Aquaculture**, v.204, n.1-2, p.145-156, 2002.
- VIELMA, J.; RUOHONEN, K.; GABAUDAN, J. et al. Top-spraying soybean meal-based with phytase improves protein and mineral digestibilities but not lysine utilization in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). **Aquaculture Research**, v.35, n.10, p.955-964, 2004.
- XAVIER, C.F.; DIAS, L.N.; BRUNKOW, R.F. Eutrofização. In: ANDREOLI, C.V.; CARNEIRO, C. **Gestão integrada de mananciais de abastecimento eutrofizados**. Curitiba: Sanepar, Finep, 2005.

- YANG, S.; LIN, T.; LIU, F. et al. Influence of dietary phosphorus levels on growth, metabolic response and body composition of juvenile silver perch (*Bidyanus bidyanus*). **Aquaculture**, v.253, n.1-4, p.592-601, 2006.
- YOO, G.; WANG, X.; CHOI, S. et al. Dietary microbial phytase increased the phosphorus digestibility in juvenile Korean rockfish *Sebastes schlegeli* fed diets containing soybean meal. **Aquaculture**, v.243, n.1-4, p.315-322, 2005.
- WEERD, J.H.; KHALAF, K.H.A.; AARTSEN, F.J. et al. Balance trials with African catfish *Clarias gariepinus* fed phytase-treated soybean meal-based diets. **Aquaculture Nutrition**, v.5, n.2, p.135-142, 1999.

IV - Fitase Microbiana em Dietas para o Piavuçu *Leporinus macrocephalus*: Desempenho, Composição Corporal, Qualidade de Água e Digestibilidade

RESUMO – Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a utilização de fitase microbiana sobre o desempenho, composição corporal, digestibilidade e qualidade da água no cultivo do piavuçu alimentado com dietas com ingredientes vegetais. Foram utilizados 200 alevinos ($10,90 \pm 1,70$ g) que foram distribuídos em 25 tanques de cimento amianto (200 L cada), em um delineamento inteiramente casualizado, com cinco tratamentos e cinco repetições. Foram formuladas dietas com fosfato bicálcico e sem fosfato bicálcico sem e com diferentes níveis de fitase (500, 1000 e 2000 unidades de fitase ativa - UFA/kg), contendo 1,12 % de fósforo total para a dieta com fosfato bicálcico e 0,58% de fósforo total para as dietas isentas de fosfato bicálcico. Para o ensaio de digestibilidade, foram utilizados 50 peixes ($113,39 \pm 29,31$ g), as dietas avaliadas foram as mesmas do experimento de desempenho. Não foram observados efeitos da inclusão de fitase sobre o desempenho produtivo. Foi observado aumento linear nos teores de cinzas na carcaça e nos coeficientes de digestibilidade aparente da matéria seca, energia bruta, proteína bruta, extrato etéreo e disponibilidade do fósforo em função do aumento nos níveis de fitase. Foi observado efeito quadrático da inclusão de fitase sobre o teor de matéria seca na carcaça e de fósforo nos ossos, em que foram estimados os valores máximos com a inclusão de 1000 e 1071 UFA/kg de dieta. Foi observado maior conteúdo de proteína na carcaça, menor excreção de fósforo e maior disponibilidade do fósforo em peixes que receberam a dieta com fitase. Concluiu-se que é possível a utilização de dietas isentas de proteína de origem animal sem a inclusão de fosfato bicálcico e fitase para juvenis de piavuçu sem prejuízos sobre o desempenho e menor excreção de fósforo para a água.

Palavras-chave: desempenho, digestibilidade, enzima, qualidade de água, minerais.

V – Microbial Phytase in Diets of Piavuçu *Leporinus macrocephalus*: Performance, Corporal Composition, Water Quality and Digestibility

ABSTRACT - this work objective to study the use of microbial phytase on performance, corporal composition, digestibility and water quality in the piavuçu growth fed with diets containing vegetable ingredients. A total of 200 fingerlings ($10.90 \pm 1.70\text{g}$) distributed in 25 amianthus cement tank (200 L each one) in a totally random design with five treatments and five replications, were used. There were formulated diets with and without dicalcium phosphate, with and without different phytase levels (500, 1000 and 2000 units of active phytase – UFA/kg), containing 1.12% of total phosphorus to diets with dicalcium phosphate and 0.58% of total phosphorus for diets free of dicalcium phosphate. To the digestibility trial a total of 50 fish (113.39 ± 29.31) were used and evaluated diets were the same of the performance experiment. It was not observed the effect of the phytase inclusion on productive performance. It was observed a linear increase in the carcass ash and in the apparent digestibility coefficient of dry matter, gross energy, crude protein, ether extract as well as in the phosphorus availability in relation to the increased phytase levels. It was also observed a quadratic effect of the phytase inclusion on carcass dry matter content and phosphorus in the bones which were estimated the maximum values with the inclusion of 1000 and 1071 UFA/kg of diet. It was observed a higher content of protein in carcass, lower phosphorus excretion and higher phosphorus availability in fish receiving diet with phytase. It was conclude that it is possible to use diets free of animal protein without dicalcium phosphate and phytase inclusion to piavuçu juveniles without damage the performance and lower phosphorus excretion to the water.

Keywords: performance, digestibility, enzyme, water quality, minerals.

INTRODUÇÃO

O piavuçu *Leporinus macrocephalus* é uma espécie nativa do Brasil de hábito alimentar onívoro e comportamento alimentar diurno que tem capacidade de exploração de uma grande diversidade de fontes alimentares (Rotta, 2003). Em confinamento, apresenta bom desempenho, possui grande facilidade de adaptação a dietas artificiais, rápido crescimento, e carne com boas características sensoriais (Soares et al., 2000; Ribeiro et al., 2001).

O fósforo é um mineral essencial para o crescimento e reprodução dos peixes e um importante constituinte estrutural do tecido esquelético (Roy & Lall, 2003). Nos ingredientes de origem vegetal mais utilizados, em dietas para peixes (milho e soja), cerca de 70% do fósforo encontra-se na forma de ácido fítico, indisponível aos peixes, pois estes não possuem fitase endógena que permite utilizar o fósforo (Storebakken et al., 1998). A suplementação de dietas com fósforo inorgânico, principalmente na forma de fosfato bicálcico, é comum quando se utiliza dietas com elevadas proporções de ingredientes de origem vegetal, principalmente para peixes onívoros, que apresentam boas respostas de desempenho em dietas sem ingredientes de origem animal (Gonçalves, 2003). O excesso de fósforo nos corpos d'água leva à produção de fitoplâncton e plantas aquáticas (Vielma et al., 1998), alterando a qualidade da água, e por consequência, podendo afetar as características sensoriais da carne, além de provocar a mortalidade dos peixes pela eutrofização excessiva (Cain & Garling, 1995).

A poluição ambiental tem sido preocupação constante dos nutricionistas que trabalham com organismos aquáticos. Como alternativa para reduzir o fósforo excretado pelos peixes, tem-se avaliado a inclusão de fitase microbiana para aumentar a disponibilidade do fósforo (Furuya et al., 2001; Bock et al., 2006), resultando em melhora no desempenho produtivo e aumento na retenção de minerais na carcaça e nos ossos dos peixes, como já foi demonstrado para várias espécies (Jackson et al., 1996; Vielma et al., 1998; Forster et al., 1999; Furuya et al., 2006; Liebert & Portz, 2007; Nwanna et al., 2007).

O presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a utilização de dietas com fosfato bicálcico sem e com níveis crescentes de fitase para o piavuçu *Leporinus macrocephalus* sobre o desempenho, composição da carcaça, digestibilidade da energia e nutrientes e qualidade da água.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi conduzido no Laboratório de Aquicultura do Núcleo de Pesquisas em Limnologia, Ictiologia e Aquicultura da Universidade Estadual de Maringá, durante os meses de abril a junho de 2006, por 64 dias. Foram utilizados 200 alevinos de piavuçu ($10,90 \pm 1,70$ g), distribuídos em 25 tanques de fibrocimento com volume unitário útil de 200 L em um delineamento inteiramente casualizado com cinco tratamentos e cinco repetições.

Foram formuladas duas dietas experimentais, tendo como base o farelo de soja e o milho, uma com fosfato bicálcico (controle positivo) e outra sem fosfato bicálcico (controle negativo). A dieta controle negativo recebeu diferentes níveis de fitase (500, 1000 e 2000 UFA/kg) (Tabela 5).

Os ingredientes utilizados para o preparo das dietas foram moídos em moinho tipo faca com peneira de 0,75 mm. Após pesagem, os ingredientes foram homogeneizados manualmente. A fitase foi pesada em balança analítica digital (0,01g), dissolvida em água (50°C) e incorporada às dietas. Todas dietas foram umedecidas com água a 50°C na proporção de 30% do peso total da mistura, depois foram incubadas por 30 min, permanecendo cobertas com plástico preto. Após, foram aglomeradas em moedor de carne elétrico e desidratada em estufa de ventilação forçada (45°C) por 24 h. Após secagem, os grânulos foram desintegrados por meio de moedor elétrico e separados por meio de peneiras para granulometrias de solos. Visando fornecer dietas com pelets no tamanho adequado ao tamanho da boca dos peixes, foram utilizados pelets de duas diferentes granulometrias. No início, os pelets utilizados continham de 1,18 a 2 mm e à medida que os peixes foram crescendo, passou-se a utilizar pelets de 2 a 4 mm. O arraçoamento foi feito, manualmente, e parcelado em quatro vezes ao dia (8; 11; 14 e 17 h), à vontade até a saciedade.

Cada tanque possuía entrada e saída de água individual e aeração contínua por meio de pedra porosa, conectada a um soprador de ar, de forma a manter o oxigênio dissolvido entre 5 a 7 mg/L. A temperatura foi mantida entre 24 a 27°C, por meio de aquecedores de 100 Watts. Durante todo o período experimental, os tanques foram mantidos cobertos com sombrite preta (50%) para reduzir a incidência de luz, e assim, minimizar a produção primária. Os tanques também foram mantidos cobertos com lona

plástica transparente para evitar a entrada de água da chuva.

Tabela 5 - Composição percentual e química das dietas experimentais com fosfato bicálcico (FB), sem fosfato bicálcico (SFB) e com diferentes níveis de fitase para o piavuçu *Leporinus macrocephalus*

Ingredientes	FB	SFB			
		Níveis de Fitase (UFA/kg)			
		0	500	1000	2000
Farelo de soja	62,34	62,31	62,31	62,31	62,31
Milho	29,35	29,40	29,40	29,40	29,40
Bagaço de cana	2,17	4,7	4,7	4,7	4,7
Calcário calcítico	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28
DL-Metionina	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
L-Lisina	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Fosfato bicálcico	2,61	--	--	--	--
Óleo de soja	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Premix ¹	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Vitamina C ²	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Antioxidante ³	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Sal comum	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Fitase ⁴ (%)	--	--	0,005	0,010	0,020
Nutrientes ⁵					
Matéria seca (%)	92,51	90,23	90,23	90,23	90,23
Energia bruta (kcal/kg)	4035,95	4157,45	4157,45	4157,45	4157,45
Proteína bruta (%)	32,89	32,80	32,80	32,80	32,80
Fibra bruta (%)	3,11	4,42	4,42	4,42	4,42
Extrato etéreo (%)	2,20	2,00	2,00	2,00	2,00
Cálcio (%)	1,75	1,23	1,23	1,23	1,23
Fósforo total (%)	1,12	0,58	0,58	0,58	0,58

¹ Suplemento mineral e vitamínico (Supre Mais): composição por kg: Vit. A = 500.000 UI; vit. D3 = 200.000 UI; vit. E = 5.000 mg; vit. K3 = 1.000 mg; vit. B1 = 1.500 mg; vit. B2 = 1.5000 mg; vit. B6 = 1.500 mg; vit. B12 = 4.000 mg; ác. Fólico = 500 mg; pantotenato de Ca = 4.000 mg; vitamina C = 15.000 mg; biotina = 50 mg; colina = 40.000 mg; niacina = 24.000 mg; Fe = 5.000 mg; Mn = 1.500 mg; Cu = 500 mg; Zn = 5.000 mg; I = 20 mg; Co = 10 mg e Se = 210 mg;

² Vitamina C: (42% de ácido ascórbico).

³ Butil Hidroxi Tolueno.

⁴ Fitase microbiana (Natuphos 10000® - BASF, Brasil)

⁵ Valores determinados no Laboratório de Análises de Alimentos - DZO/UEM

Diariamente, às 8 e 17 h, foi monitorada a temperatura da água dos tanques, utilizando termômetro de mercúrio graduado de 0 a 50°C. Ainda, diariamente, uma hora após a primeira alimentação, foi realizada a sifonagem do fundo dos tanques para retirada das fezes e renovação de 20% do volume total de água. Os parâmetros químicos da água, como pH, condutividade elétrica (mS/cm) e oxigênio dissolvido (mg/L), foram tomados semanalmente com peagâmetro (Oakton), condutivímetro (Digital-Leitwert-Messgerät/VDSF-G) e oxímetro (YSI Model 55-12FT), respectivamente.

Para determinar a concentração de ortofosfato (ppm) e amônia total (mg/L) da água de cada tanque, foi retirada, ao final do período experimental, uma amostra de 500 mL de água (30 cm de profundidade) de cada um dos cantos e no centro de cada tanque. Esta amostra foi reduzida a 50 mL. Uma alíquota de 5 mL foi pipetada, transferida para cubetas onde se acrescentaram os reagentes específicos. Na sequência foi feita a leitura em fotocolorímetro (SL 2K da Alfakit).

Ao final do período experimental, os peixes foram mantidos em jejum por 24 h, anestesiados com benzocaína (80 ppm) para o abate. Em seguida, cada peixe foi pesado em balança digital (0,01 g) portátil. Foram analisados o ganho de peso, conversão alimentar, taxa de eficiência proteica, retenção de nitrogênio, índice hepato-somático e sobrevivência.

A retenção de nitrogênio na carcaça dos peixes foi determinada segundo a expressão descrita por Jauncey & Ross (1982).

$$R_N(\%) = \left(\frac{(P_f \times N_f) - (P_i \times N_i)}{N_c} \right) \times 100$$

em que:

R_N = retenção do nitrogênio (%)

P_f e P_i = peso final e inicial médio dos peixes, respectivamente (g);

N_f e N_i = % nitrogênio no peixe ao final e início do experimento, respectivamente;

N_c = nitrogênio consumido (g)

Para a determinação da umidade e composição corporal (proteína, extrato etéreo, cinza), quatro peixes inteiros de cada unidade experimental, exceto escamas, foram triturados em liquidificador, depois levados à estufa de ventilação forçada a 55°C, por 72 h e posterior moagem em moinho bola.

Os ossos submandibulares da cabeça de seis peixes de cada unidade experimental foram retirados, desgordurados durante 24 horas com éter de petróleo e secos em estufa de ventilação forçada a 45°C por 12 horas e moídos em moinho bola para serem feitas análises de cálcio e fósforo. A coleta dos ossos para determinação desses minerais foi realizada segundo a metodologia descrita por Furuya et al. (2001).

Para o ensaio de digestibilidade, foram utilizadas cinco cubas de fibra de vidro (150 L cada) com copo coletor conectado à extremidade inferior. As cubas foram providas de sistema de aeração artificial por meio de pedras porosas conectadas a um soprador de ar e sistema de aquecimento através de aquecedores com termostatos para

manter a temperatura entre 27 e 28 °C. A água das cubas foi trocada em 100%, duas vezes ao dia (manhã e tarde). Cada cuba continha dez peixes ($113,39 \pm 29,31$ g) que foram alimentados por uma semana para adaptação e foi considerado como repetição um “pool” de coletas realizadas durante sete dias, sendo que para cada tratamento foram coletadas três repetições. As fezes de cada dieta foram coletadas diariamente, às 8 e 17 horas pelo sistema de Guelph modificado, de acordo com metodologia descrita por Pezzato et al. (2002).

As análises químicas dos peixes, das dietas, das fezes e dos ossos foram realizadas no Laboratório de Análises de Alimentos do Departamento de Zootecnia da Universidade Estadual de Maringá, de acordo com as metodologias descritas por Silva & Queiroz (2002). A determinação da energia bruta foi realizada no Laboratório de Ecologia Energética do Núcleo de Pesquisa em Limnologia, Ictiologia e Aquicultura da Universidade Estadual de Maringá, em bomba calorimétrica PARR 1261.

Os coeficientes de digestibilidade aparente (CDA) foram determinados usando o óxido de cromo (0,1%) como indicador. Os CDA foram determinados de acordo com a equação descrita por Nose (1960)

$$DA_N = 100 - \left[100 * \left(\frac{\% I_d}{\% I_f} \right) * \left(\frac{\% N_f}{\% N_d} \right) \right]$$

em que:

DA_N = digestibilidade aparente do nutriente;

$\%I_d$ e $\%I_f$ = porcentagem do indicador na dieta e nas fezes, respectivamente;

$\%N_f$ e $\%N_d$ = porcentagem do nutriente nas fezes e na dieta, respectivamente.

Por meio do programa computacional SAEG (UFV, 2002), os dados das variáveis de desempenho, composição corporal, ossos, qualidade de água e digestibilidade aparente dos tratamentos com diferentes níveis de fitase, foram submetidos à análise de regressão polinomial ($P < 0,05$). Para comparar os dados do tratamento controle positivo (dieta com fosfato bicálcico) com os dados de cada um dos tratamentos foi utilizado o teste “*t*” ($P < 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios das variáveis de desempenho produtivo dos alevinos do piavuçu encontram-se na Tabela 6. Pela análise de regressão, o uso de dietas com diferentes níveis de fitase não afetou ($P>0,05$) o ganho de peso, conversão alimentar, taxa de eficiência proteica, taxa de retenção de nitrogênio, índice hepato-somático e sobrevivência dos peixes. Estes mesmos resultados foram observados por Furuya et al. (2004) que avaliaram dietas sem e com 500 a 4000 UFA/kg para a tilápia do Nilo *Oreochromis niloticus* durante o período de reversão sexual. Também relataram os mesmos resultados Yoo et al. (2005) que alimentaram o “Korean rock fish” *Sebastes schlegli* com dietas com fitase (0 a 2000 UFA/kg) e Nwanna & Schwarz (2007) com a carpa comum *Cyprinus carpio*, alimentadas com dietas com 1000, 2000 e 4000 UFA/kg de fitase.

Tabela 6 - Desempenho produtivo do piavuçu *Leporinus macrocephalus*, alimentado com dietas com fosfato bicálcico (FB), sem fosfato bicálcico (SFB) e com diferentes níveis de fitase.

Variável	FB	SFB				CV ¹
		Níveis de Fitase (UFA/kg) [#]				
		0	500	1000	2000	
Peso inicial médio (g)	10,62	10,76	10,95	10,59	10,76	2,23
Ganho em peso médio (g)	28,81	32,39	30,42	28,45	28,89	13,90
Conversão alimentar	1,84	1,50	1,69	1,68	1,73	15,16
Eficiência proteica (%)	1,75	2,11	1,86	1,88	1,83	13,39
Retenção de nitrogênio (%)	57,03 ^A	69,06 ^B	61,41 ^A	61,98 ^A	60,02 ^A	12,77
Índice hepato-somático (%)	1,13	1,02	1,23	1,17	1,14	8,83
Sobrevivência (%)	97,50	96,88	96,88	100,00	95,00	7,32

¹ CV = Coeficiente de variação

[#] Valores não diferem entre si (ANOVA, $P>0,05$).

Valores na mesma linha com letras iguais diferem ($P>0,05$) pelo teste “t”

Entretanto, resultados que diferem do obtido, neste experimento, foram relatados por Liebert & Portz (2005) e Furuya et al. (2006) que observaram piora na conversão alimentar e melhora no ganho de peso da tilápia do Nilo, respectivamente, alimentadas com dietas com fitase. Por outro lado, Nwanna et al. (2007) relataram que o uso de fitase melhorou a conversão alimentar da carpa comum.

Por meio do teste de média “t”, não foi observado diferenças ($P>0,05$) no uso da dieta com fosfato bicálcico, em relação às dietas sem fosfato bicálcico sem e com fitase

sobre o ganho de peso, concordando com os relatos de Sajjadi & Carter (2004), com o salmão do Atlântico *Salmo salar*. Entretanto, diferindo destes resultados, Vielma et al. (2002) e Vielma et al. (2004) com a truta arco-íris *Oncorhynchus mykiss*, Liebert & Portz (2005) com a tilápia do Nilo, Nwanna et al. (2007) e Nwanna & Schwarz (2007) com a carpa comum, observaram maior ganho de peso dos peixes alimentados com dieta com fosfato bicálcico quando comparado com os que consumiram a dieta sem fosfato bicálcico e sem fitase.

Os valores de conversão alimentar dos peixes que receberam a dieta com fosfato bicálcico não diferiram ($P>0,05$) dos obtidos com os peixes que receberam as dietas sem fosfato bicálcico com e sem fitase. Resultados semelhantes foram observados por Vielma et al. (2000) que também não observaram nenhum efeito da fitase em dietas para a truta arco-íris. Entretanto, relatos de que o uso da fitase melhora a conversão alimentar dos peixes, em relação a dietas com fosfato bicálcico, foram publicados por Jackson et al. (1996) com o catfish *Ictalurus punctatus*, Cain & Garling (1995) e Storebakken et al. (1998) com o salmão do Atlântico e Baruah et al. (2007) com o *Labeo rohita*.

Os resultados observados, neste trabalho, de que o uso da fitase em dietas sem fosfato bicálcico não afetou ($P>0,05$) a taxa de eficiência proteica e a retenção de nitrogênio do piavuçu também foram observados por Yoo et al. (2005) com Korean rock fish, por Furuya et al. (2006) com a tilápia do Nilo e por Baruah et al. (2007) com o *L. rohita*. Entretanto, aumentos na taxa de eficiência proteica dos peixes alimentados com dietas com fitase em relação à dieta sem fitase foram observados por Vielma et al. (2004) com truta arco-íris e por Debnath et al. (2005a) para os alevinos de *P. pangasius* e por Baruah et al. (2007) com o *L. rohita*. Por outro lado, Vielma et al. (2004) com truta arco-íris e Liebert & Portz (2005) com a tilápia do Nilo relataram que a taxa de eficiência proteica dos peixes que receberam a dieta com fosfato bicálcico foi superior a dos que receberam a dieta sem fosfato e sem fitase, diferindo dos resultados observados neste trabalho.

O fato de o desempenho produtivo dos peixes, que receberam as dietas com diferentes níveis de suplementação de fitase, ter sido semelhante aos dos peixes que receberam as dietas com fosfato bicálcico ou sem fosfato bicálcico e sem fitase indica que juvenis de piavuçu apresentam exigência de fósforo igual ou inferior a 0,51%, como observado na Tabela 5, caso contrário ocorreria menor crescimento dos mesmos em dietas com deficiência desse mineral, dada a sua importância no crescimento e

metabolismos dos animais.

A composição corporal (umidade, proteína, extrato etéreo, cinzas) e a percentagem de cálcio e fósforo dos ossos do piavuçu encontram-se na Tabela 7. Foi observado efeito quadrático ($P < 0,05$) dos níveis de fitase sobre a umidade da carcaça, em que foi estimado valor máximo com o uso de 1000 UFA/kg de dieta, diferindo dos resultados relatados por Forster et al. (1999), Weerd et al. (1999), Yoo et al. (2005) e Biswas et al. (2007b) que não observaram efeito dos diferentes níveis de fitase sobre a percentagem de umidade na carcaça da truta arco íris, bagre africano *Clarias gariepinus*, “Korean rock fish” e “red sea bream” *Pagrus major*, respectivamente. Neste trabalho, foi observado também que a percentagem de umidade na carcaça dos peixes que receberam as dietas suplementadas com fitase foi superior ($P < 0,05$) a dos peixes que receberam a dieta com fosfato bicálcico. Resultado semelhante foi observado por Vielma et al. (1998) em dietas sem e com fitase para a truta arco-íris. Por outro lado, dietas com e sem fitase foram avaliadas por Vielma et al. (2000), Denstadli et al. (2007) e por Baruah et al. (2007) que não observaram efeitos da fitase sobre a percentagem de umidade na carcaça da truta arco-íris, salmão do Atlântico e *L. rohita*, respectivamente.

Tabela 7 - Composição corporal e percentagem de cálcio e fósforo nos ossos do piavuçu *Leporinus macrocephalus*, alimentado com dietas com fosfato bicálcico (FB), sem fosfato bicálcico (SFB) e com diferentes níveis de fitase.

Variável (%)	FB	SFB				CV ¹
		Níveis de Fitase (UFA/kg)				
		0	500	1000	2000	
Carcaça						
Umidade ²	70,09 ^A	69,20 ^A	68,54 ^B	68,64 ^B	69,04 ^B	2,14
Proteína	15,29 ^A	15,69 ^B	16,12 ^B	15,81 ^B	15,68 ^B	1,79
Extrato Etéreo	10,05	10,46	10,79	10,74	10,35	4,85
Cinzas ³	9,55 ^A	8,66 ^B	8,74 ^B	8,67 ^B	9,06 ^B	3,15
Ossos						
Cálcio	19,51	18,19	19,03	19,25	18,83	2,06
Fósforo ²	10,37	10,08	10,72	10,95	10,54	2,01

¹ CV = Coeficiente de variação;

² Efeito quadrático ($P < 0,05$): matéria seca ($Y = 30,8479 + 0,0014 - 0,000000748854X^2$; $R^2 = 0,96$); fósforo nos ossos ($Y = 10,0902 + 0,0015X - 0,0000007X^2$; $R^2 = 0,77$);

³ Efeito linear ($P < 0,05$): cinzas ($Y = 8,60893 + 0,00019988X$; $R^2 = 0,80$)

Valores na mesma linha com letras iguais diferem ($P > 0,05$) pelo teste “t”

A utilização de dietas com diferentes níveis de fitase não afetou ($P > 0,05$) os teores da proteína corporal do piavuçu. Estes mesmos resultados foram observados por Vielma

et al. (2000), com a truta arco-íris, por Weerd et al. (1999) com o catfish africano, por Liebert & Portz (2005) com a tilápia do Nilo e por Denstadli et al. (2007) com o salmão do Atlântico. Os peixes que receberam dieta sem fosfato bicálcico, suplementadas ou não com fitase apresentaram maior percentagem ($P < 0,05$) de proteína bruta na carcaça, quanto comparado com aqueles que receberam a dieta com fosfato bicálcico. Estes resultados diferem dos relatados por Sajjadi & Carter (2004) para o salmão do Atlântico e por Liebert e Portz (2005) com a tilápia do Nilo que não observaram diferenças na proteína da carcaça dos peixes que receberam dietas com e sem fosfato.

A presença da fitase nas dietas não afetou ($P > 0,05$) os teores de extrato etéreo dos juvenis de piavuçu. Estes resultados concordam com os obtidos por Yoo et al. (2005), Baruah et al. (2007); Biswas et al. (2007b) que não observaram efeito da fitase sobre a percentagem de extrato etéreo na carcaça de “Korean rock fish”, *L. rohita*, “red sea bream”, respectivamente. Entretanto, Vielma et al. (1998) observaram aumento de extrato etéreo na carcaça da truta arco-íris, quando estas recebem dietas com 1500 UFA/kg, diferindo dos resultados obtidos para o piavuçu neste trabalho. Denstadli et al. (2007) observaram que os teores de extrato etéreo do salmão do Atlântico foram menores com o uso de fitase na dieta, entretanto, atribuíram este fato a menor quantidade de gordura dietética na ração com fitase.

Não foi observado efeito ($P > 0,05$) quando se comparou os teores de extrato etéreo, da carcaça dos peixes, com o emprego das dietas com fosfato bicálcico em relação às sem fosfato bicálcico com e sem fitase. Este resultado concorda com os relatados para a truta arco-íris por Forster et al. (1999) e para o salmão do Atlântico por Sajjadi & Carter (2004) que também não observaram diferenças na percentagem de extrato etéreo dos peixes.

Houve aumento linear ($P < 0,05$) nos teores de cinzas na carcaça dos peixes alimentados com dietas com diferentes níveis de fitase. Estes resultados estão em desacordo com os relatados para a truta arco-íris (Forster et al., 1999), catfish africano (Weerd et al., 1999), *P. pangasius* (Debnath et al., 2005b) e “red sea bream” (Biswas et al., 2007b) que não observaram diferenças sobre os teores de cinzas da carcaça dos peixes alimentados com dietas com diferentes níveis de fitase. Os peixes que receberam a dieta com fosfato bicálcico, apresentaram maiores teores de cinzas ($P < 0,05$), quando comparados com os peixes que receberam dietas sem fosfato bicálcico com e sem fitase. Este aumento pode ser atribuído ao excesso de fósforo total (1,12%) presente na dieta. Contradizendo estes resultados, Sajjadi & Carter (2004) e Denstadli et al. (2007) com o

salmão do Atlântico e Baruah et al. (2007) com o *L. rohita* não observaram diferenças sobre os teores de cinzas da carcaça dos peixes alimentados com dietas com e sem fosfato bicálcico. Por outro lado, Storebakken et al. (1998) e Vielma et al. (1998) também observaram aumento nos teores de cinzas na carcaça, quando utilizaram dietas com fitase para o salmão do Atlântico e truta arco-íris, respectivamente.

A deposição de cálcio nos ossos do piavuçu não diferiu ($P > 0,05$) em função dos diferentes tratamentos. Resultados semelhantes foram relatados por Forster et al. (1999) e Nwanna & Schwarz (2007) que também não observaram diferenças na deposição de cálcio nos ossos da truta arco-íris e carpa comum, respectivamente, alimentadas com dietas suplementadas com diferentes níveis de fitase. Entretanto, Furuya et al. (2001), Liebert & Portz (2005) e Furuya et al. (2006) com a tilápia do Nilo e Debnath et al. (2005b) com o *P. pangasius* observaram que a utilização de fitase aumentou a deposição de cálcio nos ossos dos peixes.

A deposição de fósforo, nos ossos dos peixes suplementados com fitase, apresentou efeito quadrático em que os maiores valores dessas variáveis foram estimados com 1.071 UFA/kg. Maior retenção de fósforo nos ossos de peixes que receberam dieta com fitase também foi encontrada para o bagre do canal (Jackson et al., 1996), truta arco-íris (Vielma et al., 1998; Vielma et al., 2002), salmão do Atlântico (Sajjadi & Carter, 2004; Denstadli et al., 2007) e *L. rohita* (Baruah et al., 2005).

Por meio do teste de média “*t*”, observou-se que o uso do fosfato bicálcico na dieta não afetou ($P > 0,05$) os teores de cálcio e fósforo nos ossos do piavuçu, estando estes resultados de acordo com os observados por Sajjadi & Carter (2004) com o salmão do Atlântico. Diferindo deste trabalho, Liebert & Portz (2005) com a tilápia do Nilo, Nwanna et al. (2007) e Nwanna & Schwarz (2007), com carpa comum, observaram que a dieta com fosfato bicálcico levou a um aumento na deposição de cálcio e fósforo nos ossos destes peixes.

Durante todo o período experimental, bem como durante o abate e coleta de material, não foram observados sinais externos de deformidades ósseas nos peixes. Este fato pode estar relacionado com uma baixa exigência de fósforo pelos peixes, ou até mesmo com o tempo a que os peixes foram submetidos a dietas isentas de fosfato bicálcico. Segundo Hughes & Soares Jr. (1998), o fornecimento de dietas deficientes em fósforo por dez semanas provoca escoliose em juvenis de *Morone saxatilis*. De acordo com Yang et al. (2006), a ocorrência de anormalidades externas em peixes alimentados com dietas com deficiência de fósforo está relacionada com a duração do experimento.

Para Roy & Lall (2003), a ocorrência ou não de deformidades ósseas além de estar relacionada com a duração do experimento pode ser influenciada por diversos fatores relacionados com a água, o peixe e a dieta utilizada.

Os valores de temperatura, oxigênio dissolvido, pH e condutividade elétrica da água dos tanques monitorados, durante todo o período experimental, encontram-se na Tabela 8. Observou-se que não houve efeito ($P>0,05$) dos diferentes tratamentos sobre estas variáveis e que os mesmos permaneceram dentro da faixa recomendada para a aquicultura e para a espécie (Egna & Boyd, 1997).

Tabela 8 – Parâmetros físicos e químicos, amônia e ortofosfato na água dos tanques de alevinos de piavuçu *Leporinus macrocephalus*, alimentados com dietas com fosfato bicálcico (FB), sem fosfato bicálcico (SFB) e com diferentes níveis de fitase.

Variável	FB	SFB				CV ¹
		Níveis de Fitase (UFA/kg)				
		0	500	1000	2000	
Temperatura (°C)	25,85	25,80	25,93	25,94	25,93	1,56
O ₂ D ² (mg/L)	6,35	6,43	6,20	6,02	6,21	7,70
pH	7,72	7,76	7,70	7,70	7,74	0,99
CE ³ (μS/cm)	231,98	223,89	226,69	231,94	225,62	5,23
Amônia (mg/L)	0,038 ^A	0,047 ^B	0,046 ^B	0,047 ^B	0,044 ^B	21,00
Ortofosfato (mg/L)	0,073 ^A	0,010 ^B	0,007 ^B	0,012 ^B	0,013 ^B	18,62

¹ CV = Coeficiente de variação

Valores não diferem entre si (ANOVA, $P>0,05$).

² O₂D = Oxigênio Dissolvido

³ CE = Condutividade Elétrica

Valores na mesma linha com letras iguais não diferem ($P>0,05$) pelo teste “t”.

A concentração de amônia e de ortofosfato da água dos tanques ao final do período experimental encontra-se na Tabela 8. Pela análise de regressão, não foi observado efeito ($P>0,05$) dos diferentes níveis de fitase sobre estas variáveis. Entretanto, por meio do teste de média “t”, observou-se que os tanques que receberam as dietas sem fosfato bicálcico, com e sem fitase apresentaram maior ($P<0,05$) concentração de amônia total dissolvida na água, quando comparado com a água dos tanques que receberam as dietas com fosfato bicálcico. De acordo com Rodehutsord & Pfeffer (1995), dietas com deficiência de fósforo realizam a síntese de ácidos graxos a partir dos aminoácidos, liberando assim, maior quantidade de amônia para o meio. Poucos são os estudos que avaliam o efeito na fitase sobre a excreção de amônia e a sua concentração na água dos tanques de cultivo de peixes. Entretanto, resultados diferentes aos obtidos neste estudo foram observados por Biswas et al. (2007b) com juvenis de

camarão alimentados com dietas sem e com fitase em que observaram que não houve efeito da inclusão de 500 UFA/kg de dieta sobre a excreção de amônia.

Por outro lado, a concentração de ortofosfato na água dos tanques que receberam a dieta com fosfato bicálcico foi superior ($P < 0,05$) a dos demais tratamentos, provavelmente pelo excesso de fósforo total presente na dieta que foi suplementada com fosfato bicálcico. De acordo com Bureau & Cho (1999), o excedente de fósforo da dieta é excretado pelas fezes e urina dos peixes. Resultados semelhantes aos observados neste estudo foram relatados por Vielma et al. (2000) com a truta arco-íris e por Nwana et al. (2007) com a carpa comum. No cultivo de camarão com dietas suplementadas com 500 UFA/kg., também foi observado redução significativa nos níveis de fósforo na água (Biswas et al., 2007a). Assim, os resultados observados neste trabalho levam a crer que a baixa concentração de fósforo na água dos tanques que receberam as dietas sem fosfato bicálcico sem ou com fitase não foi consequência da ação da fitase, mas da baixa concentração de fosfato nas dietas e pela sua elevada disponibilidade.

Os coeficientes de digestibilidade aparente (CDA) dos nutrientes das dietas para o piavuçu, alimentado com dietas com fosfato bicálcico e sem fosfato bicálcico com ou sem fitase, encontram-se na Tabela 9. Com o aumento nos níveis de fitase, foi observado aumento linear ($P < 0,05$) nos CDA da matéria seca, energia bruta, proteína bruta, gordura e fósforo das dietas. Maior digestibilidade da matéria seca e da proteína bruta em função da inclusão de fitase em dietas para alevinos de *Pangasius pangasius* foi obtida por Debnath et al. (2005), em que a digestibilidade da matéria seca passou de 53,05% para 64,25% e a da proteína passou de 62,98% para 82,77%, em dietas sem ou com 500 UFA/kg, respectivamente e por Baruah et al. (2007) com juvenis de *L. rohita* com relação à matéria seca, proteína e fósforo. A melhora na digestibilidade da proteína ocorre porque a molécula de fitato forma complexo com a proteína que é resistente à digestão proteolítica, então a fitase age, rompendo estes complexos, liberando a proteína. Além disso, Singh & Krikorian (1982) demonstraram que a molécula de fitato forma complexo com a tripsina “in vitro” reduzindo a sua capacidade de digestibilidade. Os efeitos positivos da adição de fitase sobre a disponibilidade do fósforo também foram obtidos por Lanari et al. (1998) com a truta arco-íris, Furuya et al. (2001) e Bock et al. (2006) com a tilápia do Nilo, Hughes & Soares Jr. (1998) com o “striped bass”; Yoo et al. (2005) com “rock fish” e por Biswas et al. (2007b) com o “red sea bream”. Denstadli et al. (2007), com o salmão do Atlântico, observaram melhora nos CDA do cálcio e fósforo. Liebert & Portz (2005), que utilizaram para a tilápia do Nilo, dietas

suplementadas com fitase (0, 500, 750, 1000 e 1250 UFA/kg), também relataram que as dietas com fitase apresentaram os maiores CDA para a proteína, cálcio e fósforo.

Tabela 9 - Coeficiente de digestibilidade aparente (CDA) dos nutrientes das dietas com fosfato bicálcico (FB), sem fosfato bicálcico (SFB) e com diferentes níveis de fitase para o piavuçu *Leporinus macrocephalus*.

Variável (%)	FB	SFB				CV ¹
		Níveis de Fitase (UFA/kg)				
		0	500	1000	2000	
Matéria seca ²	76,51	70,53	72,29	72,17	74,84	2,51
Energia bruta ²	79,81 ^A	74,25 ^B	76,62 ^A	75,85 ^B	76,00 ^A	3,33
Proteína bruta ²	95,87	95,74	96,00	96,13	96,30	0,38
Extrato etéreo ²	90,27	88,74	88,02	89,70	90,44	4,91
Cálcio	36,99 ^A	26,29 ^A	21,78 ^B	20,33 ^B	23,22 ^B	18,70
Fósforo ²	67,08 ^A	88,23 ^B	88,51 ^B	89,21 ^B	92,21 ^B	3,12

¹ CV = Coeficiente de variação.

² Efeito linear (P<0,05): matéria seca (Y = 70,6963 + 0,0020X; R² = 0,91); energia bruta (Y = 74,0530 + 0,0025X; R² = 0,93); proteína bruta (Y = 95,7728 + 0,00028X; R² = 0,86); extrato etéreo (Y = 85,8971 + 0,002, R² = 0,77) e fósforo (Y = 87,8354 + 0,0025X, R² = 0,80)

Valores na mesma linha com letras iguais não diferem (P>0,05) pelo teste "t".

Por meio do teste de média, observou-se que o uso de dietas com fosfato bicálcico não afetou (P>0,05) os valores dos CDA da matéria seca, proteína bruta e extrato etéreo dos alevinos de piavuçu, quando comparado com as dietas sem fosfato bicálcico, suplementadas ou não com a fitase. Resultados semelhantes com relação aos CDA da proteína bruta foram relatados por Forster et al. (1999), Sajjadi & Carter (2004) e Bock et al. (2006) para a truta arco-íris, salmão do Atlântico e tilápia do Nilo, respectivamente.

Quando comparamos os valores do CDA da energia bruta dos peixes alimentados com dieta com fosfato bicálcico com os dos peixes alimentados com as dietas sem fosfato bicálcico suplementadas com 500 e 2000 UFA/kg, observou-se que não houve diferenças (P>0,05) nos valores do CDA da energia bruta. Resultado semelhante foi observado por Bock et al. (2006) que relataram que a suplementação de 1500 UFA/kg de dieta aumenta os valores de digestibilidade da energia bruta em relação à dieta sem fosfato e sem fitase. Entretanto, Forster et al. (1999), com a truta arco-íris, Masumoto et al. (2001) com o flounder japonês e Sajjadi & Carter (2004) com o salmão do Atlântico, não observaram efeito da fitase sobre o CDA da energia bruta dos peixes, relatos estes que diferem dos resultados obtidos com o piavuçu, neste experimento.

Nos peixes que receberam as dietas com fosfato bicálcico e a sem fosfato bicálcico e sem fitase, foram observados maiores CDA para o cálcio ($P < 0,05$), em relação às dietas sem fosfato bicálcico suplementadas com fitase. Resultados semelhantes foram relatados por Bock et al. (2006), com a tilápia do Nilo, que observaram maior CDA para o cálcio, quando a dieta fornecida continha fosfato bicálcico e era isenta de fitase. Entretanto, estes resultados contradizem os observados por Furuya et al. (2001) que relataram aumento nos CDA do cálcio, para a tilápia do Nilo, quando as dietas foram suplementadas com fitase. Por outro lado, Liebert & Portz (2007) não observaram diferenças nos CDA do cálcio em dietas com e sem fosfato bicálcico, suplementadas ou não com fitase para a tilápia do Nilo.

Os peixes alimentados com a dieta sem fosfato bicálcico sem e com diferentes níveis de fitase apresentaram um CDA do fósforo maior ($P < 0,05$) que a dieta com fosfato bicálcico que continha 1,12% de fósforo total. De acordo com Bureau & Cho (1999), o excedente de fósforo da dieta é excretado pelas fezes e urina dos peixes. Resultados semelhantes aos obtidos neste estudo foram relatados por Hughes & Soares Jr. (1998) para o "striped bass", Furuya et al. (2001), Furuya et al. (2006) e Bock et al. (2006) para a tilápia do Nilo, Masumoto et al. (2001) para o flounder japonês, Sajjadi & Carter (2004) para o salmão do Atlântico e Nwana et al. (2007) para a carpa comum. Diferindo dos resultados aqui obtidos para o piavuçu, Hughes & Soares Jr. (1998), Forster et al. (1999), Sajjadi & Carter (2004) e Nwana & Schwarz, (2007) observaram que as dietas com fosfato bicálcico proporcionam CDA mais elevados quando comparado com as dietas sem fosfato bicálcico e sem fitase para o "striped bass", truta arco-íris, salmão do Atlântico e carpa comum, respectivamente.

Demonstrou-se que a adição de fitase não influenciou no crescimento e na conversão alimentar dos peixes. De acordo com Jongbloed (1987), quando o valor de fósforo disponível da dieta encontra-se próximo à exigência de fósforo, poucos são os efeitos sobre o desempenho produtivo. Entretanto, os efeitos da fitase estão estreitamente relacionados com os valores de nutrientes contidos na dieta em relação às exigências dos mesmos, uma vez que o fitato forma complexos com minerais catiônicos e outros compostos carregados positivamente, podendo também melhorar a digestibilidade da proteína (aminoácidos), do amido e dos lipídios, resultando em maior CDA da energia bruta (Thompson & Yoon, 1984), como observado no presente estudo.

Os efeitos da fitase variam em função da fonte e nível de sua inclusão, bem como da espécie e idade dos peixes, balanceamento nutricional da dieta e condições

experimentais. De forma geral, os resultados do presente estudo demonstraram que a fitase não influenciou o desempenho produtivo, mas influenciou a digestibilidade da energia e nutrientes, principalmente a do fósforo, resultando em maior deposição do mesmo nos ossos, bem como menor excreção de fósforo na água.

CONCLUSÕES

A utilização de fitase não afeta o desempenho produtivo, mas influencia na digestibilidade dos nutrientes e a deposição de minerais na carcaça e de fósforo nos ossos de juvenis de piavuçu. É possível utilizar dietas com ingredientes de origem vegetal, sem fosfato bicálcico e sem fitase sem prejudicar o desempenho e com a redução na excreção de fósforo para a água.

REFERÊNCIAS

- BARUAH, K.; PAL, A.K.; SAHU, N.P. et al. Dietary protein level, microbial phytase, citric acid and their interactions on bone mineralization of *Labeo rohita* (Hamilton) juveniles. **Aquaculture Research**, v.36, n.8, p803-812, 2005.
- BARUAH, K.; SUHU, N.P.; PAL, A.K. et al. Dietary microbial phytase and citric acid synergistically enhances nutrient digestibility and growth performance of *Labeo rohita* (Hamilton) juveniles at sub-optimal protein level, **Aquaculture Research**, v.38, n.2, p.109-120, 2007.
- BISWAS, A.K.; KAKU, H.; JI, S.C. et al. Use of soyben meal and phytase for partial replacement of fish meal in the diet of red sea bream, *Pagrus major*. **Aquaculture**, v.267, n.1-4, p.284-291, 2007b.
- BISWAS, P.; PAL, A.K.; SAHU, N.P. et al. Lysine and/or phytase supplementation in the diet of *Penaeus monodon* (Fabricius) juveniles: Effect on growth, body composition and lipid profile. **Aquaculture**, v.265, n.1-4, p. 253-260, 2007a.
- BOCK, C.L.; PEZZATO, L.E.; CANTELMO, O.A. et al. Fitase e digestibilidade aparente de nutrientes de rações por tilápias do Nilo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.5, p.2197-2202, 2006.
- CAIN, K.D.; GARLING, D.L. Pretreatment of soybean meal with phytase for salmonid diets to reduce phosphorous concentrations in hatchery effluents. **The Progressive Fish-Culturist**, v.57, n.2, p.114-119, 1995.
- DEBNATH, D.; PAL, A.K.; SAHU, N.P. et al. Effect of dietary microbial phytase supplementation on growth and nutrient digestibility of *Pangasius pangasius* (Hamilton) fingerlings. **Aquaculture Research**, v.36, n.2, p.180-187, 2005a.
- DEBNATH, D.; SAHU, N.P.; PAL, A.K. et al. Mineral status f *Pangasius pangasius* (Hamilton) fingerling in relation to supplemental phytase: absorption, whole-body and bone mineral content. **Aquaculture Research**, v.36, n.4, p.326-335, 2005b.
- DENSTADLI, V.; STOREBAKKEN, T.; SVIHUS, B. A comparison of online phytase pre-treatment of vegetable feed ingredients and phytase coating in diets for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) reared in cold water, **Aquaculture**, v.269, n. -4, p.414-426, 2007.
- EGNA, H.S.; BOYD, C.E. **Dynamics of pond aquaculture**, Boca Raton: CRC Press, 1997. 342p.
- FORSTER, I.; HIGGS, D.A.; DOSANJH, B.S. Potential for dietary phytase to improve the nutritive value of canola protein concentrate and decrease phosphorus output in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) held in 11°C fresh water. **Aquaculture**, v.179, p.109-125, 1999.
- FURUYA, W.M., GONÇALVES, G.S.; FURUYA, V.R.B. et al. Fitase na alimentação da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), Desempenho e digestibilidade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, n.3, p.924-929, 2001.
- FURUYA, W.M.; NEVES, P.R.; SILVA, L.C.R. et al. Fitase na alimentação da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), durante o período de reversão de sexo. **Acta Scientiarum – Animal Sciences**, v.26, n.3, p.299-303, 2004.
- FURUYA, W.M.; BOTARO, D.; SILVA, L.C.R. da et al. Fitase em dietas para a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) (175 a 327 g). **Archivos de Zootecnia**, v.55, n.210,

- p.161-170, 2006.
- GONÇALVES, G.S. **Digestibilidade aparente de alimentos vegetais suplementados com fitase pela tilápia do Nilo *Oreochromis niloticus***. Botucatu: Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, 2003. 72p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia - Universidade Estadual Paulista, 2003.
- HUGHES, K.P.; SOARES JR., J.H. Efficacy of phytase on phosphorus utilization in practical diets fed to striped bass *Morone saxatilis*. **Aquaculture Nutrition**, v.4, p.133-140, 1998.
- JACKSON, L.S.; MENG, H.L.; ROBINSON, E.H. Use de microbial phytase in channel catfish *Ictalurus punctatus* diets to improve utilization of phytase phosphorus. **Journal of the World Aquaculture Society**, v.27, n.3, p.309-313, 1996.
- JAUNCEY, K.; ROSS, B. **A guide to tilapia feeds and feeding**. Scotland: University Press, 1982.111p.
- JONGBLOED, A.W.; Phosphorus in the feeding of pigs. Doctoral thesis, Wageningen Agricultural, University, Wagening, The Netherlands, 1987
- LANARI, D.; D'AGARO, E.; TURRI, C. Use of nonlinear regression to evaluate the effects of phytase enzyme treatment of protein plant diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, v.161, n.3, p.345-356, 1998.
- LIEBERT, F.; PORTZ, L. Nutrient utilization of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* fed plant based low phosphorus diets supplemented with graded levels of different sources of microbial phytase. **Aquaculture**, v.248, n.1-4, p.111-119, 2005.
- LIEBERT, F.; PORTZ, L. Different sources of microbial phytase in plant based low phosphorus diets for Nile tilapia *Oreochromis niloticus* may provide different effects on phytase degradation, **Aquaculture**, v. 267, n.1-4, p.292-299, 2007.
- MASUMOTO, T.; TAMURA, B.; FHIMENO, S. Effects of phytase on bioavailability of phosphorus in soybean meal-based diets for Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. **Fisheries Science**, v.67, p.1075-1080, 2001.
- NOSE, T. On the digestion of food protein by gold-fish (*Carassius auratus*) L.) and rainbow trout (*Salmo irideus* G.). **Bull. Freshwater Fish. Res Lab.**, v.10, p.11-22, 1960.
- NWANNA, L.C.; EISENREICH, R.; SCHWARZ, F.J. Effect of wet-incubation of dietary plant feedstuffs with phytase on growth and mineral digestibility by common carp (*Cyprinus carpio* L.). **Aquaculture**. 2007, doi: 10.1016/j.aquaculture.2007.04.020
- NWANNA, L.C.; SCHWARZ, F. Effect of supplementation phytase on growth, phosphorus digestibility and bone mineralization of common carp (*Cyprinus carpio* L.) **Aquaculture Research**, v.38, n.10, p.1037-1044. 2007.
- PEZZATO, L.E.; MIRANDA, E.C.; PEZZATO, A.C. et al. Digestibilidade aparente de ingredientes pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n.4, p.1595-1604, 2002.
- RIBEIRO, R.P.; HAYASHI, C.; MARTINS., E.N. et al. Hábito e seletividade alimentar de pós-larvas de piavuçu, *Leporinus macrocephalus* (Garavello & Britski, 1988), submetidas a diferentes dietas em cultivos experimentais. **Acta Scientiarum**, v.23, n.4, p.829-834, 2001.
- ROTTA, M.A. **Aspectos Gerais da Fisiologia e Estrutura do Sistema Digestivo dos Peixes Relacionados à Piscicultura**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2003, 48p.
- ROY, P.K.; LALL, S.P. Dietary phosphorus requirement of juvenile haddock (*Melanogrammus aeglefinus* L.). **Aquaculture**, v.221, n.1-4, p.451-468, 2003.

- SAJJADI, M.; CARTER, C.G. Dietary phytase supplementation and the utilization of phosphorus by Atlantic salmo (*Salmo salar* L.) fed a canola-meal-based diet. **Aquaculture**, v.240, n.1-4, p.417-431, 2004.
- SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de Alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3 ed. Viçosa: UFV, 2002, 235p.
- SING, M.; KRIKORIAN, A.D. Inhibition of trypsin activity *in vitro* by phytase. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v.30, n.4, p.799-800, 1982.
- SOARES, C.M.; HAYASHI, C.; FURUYA, V.R.B. et al. Substituição parcial e total da proteína do farelo de soja pela proteína do farelo de canola na alimentação de alevinos de piavuçu (*Leporinus macrocephalus*, L.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, vol. 29, n.1, p.15-22, 2000.
- STOREBAKKEN, T.; SHEARER, K.D.; ROEM, A.J. Availability of protein, phosphorus and other elements in fish meal, soy-protein concentrate and phytase-treated soy-protein-concentrate-based diets to Atlantic salmon, *Salmo salar*. **Aquaculture**, v.161, n.1-4, p.365-379, 1998.
- THOMPSON, L.U.; YOON, J.H.; Strach digestibility as affected by polyphenols and phytic acid. **Journal of Food Science**, v.49, n.4, p.1228-1229, 1984
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA - UFV. **SAEG** - Sistema de análises estatísticas e genéticas. Versão 8.0, Viçosa, MG, 2002, 142p. (Manual do usuário)
- VIELMA, J.; RUOHONEN, K.; GABAUDAN, J. et al. Top-spraying soybean meal-based with phytase improves protein and mineral digestibilities but not lysine utilization in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). **Aquaculture Research**, v.35, n.10, p.955-964, 2004.
- VIELMA, J.; ROUHONEN, K.; PEISKER, M. Dephytinization of two soy proteins increases phosphorus and protein utilization by rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. **Aquaculture**, v.204, n.1-2, p.145-156, 2002.
- VIELMA, J.; MÄKINEN, T.; EKHOLM, P. et al. Influence of dietary soy and phytase levels on performance and body composition of large rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and algal availability of phosphorus load. **Aquaculture**, v.183, n.3-4, p.349-362, 2000.
- VIELMA, J.; LALL, S.P.; KOSKELA, J. et al. Effects of dietary phytase and cholecalciferol on phosphorus bioavailability in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, v.163, n.3, p.309-323, 1998.
- YOO, G.; WANG, X.; CHOI, S. et al. Dietary microbial phytase increased the phosphorus digestibility in juvenile Korean rockfish *Sebastes schlegeli* fed diets containing soybean meal. **Aquaculture**, v.243, p.315-322, 2005.
- WEERD, J.H.; KHALAF, K.H.A.; AARTSEN, F.J. et al. Balance trials with African catfish *Clarias gariepinus* fed phytase-treated soybean meal-based diets. **Aquaculture Nutrition**, v.5, n.2, p.135-142, 1999.

V - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a substituição da farinha de peixe por farelo de soja, o fosfato bicálcico tem sido a principal fonte inorgânica de fósforo em dietas para peixes.

A fitase é um importante suplemento em dietas para os animais domésticos, cujo objetivo é a redução na inclusão de fonte inorgânica de fósforo, resultando em aumento na disponibilidade de fósforo da dieta, bem como de outros minerais e da proteína, além de diminuir a poluição ambiental. Entretanto, seus efeitos são variáveis em função da espécie, idade e composição da dieta.

Dietas com ingredientes de origem vegetal, sem fosfato bicálcico e sem fitase podem ser utilizadas para o matrinxã e piavuçu sem prejudicar o desempenho dos peixes, além de reduzir os níveis de excreção do fósforo na água dos tanques de cultivo.

A fitase influencia os coeficientes de digestibilidade aparente da energia e dos nutrientes da dieta para o piavuçu, mas não afeta o desempenho produtivo tanto para o piavuçu como para o matrinxã.

Investigações futuras não necessárias para avaliar mais efetivamente a ação da fitase em dietas, suplementadas ou não com fosfato bicálcico, para o matrinxã e piavuçu.