

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA
CÂMPUS DE BOTUCATU

**EXIGÊNCIAS DIETARIAS E DISPONIBILIDADE DE FONTES DE FÓSFORO
PARA TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis niloticus*)**

Luis Gabriel Quintero Pinto

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Zootecnia como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Zootecnia.

BOTUCATU - SP

Julho – 2008

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA
CÂMPUS DE BOTUCATU

**EXIGÊNCIAS DIETARIAS E DISPONIBILIDADE DE FONTES DE FÓSFORO
PARA TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis niloticus*)**

Luis Gabriel Quintero Pinto
Orientador: Prof. Dr. Luiz Edivaldo Pezzato

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Zootecnia como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Zootecnia.

BOTUCATU - SP
Julho – 2008

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

Q7e Quintero Pinto, Luis Gabriel, 1958-
Exigências dietárias e disponibilidade de fontes de fósforo para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) / Luis Gabriel Quintero Pinto. - Botucatu : [s.n.], 2008. vii, 82 f. : gráfs., tabs.

Tese (Doutorado) -Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Botucatu, 2008

Orientador: Luiz Edivaldo Pezzato
Inclui bibliografia

1. Tilápia (Peixe) - Nutrição. 2. Fósforo. 3. Peixe. 4. Nutrição animal. 5. Alimentação. I. Pezzato, Luiz Edivaldo. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia. III. Título.

Agradecimentos

A Deus, por iluminar meu caminho, pelas forças para persistir e por ter permitido o feliz sucesso.

Ao Prof. Luiz Edivaldo Pezzato, pelo acolhimento, orientação, e amizade que permitiram meu crescimento profissional;

À Universidad Nacional de Colombia, pela oportunidade de realizar este curso de pós-graduação, Aos colegas, funcionários e amigos dessa instituição, pelo estímulo;

Ao Departamento de Melhoramento e Nutrição Animal da UNESP – Campus de Botucatu pela acolhida e a possibilidade de terminar este curso;

Ao Programa PEC-PG e à CAPES pela concessão da bolsa de estudo;

As entidades colombianas COLFUTURO e ICETEX pela concessão dos empréstimos educativos;

Aos membros das bancas examinadoras professores doutores Dirlei Antonio Berto, Pedro de Magalhães Padilha, Teresa Cristina Ribeiro Dias Koberstein, Claudio Luiz Bock e Luiz Edivaldo Pezzato pelos consideráveis aportes para o aperfeiçoamento deste trabalho;

Aos professores Pedro de Magalhães Padilha, Antonio Celso Pezzato, Dirlei Antonio Berto, Margarida Maria Barros, e Ricardo de Oliveira Orsi, pelo ensino, respeito e incentivo;

A minha esposa Blanca pelo amor, amizade e apoio incondicional, pelas contribuições no desenvolvimento desta pesquisa, pela paciência; aos meus filhos Ana María Carolina e Camilo Andrés e à minha sogra Estrella pelo amor, carinho, apoio e incentivo.

Aos meus colegas do laboratório AquaNutri da FMVZ, André, Willian Vicente, Geisa Karine, Daniel, Fernando, Altevir, Ademir, João Fernando, Caroline, Dario, Igo, Vivian,

Júlia, Giovanni, Leonardo, Rosângela, Martha, Graziela, pela amizade, respeito, auxílio e contribuições prestadas na hora certa;

Ao professor doutor Pedro de Magalhães Padilha do Departamento de Química e Bioquímica do IBB da UNESP-Botucatu, e a sua equipe de trabalho Fábio Arlindo Silva, Renato Ferreira de Cássio Neves e Mayra Anton Dib Saleh, pelo apoio nas análises dos minerais, pela contribuição científica, e pela amizade e confiança;

Aos funcionários do laboratório de Bromatologia do Departamento de Melhoramento e Nutrição Animal da UNESP-Botucatu, Renato Monteiro da Silva, Elaine Cristina N. F. Costa e Conceição Tenore do Carmo pela amizade e o apoio fornecido para realizar as análises bromatológicas requeridas;

Aos funcionários da Seção de Pós-Graduação da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Posto de Serviço - Lageado, Seila Cristina Cassineli Vieira, Carmen Sílvia de Oliveira Polo e Danilo José Teodoro Dias, pela atenção e auxílio prestados;

Aos colegas e amigos Gil, Marleide, Maria Antonieta e família, Doris e família, Fábio e Lucia, Guido e Andréia, Edwin, Carlos, Gabriel, Luciana, Cláudia, Lucinei, Juan, Janaína, Bruno, Cristina, Charli, Camila, Patrícia, Daniel e Luana, a todos eles meu muito obrigado pelo alegre convívio.

A todos aqueles que de uma ou outra forma contribuíram para a realização de este trabalho e com a nossa estadia no Brasil muito obrigado.

SUMÁRIO

	Página
INTRODUÇÃO GERAL	01
Capitulo – I	03
CONSIDERAÇÕES INICIAIS	
1. Nutrição mineral em peixes	04
1.1. Essencialidade e exigências nutricionais de minerais em peixes	05
1.2. Disponibilidade dos minerais para peixes	07
1.3. Critérios de avaliação do estado nutricional mineral em peixes	08
2. Nutrição mineral em tilápias	09
2.1. Exigências nutricionais de minerais em tilápia	09
2.2. O fósforo na nutrição das tilápias	11
2.2.1. Importância	11
2.2.2. Funções e metabolismo	12
2.2.3. Exigências	13
2.3. Disponibilidade/digestibilidade de fósforo para peixes	14
2.4. Relação Cálcio/Fósforo no balanceamento das rações	19
3. REFERÊNCIAS	22
Capitulo – II	30
Digestibilidade de fontes protéicas e disponibilidade de fosfatos inorgânicos, pela tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) em três fases de desenvolvimento	
Resumo	31
Abstract	32
Introdução	32
Material e Métodos	34
Resultados e Discussão	36
<i>Digestibilidade aparente da matéria seca, proteína e da energia dos alimentos</i>	36
<i>Disponibilidade aparente do fósforo, cálcio e magnésio dos alimentos</i>	41
Conclusões	45
Literatura Citada	46

Capítulo – III	54
Exigência dietaria de fósforo na alimentação por fases da tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)	
Resumo	55
Summary	56
Introdução	56
Material e Métodos	58
Resultados e Discussão	61
<i>Experimento – I (Fase de Crescimento)</i>	61
<i>Experimento – II (Fase de Engorda)</i>	63
<i>Experimento – III (Fase de Acabamento)</i>	64
Conclusões	69
Literatura Citada	70
Capítulo – IV	84
Implicações	85

SUMÁRIO

Tabelas	Página
Capítulo - I	
Tabela 1. Exigências nutricionais de minerais para peixes cultivados	06
Tabela 2. Exigência nutricional de minerais em tilápias	10
Capítulo - II	
Tabela 1. Composição química-bromatológica e valores energéticos dos alimentos protéicos de origem animal e vegetal e das fontes de minerais avaliadas (Base 100% da MS).	50
Tabela 2. Fórmula da ração referência (basal) e a composição porcentual das rações experimentais (Base 100% da MS).....	51
Tabela 3. Coeficientes de digestibilidade aparente da matéria seca, proteína bruta e energia bruta de fontes protéicas pela tilápia do Nilo em função do peso	52
Tabela 4. Coeficientes de disponibilidade aparente dos minerais fósforo, cálcio e magnésio de fontes protéicas e minerais pela tilápia do Nilo em função do peso do peixe.....	53
Capítulo - III	
Tabela 1. Composição porcentual das dietas experimentais (base na matéria natural)	72
Tabela 2. Densidade energética e níveis de nutrientes das dietas experimentais (base na matéria natural)	73
Tabela 3. Desempenho produtivo da tilápia do Nilo com níveis crescentes de fósforo disponível na ração. Fase de Crescimento (Experimento - I)...	74
Tabela 4. Parâmetros fisiológicos metabólicos da tilápia do Nilo com níveis crescentes de fósforo disponível na ração. Fase de Engorda (Experimento - II)	75

Tabela 5. Desempenho produtivo da tilápia do Nilo com níveis crescentes de fósforo disponível na ração. Fase de Engorda (Experimento - II)	76
Tabela 6. Parâmetros fisiológicos metabólicos da tilápia do Nilo com níveis crescentes de fósforo disponível na ração. Fase de Engorda (Pesquisa - II)	77
Tabela 7. Desempenho produtivo da tilápia do Nilo com níveis crescentes de fósforo disponível na ração. Fase de Acabamento (Experimento - III)	78
Tabela 8. Parâmetros fisiológicos metabólicos da tilápia do Nilo com níveis crescentes de fósforo disponível na ração. Fase de Acabamento (Pesquisa - III)	79

SUMÁRIO

Figuras	Página
Capitulo - II	
Figura 1. Efeito do fósforo disponível no ganho de peso da tilápia do Nilo, peso inicial de 14,99g após 30 dias de experimentação (Fase de Crescimento).....	80
Figura 2. Efeito do nível de fósforo disponível na conversão alimentar da tilápia do Nilo, peso inicial de 14,99g após 30 dias de experimentação (Fase de Crescimento).....	80
Figura 3. Efeito do fósforo disponível no ganho de peso da tilápia do Nilo, peso inicial de 14,99g após 60 dias de experimentação (Fase de Crescimento).....	81
Figura 4. Efeito do nível de fósforo disponível na conversão alimentar da tilápia do Nilo, peso inicial de 14,99g após 60 dias de experimentação (Fase de Crescimento).....	81
Figura 5. Efeito do fósforo disponível no ganho de peso da tilápia do Nilo, peso inicial de 38,55g após 60 dias de experimentação (Fase de Engorda).	82
Figura 6. Efeito do nível de fósforo disponível na conversão alimentar da tilápia do Nilo, peso inicial de 38,55g após 60 dias de experimentação (Fase de Engorda).....	82
Figura 7. Efeito do fósforo disponível no ganho de peso da tilápia do Nilo, peso inicial de 155,90g após 60 dias de experimentação (Fase de Acabamento).....	83
Figura 8. Efeito do nível de fósforo disponível na conversão alimentar da tilápia do Nilo, peso inicial de 155,90g após 60 dias de experimentação (Fase de Acabamento).....	83

INTRODUÇÃO GERAL

A produção global de pescado procedente da aquicultura no ano 2005 foi estimada em 47,8 milhões de toneladas, das quais 28,9 milhões (60,46%) procedem dessa atividade em águas continentais (FAO, 2007). Das espécies ícticas criadas em ambientes tropicais de água doce destacam-se as tilápias com uma produção mundial que supera os dois milhões de toneladas (Lim & Webster, 2006) e uma taxa de crescimento anual de 10,9%, ocupando o terceiro lugar em volume depois das carpas e dos salmonídeos (FAO, 2007).

A recente intensificação e concentração das produções de peixes, especialmente de tilápias no Brasil, exigiram o desenvolvimento de tecnologias limpas e o processamento e fabricação de rações completas e estáveis no meio aquático, totalizando no ano de 2007 um volume de 260.000 toneladas (Albes, 2007). Porém, essas produções são motivo de constante preocupação por parte de pesquisadores e ambientalistas pelos volumes de dejetos, principalmente de nitrogênio e fósforo, liberados diretamente no meio, que aceleram os processos de eutrofização dos ecossistemas poluindo os corpos de água (Boyd, 1998).

A alternativa zootécnica mais eficiente e econômica para diminuir a ação poluente do fósforo proveniente das pisciculturas é ajustar o consumo desse elemento às estritas demandas dos animais nas diferentes fases da vida (Lellis et al., 2004). Na prática, isso pode ser feito pela adoção da formulação de rações com base nas quantidades digestíveis de fósforo em função da condição fisiológica do animal; atualização permanente das exigências nutricionais em função da fase de produção, níveis de produção e condições fisiológicas especiais; utilização de matérias primas de alto valor biológico nas formulações; e o uso de aditivos como enzimas ou acidificantes para aumentar a disponibilidade de minerais, especialmente do fósforo. Assim, a alimentação por fases permite diminuir as descargas de metabólitos da aquicultura no ambiente, controlando os volumes dos dejetos produzidos pelos peixes confinados, especialmente nas fases de engorda e acabamento.

Desse modo o presente trabalho objetivou determinar os coeficientes de digestibilidade aparente da matéria seca, proteína, energia, cálcio, fósforo e magnésio de varias fontes e, estimar as exigências nutricionais de fósforo digestível da tilápia do Nilo nas fases juvenil engorda e acabamento.

Capítulo - I

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1. Nutrição mineral em peixes

Todos os vertebrados precisam de água, de compostos orgânicos e elementos inorgânicos, substâncias nutricionais essenciais para a vida. Os compostos orgânicos compreendem as proteínas e aminoácidos, os lipídeos e ácidos graxos, os carboidratos e as vitaminas. A matéria mineral ou cinza contida nas carcaças dos animais é composta de elementos minerais dos quais sete estão presentes em grandes quantidades e dezesseis em pequenas quantidades, caracterizando os macro e os microminerais (Halver, 1991; Davis & Gatlin III, 1996).

Os minerais são importantes na manutenção e desenvolvimento do esqueleto, na manutenção dos sistemas coloidais e na regulação do equilíbrio ácido – base, além de participar como constituintes imprescindíveis de algumas vitaminas, hormônios, e ativadores de enzimas (Lall, 2002).

O cálcio e o fósforo estão estreitamente relacionados com o desenvolvimento e a manutenção do sistema esquelético e participam de numerosos processos fisiológicos (NRC, 1993). O sódio, o potássio e o cloro, junto com fosfatos e bicarbonatos, mantêm a homeostase e o equilíbrio ácido–base (Lall, 2002). Segundo esse mesmo autor, uma quantidade fixa de metal (ferro, manganês, cobre, cobalto, zinco, molibdênio e, selênio) pode estar firmemente associada com uma proteína específica ou metaloenzima apresentando uma única função catalítica. Por exemplo, ferro com os citocromos (a, b, c) para transferência de elétrons; zinco e fosfatase alcalina para hidrólise de ésteres de fosfato.

Alguns minerais, como o cálcio, o magnésio e o manganês são de particular significância como ativadores enzimáticos. O iodo é necessário para a biossíntese dos hormônios tireóideanos (T_3 e T_4), os quais podem afetar grandemente o desenvolvimento e o metabolismo dos vertebrados. Alguns compostos biologicamente importantes contêm minerais como parte inerente da sua estrutura, por exemplo, hemoglobina (com o ferro) e a vitamina B_{12} (com o cobalto) (Lall, 2002).

Contrariando a maioria dos animais terrestres, os peixes possuem a habilidade de absorver alguns elementos inorgânicos tanto das dietas quanto do ambiente externo (NRC, 1993; Lall, 2002). Segundo Watanabe et al. (1997) dos minerais dissolvidos na água, os peixes podem suprir parte das exigências nutricionais de

cálcio, magnésio, sódio, potássio, ferro, zinco, cobre, cobalto e selênio. Outros minerais como fósforo, cloro, enxofre, manganês e iodo, são absorvidos mais efetivamente de fontes alimentares (Lall, 1989; Watanabe et al., 1997).

1.1. Essencialidade e exigências nutricionais de minerais em peixes

Bioquímicos e nutricionistas reconhecem que a vida animal é caracterizada por diversos compostos, princípios e, mecanismos comuns. Esse conceito de unidade básica metabólica funcional é evidente na definição dos componentes estruturais e funcionais essenciais para normal funcionamento do organismo vivo.

Os seres vivos necessitam de aproximadamente 30 elementos naturais que são essenciais para seu desenvolvimento e manutenção. A maior proporção da matéria viva consta de quatro elementos estruturais básicos: carbono, hidrogênio, nitrogênio, oxigênio, exigidos em altas concentrações e representando 96% do peso corporal do animal (McDowell, 1992). Além desses, os minerais: cálcio, fósforo, magnésio, potássio, sódio, cloro e enxofre (Halver, 1991; Davis & Gatlin III, 1996; Lall, 2002), representam 2,72% do peso vivo do animal. Estes são necessários em concentrações relativamente altas e, portanto, todos quantificados em gramas ou porcentagens (McDowell, 1992). Outros dezoito minerais aparecem no corpo dos animais em baixas concentrações e, portanto, quantificados em miligramas ou microgramas por quilograma. Dificuldades iniciais na determinação exata dos níveis destes minerais conduziram à sua descrição geral como minerais traços: cobalto, cobre, ferro, manganês, selênio, zinco, crômio, iodo, arsênio, molibdênio, flúor, níquel, silício e vanádio (Halver, 1991; McDowell, 1992; Davis & Gatlin III, 1996; Watanabe et al., 1997; Lall, 2002).

Outros minerais traços que têm sido reportados como essenciais são: estanho (McDowell, 1992; Davis & Gatlin III, 1996), chumbo e lítio (Watanabe et al., 1997; McDowell, 1992), alumínio (Davis & Gatlin III, 1996) e boro (McDowell, 1992). Segundo Lall (2002) cádmio e bromo são preconizados por exercer efeitos benéficos para a vida animal, mas a sua essencialidade não tem sido confirmada.

Técnicas analíticas modernas permitem as determinações muito mais exatas dos minerais, com a conseqüente demonstração das suas funções em processos metabólicos e, fazem possível ainda a sua reclassificação em minerais *macro* (quantia entre 0,01 e 10%), *micro* (quantia entre 100 ppt e 100 ppm) e *traço* (quantia < 100 ppt). Porém muitos autores ainda utilizam a classificação antiga que estabelece duas categorias: *macro* para cálcio, fósforo, magnésio, potássio, sódio, cloro e enxofre com valores entre 0,01 e 10 % (1 e 100 ppm) e *traço* para todos os outros minerais com valores < 0,01 % (< 100 ppm).

Segundo Davis & Gatlin III (1996) e Shiau (2002) existem, para diferentes espécies de peixes, informações na literatura sobre as exigências quantitativas para quatro macro minerais: cálcio, fósforo, magnésio e potássio. Em condições normais de criação esses minerais podem ser absorvidos diretamente da água. Porém, o fósforo por ser limitante deve ser suplementado nas rações. Por outro lado, o sódio, o potássio e o cloro são os eletrolíticos mais abundantes no corpo animal e também são absorvidos diretamente da água, desse modo sinais de deficiência são difíceis de acontecer. O enxofre faz parte da estrutura dos aminoácidos sulfurados, pelo que é também considerado elemento essencial.

Nem todos os minerais micro ou traço essenciais para vertebrados superiores têm sido demonstrados como essenciais em peixes de criação (NRC, 1993; Watanabe et al., 1997; Lall, 2002; 2007). Segundo NRC (1993) e Watanabe et al. (1997), embora a maioria dos minerais essenciais conhecidos para animais terrestres também sejam considerados necessários para algumas das espécies de peixes criados, deve-se considerar exigências quantitativas apenas para cinco micro minerais (ferro, cobre, manganês, zinco, e iodo) e dois minerais traço (selênio e cobalto).

Pode-se afirmar que são onze os minerais confirmados como essenciais para os peixes: cálcio, fósforo, magnésio, ferro, cobre, manganês, zinco, selênio, iodo (NRC, 1993), potássio (Davis & Gatlin III, 1996) e cobalto (Watanabe et al., 1997). As exigências quantitativas de minerais informadas para algumas espécies de peixes de criação são resumidas na Tabela 1.

Tabela 1. Exigências nutricionais de minerais para peixes criados em cativeiro

<i>Mineral</i>	<i>Truta arco-íris</i>	<i>Salmão</i>	<i>Tilápia</i>	<i>Bagre canal</i>	<i>Carpa comum</i>	<i>Enguia japonesa</i>
<i>Macro (%)</i>						
Ca	-	-	0,65-0,80	E	-	0,27
P (disp.)	0,60	0,60	0,46-0,75	0,45	0,60-0,70	0,29
Mg	0,05	0,04	0,06-0,08	0,04	0,05	0,04
K	E	0,80	0,20-0,30	E	E	E
<i>Micro (mg/kg)</i>						
Fe	E	30-60	60 disp	30	150	170
Cu	3	5	2 - 4	5	3	E
Mn	13	10	12	2,40	13	E
Zn	15-30	37-67	20-30	20	15-30	E
I	1,10	0,60-1,10	E	1,10	E	E
<i>Traço (µc/kg)</i>						
Se	150-300	E	200	250	E	E
Co	-	-	-	100	-	-

Adaptado de NRC (1993), Davis & Gatlin III (1996), Watanabe et al. (1997), Lall (2002) e Lim & Webster (2006). E = exigido. Disp = disponível.

1.2. Disponibilidade dos minerais para peixes

Para determinar a eficiência de utilização dos minerais dietéticos pelos peixes, se deve conhecer a disponibilidade do mineral em estudo nos diferentes ingredientes e dietas. Geralmente as análises químicas não indicam o nível de efetividade biológica de um nutriente e muitos fatores podem influenciar a disponibilidade dos minerais.

Estes fatores incluem o nível de consumo do mineral, sua forma química, a digestibilidade da dieta que provê o elemento, a granulometria das fontes, interações com outros componentes da dieta (fibra, fitatos, oxalatos), estados fisiológicos e patológicos do animal, a composição química da água, o tipo de processamento do alimento, e a espécie e o tamanho do peixe avaliado (Ullrey, 1995; Lall, 2002). Por exemplo, a disponibilidade do fosfato bicálcico, é mais alta que os fosfatos tricálcicos e fitatos; a disponibilidade do fósforo da farinha de peixe é mais alta para truta arco-íris do que para a carpa comum e a tilápia; o nível de cálcio dietético parece não afetar a disponibilidade deste mineral para bagre do canal, carpa comum e truta arco-íris, porém, uma relação Ca:P adequada é importante para o crescimento normal da enguia(1:1), do *Pagrus major* (1:2) (NRC,1993) e da tilápia (1:1 – 1:1,5) (Miranda et al., 2000).

O coeficiente de digestibilidade refere-se a proporção do nutriente ou de energia que é absorvida de um ingrediente e permite a elaboração de rações que atendam com maior exatidão as exigências nutricionais dos peixes, e conseqüentemente, minimizem as perdas de nutrientes no meio ambiente. Desse modo, a digestibilidade pode ser um indicador consistente da disponibilidade do nutriente de um ingrediente específico. Outras variáveis usadas nas determinações da disponibilidade dos minerais, como a resistência dos ossos à fratura podem ser subjetivas.

Várias das inter-relações entre minerais são bem conhecidas em nutrição humana e animal, por exemplo, Ca/P/vitamina D (McDowell, 1992). Um grande número de potenciais interações mineral/mineral e mineral/vitamina também tem sido reportado (Hilton, 1989). Relações antagônicas acontecem quando elementos com configuração eletrônica semelhante competem por sítios de ligação, por exemplo, zinco e cádmio em metalotioneína e, substituições de magnésio pelo manganês nos sítios ativos enzimáticos. Relações sinérgicas nas quais um elemento melhora a utilização de outro, por exemplo, ferro e cobre. As inter-relações complexas entre cobre, zinco, ferro, e cálcio, como também as de cobre, molibdênio e enxofre, são de interesse prático (Mertz, 1986). Outra forma de inter-relações envolve as interações entre elementos. O selênio tem alta afinidade por certos elementos tóxicos como mercúrio e prata, resultando em diminuição na disponibilidade biológica do selênio e o

metal potencialmente tóxico. Os minerais também interagem com outros nutrientes. Um sinergismo entre selênio dietário e vitamina E é conhecido. Zinco é exigido para o metabolismo de vitamina A. O forte potencial redox de vitamina C pode alterar a valência de cobre e ferro e assim reduzir ou aumentar sua absorção (Hilton, 1989). A suplementação excessiva de minerais, particularmente cálcio e fósforo, reduzem a disponibilidade de zinco e também tem sido ligada à formação de catarata em peixes salmonídeos juvenis (Richardson et al., 1986).

1.3. Critérios de avaliação do estado nutricional mineral em peixes

Os critérios comumente usados para avaliar o estado nutricional do peixe em relação a um mineral particular são os níveis presentes no sangue, músculo, fígado e ossos. Na determinação das exigências nutricionais de um mineral para uma espécie de peixe em particular, os pesquisadores adotam testes de doses crescentes avaliando as respostas em relação a uma dieta basal, sem ou com a dose mínima do mineral na formulação. Há uma faixa de níveis teciduais compatível com as funções do elemento e o crescimento ótimo da espécie. O tempo de duração do teste é muito importante para observar a sensibilidade da variável avaliada. Raramente são avaliadas as funções metabólicas específicas dos elementos minerais e técnicas desenvolvidas que permitam a identificação de condições subclínicas ou patológicas.

A composição corporal proximal e mineral dos peixes é afetada por fatores endógenos e exógenos. Segundo Shearer (1984) e Weatherup & McCracken (1999) a proporção de proteína corporal dos peixes em crescimento está relacionada com o tamanho do animal; o teor de lipídeos depende de fatores endógenos e exógenos; o teor de cinzas é controlado por mecanismos de homeostase; e a concentração de água é inversamente proporcional ao teor de lipídeos da carcaça.

A concentração de minerais na carcaça dos peixes varia com a idade, tamanho e estágio reprodutivo. Shearer (1984) trabalhando com trutas arco-íris em diferentes etapas de vida, desde ovas até adultos de 1500g, comprovou que a composição mineral depende do tamanho do peixe, fase do ciclo de vida e fase reprodutiva. Nesse estudo, a concentração mineral (cálcio, cobre, ferro, potássio, magnésio, manganês, sódio, fósforo, selênio e zinco) foi mais alta em peixes juvenis que em adultos; as concentrações somáticas de manganês, ferro e zinco, diminuíram durante a maturação gonadal das fêmeas, mas não nos machos. Finalmente, se deve considerar que as doenças, a qualidade de água, assim como outros fatores ambientais também podem alterar a distribuição tecidual mineral (Lall & Olivier, 1993).

2. Nutrição mineral em tilápias

2.1. Exigências nutricionais de minerais em tilápia

As tilápias podem ser consideradas o grupo de peixes teleósteos melhor sucedido na piscicultura tropical e neo-tropical brasileira nas duas últimas décadas. São criados em diferentes latitudes, sob os mais diversos sistemas de produção, abrangendo baixos ou sofisticados níveis tecnológicos, em ambientes abertos ou fechados com água doce, salobra ou marinha (Lim & Webster, 2006). Nessas condições de produção é obvio que as exigências de suplementação de nutrientes nas rações são dependentes dos aportes do ambiente e das densidades de estocagem, de tal forma que nos sistemas intensivos tais como tanques-redes, *raceways* ou tanques de alta densidade, os nutrientes devem ser totalmente aportados pela ração.

As tilápias são espécies de hábitos onívoros cujas dietas no Brasil são fabricadas com produtos de origem animal tais como farinha de peixe, farinha de subprodutos de abatedouro avícola e farinha de carne e ossos; produtos e subprodutos de origem vegetal disponíveis regionalmente, principalmente derivados da soja, do algodão, do milho, do arroz e do trigo; e fontes alternativas de disponibilidade específica regional como leveduras; são suplementadas com calcários, fosfatos, farinha de ossos e suplementos minerais para atingir os níveis de exigência para cada sistema ou fase de produção. As rações geralmente contem aditivos como antioxidantes, aglutinantes e absorventes de toxinas e, às vezes, pigmentantes, probióticos, imunoestimulantes e enzimas.

Extensas revisões das exigências nutricionais para tilápia foram escritas por Jauncey & Ross (1982), NRC (1993), Shiau (2002), Lim & Webster (2006). Existem muitas informações disponíveis em relação às exigências nutricionais de minerais das tilápias, com especial ênfase ao fósforo. As tilápia também precisam dos mesmos minerais considerados essenciais em outras espécies para desenvolvimento normal e crescimento ótimo, formação e manutenção do tecido ósseo, regulação do equilíbrio ácido-base, manutenção dos sistemas coloidais, e para normal funcionamento dos músculos e nervos (Lall, 2002; Lim & Webster, 2006).

Segundo Shiau (2002) foram determinadas as exigências nutricionais de cinco minerais para tilápia: cálcio, fósforo, manganês, potássio e zinco. Trabalhos posteriores relatam exigências para outros quatro minerais: manganês, ferro, cobre e cromo em alguma das espécies de tilápia conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Exigência nutricional de minerais em tilápias

Mineral	Espécie	Peso (g)	Exigência (%)	Critério	Tempo (dias)	Ref.
Ca (%)	<i>O. niloticus</i>	2,5-43,61	0,50	D, M	91	1
	<i>O. aureus</i>	-	0,17-0,65	GP, MO	77	2
	<i>O. aureus</i>	1,5-11,0	0,7	GP, MO	84	3
	<i>O. aureus</i>	2,3	0,75	GP, MO	84-168	4
	Tilápia	NR	0,65	NR	NR	5
P (%)	<i>O. niloticus</i>	6,00-33,65	< 0,9 disp	D, MO	-	6
	<i>O. niloticus</i>	-	0,8-1,0	D, M	-	7
	<i>O. niloticus</i>	-	0,46 disp	D	-	8
	<i>O. niloticus</i>	23-89	0,35-0,70	GP	60	9
	<i>O. niloticus</i>	2,5-43,61	0,50-0,75 disp	D, M	91	1
	<i>O. niloticus</i>	0,95-12,52	0,74	PF	49	10
	<i>O. niloticus</i>	0,27-4,0	0,75 disp	D, M	-	11
	<i>O. niloticus</i>	0,6-4,0	1,1	CAA	42	12
	<i>O. aureus x niloticus</i>	120-275	0,7-1,0 Pt 0,46-0,6 disp	D, M	37-42	13
	<i>O. aureus</i>	1,5-11,0	0,3 (0,5)	D (MO)	84	3
	Tilápia	NR	0,5 disp	NR	NR	14
	Tilápia	NR	0,9	NR	NR	5
Ca/P	<i>O. niloticus</i>	2,5-43,61	0,5/0,5-0,75	D, M	91	1
	<i>O. niloticus</i>	1,5-11,0	0,7/0,3 (0,5)	D (M)	84	3
Mg (%)	<i>O. niloticus</i>	-	0,06-0,07	-	-	15
	<i>O. aureus</i>	0,5	0,05-0,06	MO	126	16
	Tilápia	NR	0,06	NR	-	14
	Tilápia	NR	0,06-0,07	NR	-	5
K (%)	<i>O. aureus x niloticus</i>	0,77	0,2-0,3	GP, MO	28	17
Mn (mg/kg)	<i>O. aureus</i>	-	1,7-12,0	-	-	7
	Tilápia	NR	12,0	NR	NR	5
Fe (mg/kg)	<i>O. niloticus</i>	-	60 Fe Pd	-	-	18
	<i>O. aureus x niloticus</i>	-	150-160 (citr) 85 (sulf)	-	-	19
Cu (mg/kg)	<i>O. niloticus</i>	-	2-3	-	-	7
	<i>O. niloticus</i>	2,0	4	D	119	20
	Tilápia	NR	3-4	NR	NR	5
Zn (mg/kg)	<i>O. niloticus</i>	-	30	-	-	21
	<i>O. niloticus</i>	13,3	44,5-79,5	GP, MO	35-70	22
	<i>O. aureus</i>	-	20	-	-	23
	Tilápia	NR	20	NR	NR	14
	Tilápia	NR	10	NR	NR	5
Cr (mg/kg)	<i>O. niloticus</i>	10,6	2-10	D	63	24

GP: ganho de peso; MO: mineralização ossos; PF: peso final; CAA conversão alimentar aparente; D: desempenho; NR: não reportado; disp.: disponível.

Referências: (1) Miranda, et al. (2000); (2) Robinson et al. (1984); (3) Robinson et al. (1987); (4) O'Connell & Gatlin III (1994); (5) De Silva & Anderson (1995); (6) Watanabe et al. (1980b); (7) Watanabe et al. (1988); (8) Haylor et al. (1988); (9) Boscolo et al. (2003); (10) Boscolo et al. (2005); (11) Pezzato et al. (2006); (12) Barbosa et al. (2006); (13) Viola et al. (1986a); (14) NRC (1993); (15) Dabrowska et al. (1989); (16) Reigh et al. (1991); (17) Shiau & Hsieh (2001); (18) Kleemann et al. (2003); (19) Shiau & Su (2003); (20) Ferrari, et al. (2004); (21) Eid & Ghonim (1994); (22) Sá et al. (2004); (23) McClain & Gatlin III (1988); (24) Bremer Neto (2004).

2.2. O fósforo na nutrição das tilápias

2.2.1. Importância

Na natureza o fósforo se encontra amplamente distribuído em combinação com outros elementos. O fosfato se encontra em equilíbrio com o ácido fosfórico (H_3PO_4), com o dihidrogenofosfato (H_2PO_4^-) e com o hidrogenofosfato (HPO_4^{2-}). O fosfato pentavalente é a forma mais comum (PO_4^{3-}), sendo componente essencial do protoplasma; portanto, presente nos tecidos vegetais e animais (Strain & Cashman, 2002). A hidroxiapatita, $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, tem o papel importante de ser o principal material cristalino dos ossos, conferindo rigidez, resistência e suporte (Lall, 2002).

O fosfato livre também é chamado de fosfato inorgânico (fósforo inorgânico). O fosfato covalentemente ligado aos açúcares, às proteínas e a outros componentes da célula é chamado fosfato orgânico (fósforo orgânico). As concentrações de fósforo total nos tecidos variam entre 7,8 e 20,2 mg/g de proteína, com exceção das células especializadas de alto conteúdo de ácido ribonucléico (RNA) e dos tecidos nervosos de alto teor de mielina onde o fósforo é mais abundante (Da Silva & Cozzolino, 2007).

Este mineral está presente praticamente em todos os ingredientes alimentícios, como mistura das formas inorgânica e orgânica. As fosfatases intestinais hidrolisam a forma orgânica, e assim a maior parte da absorção acontece como fósforo inorgânico, ocorrendo maior porcentagem de absorção total nos animais jovens do que nos adultos (McDowell, 1992).

Como relatado por Martini (2006) e Da Silva & Cozzolino (2007) a absorção do fósforo é feita no intestino delgado. No duodeno é absorvido por mecanismo de transporte ativo com co-transporte do íon sódio. A taxa de transporte ativo é aumentada pela presença do hormônio calcitrol, forma ativa da vitamina D_3 ($(\text{OH})_2\text{D}_3$). O transporte do fósforo no jejuno e íleo ocorre por mecanismo passivo. A taxa de transporte do fósforo nesse caso é dependente principalmente da sua concentração no lúmen e é independente dos níveis de outros nutrientes e da energia. Cerca de dois terços do fósforo total são absorvidos pelo intestino, dependendo dos ingredientes usados na mistura alimentar.

O fósforo se encontra nas rações como componente natural de moléculas biológicas e com aditivo alimentar na forma de sais. Segundo Da Silva & Cozzolino (2007) o fósforo inorgânico é rapidamente absorvido, com tendência a ser excretado na urina. O fósforo presente nos ingredientes de origem animal se apresenta, principalmente, na forma inorgânica hidroxiapatita, componente estrutural dos ossos, de menor disponibilidade do que o conteúdo nos fosfatos de rocha (Steffens, 1987).

O fósforo dos vegetais ocorre principalmente na forma de ácido fítico

(exafosfato de inositol), o qual é pouco hidrolisado no intestino, apresentando portanto, baixa absorção e tendência a ser excretado pela via fecal. O aproveitamento do fósforo proveniente da dieta é relativamente eficiente, e o quociente do fósforo (mg de fósforo do alimento/mg de fósforo do peixe) é aproximadamente de 2 a 3 (Steffens, 1987).

Aproximadamente 90% da excreção endógena de fósforo se dá principalmente na forma hidrossolúvel via renal (Steffens, 1987; Lall, 2002). Os níveis de fósforo no plasma são controlados pelos rins, e quase todo o fósforo filtrado é reabsorvido, sobrando entre 0,1 e 20,0% que é excretado via urinária (Martini, 2006; Da Silva & Cozzolino, 2007). Para substituir estas perdas e prover as diversas necessidades estruturais e fisiológicas do corpo, o fosfato deve ser absorvido do alimento e da água.

A absorção de fósforo é reduzida por doses altas de carbonato de cálcio, altas concentrações de alumínio na dieta ou diminuição da temperatura da água. Diferente do cálcio, a baixa ingestão de fósforo parece não favorecer o mecanismo de absorção, refletindo essa condição numa diminuição dos níveis plasmáticos e urinários de fósforo, de modo que o consumo prolongado da dieta deficiente em fósforo causaria diminuição dos níveis corporais totais desse elemento (Lall, 2002).

Nos efluentes de piscicultura, esse mineral, juntamente com o nitrogênio ocasionam elevadas taxas de eutrofização (Richie & Brown, 1996). Tal processo pode comprometer a qualidade da água e, no caso de domínios de cianobactérias, prejudicar as características organolépticas dos peixes (Van Der Ploeg & Boyd, 1991) ou produzir compostos tóxicos aos peixes (English et al., 1993).

2.2.2. Funções e metabolismo

O fósforo é o segundo mineral mais importante da estrutura óssea (37% do osso corresponde ao cálcio e 16% ao fósforo), existindo estreita relação entre estes dois minerais (Steffens, 1987). Estruturalmente o fósforo ocorre como hidroxiapatita nos tecidos ósseos outorgando-lhes rigidez, resistência e suporte; como fosfolípidios fazendo parte da maioria das membranas biológicas e organelas intracelulares; e como nucleotídeos e ácidos nucléicos (McDowell, 1992; Martini, 2006; Da Silva & Cozzolino, 2007). O fósforo faz parte de diversos processos bioquímicos tais como geração e transferência de energia, armazenamento de compostos fosforilados como ATP e fosfato de creatina (Strain & Cashman, 2002; Martini, 2006; Da Silva & Cozzolino, 2007). Entre 80 e 85% desse elemento está presente nos ossos e tecidos duros, o restante faz parte dos tecidos moles e fluidos extracelulares. A concentração total de fósforo no sangue é de aproximadamente 40 mg/dL, principalmente como fosfolípidios das células vermelhas e lipoproteínas do plasma. Aproximadamente 3,1

mg/dL se concentra na forma fósforo inorgânico (Da Silva & Cozzolino, 2007).

Os ácidos nucléicos, responsáveis pela informação genética, são polímeros lineares de monômeros e nucleotídeos unidos por ligações fosfodiéster contendo de um a três grupos fosfato (Martini, 2006). Muitas enzimas, hormônios e moléculas de sinalização celular dependem da fosforilação para sua ativação. O fósforo também auxilia a manutenção do equilíbrio ácido-básico e atua como importante tampão. A molécula 2,3-difosfoglicerato (2,3-DPG) se liga à hemoglobina influenciando o transporte de oxigênio para os tecidos. Portanto, o íon fosfato representa importante papel no metabolismo de carboidratos, lipídeos, e aminoácidos; no metabolismo dos tecidos musculares e nervosos; e nos processos metabólicos que envolvem função tampão em fluidos de corpo (Lall, 2002). A deficiência de fósforo tem como conseqüência aumento da gliconeogênese no fígado e, com isso, incremento na síntese de ácidos graxos a partir dos aminoácidos (Takeuchi & Nakazoe, 1981). Resultados experimentais destes mesmos autores e de Onishi et al. (1987), comprovaram que baixas concentrações de fósforo no alimento originaram quantidades elevadas de gordura em carpa comum (*Cyprinus carpio*).

Ogino & Kamizono (1975) alimentaram trutas arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) com dietas isentas de minerais e, após duas semanas observaram diminuição do apetite, retardo no crescimento e anemia hipocrômica microcítica e, em certa porcentagem dos peixes, convulsão e morte. Os peixes sobreviventes apresentaram escoliose, lordose e descamação de ossos craniais. Chow & Schell (1980) resumiram os sintomas de deficiência e as exigências de 16 minerais para diversas espécies de peixes e demonstraram que somente a deficiência de quatro deles, fósforo, magnésio, ferro e iodo produziram sintomas evidentes.

2.2.3. Exigências

O fósforo é um mineral importante na nutrição animal, devido principalmente a sua grande necessidade para crescimento, mineralização óssea e para o metabolismo dos lipídios. A inclusão recomendada na dieta para evitar deficiências varia entre 0,29 e 0,75% de fósforo disponível, para a maioria dos peixes (Tabela 1). Na maioria das espécies pesquisadas, os testes foram feitos com alevinos ou animais juvenis, sem diferenciação criteriosa aparente dessas fases. Nas espécies, que apresentam resultados em função do tamanho corporal, observam-se exigências diferenciadas, com tendência de serem maiores para animais mais novos. De igual maneira, o critério de avaliação influi nos resultados, sendo que variáveis de desempenho e eficiência alimentar sugerem exigências mais baixas do que as variáveis de composição das carcaças, músculos e ossos.

A tabela 2 resume os dados reportados para exigências nutricionais de fósforo para tilápias as quais se encontram nas faixas de 0,30 a 1,10% para fósforo total e de 0,46 a 0,75% para fósforo disponível, dependendo da fonte de suplementação, do tipo de ração basal, da espécie de tilápia, do tamanho do peixe e do método de avaliação. Segundo Watanabe et al. (1980b) a exigência de fósforo para máximo crescimento e normal mineralização dos ossos, em tilápia do Nilo, pode ser menor de 0,90% na dieta. Robinson et al. (1987) reportaram exigências de 0,70% de cálcio e 0,30% de fósforo na dieta para desempenho produtivo e, de 0,50% de fósforo para normal mineralização dos ossos em juvenis de tilápia azul criada em águas com baixo conteúdo de cálcio. Viola et al. (1986a) propuseram nível mínimo de 0,70% de fósforo na dieta dos híbridos de tilápia para normal crescimento de peixes adultos e níveis próximos de 1,00% de fósforo para crescimento ótimo de animais mais novos. Haylor et al. (1988) por sua vez preconizaram um nível mínimo de 0,46% P_{disp} para ótimo desempenho de juvenis de tilápia do Nilo.

Estudos recentes feitos no Brasil reportaram, para alevinos de tilápia do Nilo, níveis de 0,50% de cálcio (Miranda et al., 2000) e de fósforo entre 0,74 e 1,10% (P_{disp} de 0,50 e 0,75%) (Miranda et al., 2000; Boscolo et al., 2005; Barbosa et al., 2006 e Pezzato et al., 2006). Miranda et al. (2000) concluíram que a relação $Ca:P_{disp}$ entre 1:1 e 1:1,5 é apropriada para normal crescimento e mineralização óssea em tilápia do Nilo, em quanto Robinson et al. (1987) preconizaram a relação de 1,4:1,0 para ótima mineralização dos ossos nessa espécie quando mantida em águas livres de cálcio. Para a fase de crescimento de tilápia do Nilo Boscolo et al. (2003) concluíram que o nível de suplementação de fósforo pode estar entre 0,35 e 0,70% de fósforo total.

2.3. Disponibilidade de fósforo para peixes

É de aceitação universal que as análises químicas simples não representam os níveis de efetividade biológica dos minerais contidos nos ingredientes, desse modo os pesquisadores têm optado por estabelecer medidas relativas de eficiência para descrever o valor nutricional desses elementos a partir de fontes alimentares (Jongbloed & Kemme, 1990). Assim as exigências dos minerais podem ser melhor apresentadas em quantidades absorvíveis ou utilizáveis do que em quantidades totais.

Os termos mais comumente usados na nutrição dos animais monogástricos para descrever a fração aproveitável dos minerais são disponibilidade (bio-disponibilidade), digestibilidade (absorbabilidade) e retenção (deposição). A forma clássica de estimar a disponibilidade dos minerais envolve testes de desempenho com diferentes fontes. Neles, os resultados de ganho de peso, conversão alimentar, conteúdo de cinzas nos ossos (ex. tíbia em aves, metacarpo em suínos ou vértebras

para o caso dos peixes), resistência dos ossos à compressão, deposição do mineral no corpo, nos órgãos ou nos tecidos, níveis plasmáticos ou séricos desse elemento, são expressos em proporções relativas aos obtidos com uma fonte teoricamente 100 % disponível, normalmente um fosfato (NRC, 1993, 1994, 1998). As dietas usadas para esse tipo de testes podem ser purificadas, semi-purificadas ou práticas. As principais limitações desse tipo de teste são que os valores obtidos são comparativos e não estimam a fração que seria utilizável (absorvida ou retida) pelo animal, e que as respostas são dependentes do critério de avaliação escolhido (Jongbloed et al., 1999; Rodehutscord et al., 2000). Desse modo deve ser descrita a fonte de referência e o critério (variável) escolhido (Jongbloed et al., 1999). As variáveis de desempenho não são bons indicadores de disponibilidade entre grupos de fontes, uma vez que precisamos de grandes diferenças para revelar resultados práticos.

Disponibilidade também é usada para descrever a fração de nutriente que é retida no corpo do animal (ARC, 1981). Quantifica-se as frações do mineral excretadas nas fezes e na urina, e por diferença pode ser estimada a fração retida no ganho. Ambas as excreções fecal e urinária podem ser quantificadas por colheita direta. A fração urinária também pode ser calculada indiretamente conhecendo o consumo, a excreção fecal e a retenção.

O fósforo está presente na maioria das fontes alimentares, porém sua disponibilidade varia para as diferentes espécies de peixes. A maioria dos compostos naturais de fósforo não é solúvel na água, somente em ácidos. A apatita e o fosfato tricálcico presentes nos ossos somente se dissociam em meio ácido forte. Assim, há diferença entre os peixes com estômago, onde ocorre secreção ácida e os que não os têm (Hepher, 1993). Outros fatores que também afetam a disponibilidade do fósforo são a relação Ca/P, a interação com outros minerais (Ca, Zn, Cu, Mg, Cu, F e Mn da dieta), a Vitamina D₃, o estado fisiológico do peixe, a fonte e processamento e a presença e relação fósforo fítico / fitase, principalmente (Lall, 2002).

Alguns alimentos contêm quantidades suficientes de minerais. As leveduras de petróleo e de cana são ricas em fósforo, porém deficientes em cálcio (Arai *et al.* 1975; Pardo-Gamboa, 2008). Nesse sentido, Hepher (1993) destacou que o fosfato orgânico da caseína e da levedura de petróleo é assimilado com alta eficiência tanto pela carpa comum como pela truta arco-íris.

Nos vegetais, os minerais são menos disponíveis devido à presença do ácido fítico que forma complexos (quelatos) e imobiliza os minerais tornando-os inaproveitável (Cunha, 1967). Ketola (1975) adicionou 6 g de fósforo/kg a partir de hidrogeno fosfato de cálcio (CaHPO₄) em dietas para salmão e observou melhora no crescimento, na conversão alimentar e no teor mineral dos ossos, quando comparado

com a dieta que continha exclusivamente vegetais, destacadamente o farelo de soja. Assim, a disponibilidade do fósforo depende da solubilidade da fonte, de modo que na forma de fosfato tricálcico é menos disponível do que na forma de fosfatos mono e bicálcico (Ogino et al., 1979). Para peixes sem estômago como a carpa, o fósforo na forma de fosfato tricálcico é ainda menos disponível e a fonte de fósforo passa a ser de grande importância, como observado por Yone et al. (1979) ao administrar fosfato tricálcico $[Ca_3(PO_4)_2]$ presente na farinha de peixe, verificando que este praticamente não foi digerido, enquanto que para a truta arco-íris, o aproveitamento do fósforo da farinha de pescado foi de cerca de 30%.

O fósforo das fontes inorgânicas e aqueles de origem animal são considerados 100% disponíveis para aves (Scott et al., 1976). Entretanto, segundo Li & Robinson (1996), devido ao bagre do canal secretar ácido clorídrico (HCl), como as aves e, os ingredientes usados nas rações serem finamente moídos, esse utiliza efetivamente suplementos de fósforo inorgânicos e aqueles de origem animal.

Li & Robinson (1996) estudaram a disponibilidade do fósforo proveniente do fosfato de rocha defluoretado e do fosfato bicálcico em dietas semi-purificadas para o bagre do canal por 12 semanas. Esses autores concluíram que o fosfato de rocha defluoretado teve valor biológico semelhante ao do fosfato bicálcico e observaram também redução benéfica de fósforo solúvel no sistema de criação dos peixes, sem que seu desempenho fosse afetado. Takamatsu et al. (1975) e Shitanda et al. (1978) encontraram valores de disponibilidade de fósforo na farinha de peixe para carpa comum e truta-arco-íris de 0,0 a 33,0%, e de 60,0 a 81,0%, respectivamente, concluindo que esta diferença deve-se à presença de sucos gástricos no estômago de trutas. Lovell (1978) estudou a disponibilidade de fósforo para o bagre do canal (*Ictalurus punctatus*), do fosfato bicálcico e da farinha de peixe, e encontrou valores de 65,0 e 39,0%, respectivamente.

Segundo Watanabe (1988) e Hopher (1993), o fósforo encontrado na farinha de peixe é proveniente de tecidos como ossos e escamas, se apresentando principalmente na forma de hidroxiapatita $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$, assim, presumem esses autores que as carpas não conseguem solubilizar o fósforo da farinha de peixe, sendo necessário suplementar fósforo solúvel na sua dieta.

Para Jobling (1994) o fosfato tricálcico presente na farinha de peixe pode inibir a disponibilidade de zinco em dietas de salmão e bagre do canal. Tal fato resultou em pior crescimento, presença de catarata e deformidades no esqueleto desses peixes, e que, entretanto, alto nível desse fosfato não parece afetar tão severamente a carpa comum. Afirmou o autor que altos níveis de fósforo na dieta podem ter efeito negativo devido a formação de um precipitado insolúvel entre zinco, cálcio e fósforo, que reduz

a absorção do fósforo pelo intestino. Problemas de disponibilidade mineral podem aparecer quando as dietas são formuladas com fonte protéicas de origem vegetal, que contêm ácido fítico, ou com as fontes de origem animal, que contêm fósforo na forma de fosfato tricálcico. Como reportado por Li & Robinson (1996) para bagre do canal, a disponibilidade aparente do fósforo dos ingredientes farinha de peixe (75%), farinha de carne e ossos e sangue (84%) e fosfato bicálcico (82%), estimados pelo ganho de peso foram inferiores dos valores estimados com base nas cinzas ou no conteúdo de fósforo dos ossos que estiveram entre 93 e 96%. Os autores sugerem que o ganho de peso é uma variável fiável para estudos de disponibilidade de fósforo, e que os valores de disponibilidade de fósforo baseados na mineralização dos ossos podem estar superestimados.

Nose & Arai (1978) observaram que a porcentagem de retenção de fósforo líquido do fosfato tricálcico, da farinha de peixe e do farelo de arroz foram, respectivamente, 61, 51 e 19%, para a truta arco-íris e 26, 3 e 25% para a carpa comum. A assimilação do fósforo a partir das fontes minerais da dieta se mostra bastante elevada e pode ser em torno de 90 a 95% (Ogino et al., 1979). Entretanto, tem-se registrado valores mais baixos de fósforo disponível nas rações a base de vegetais próximos de 40%, para a carpa comum (Steffens, 1987).

Watanabe (1988) relatou que em rações balanceadas para peixes, contendo níveis elevados de farinha de peixe como fonte protéica, muitos minerais se encontram presentes. No entanto, tem sido demonstrado que a sua disponibilidade é relativamente baixa devido à interação que existe entre eles. Este autor encontrou porcentagens de absorção de fósforo para salmão de 30, 71 e 65%, em três tipos de farinhas de peixes disponíveis no mercado.

A disponibilidade aparente do fósforo presente no farelo de soja foi estudada por Sugiura et al. (1998), que encontraram valores disponíveis de 22,0% para a truta arco íris e 28,0% para o salmão. Com o bagre do canal, Lovell (1978) obteve disponibilidade aparente entre 50,0 e 54,0%; Wilson et al. (1982) de 29,0%; enquanto Li & Robinson (1996) de 49,0%.

Para a absorção pelo enterócito, os minerais devem estar dispostos na forma iônica. Em princípio, o transporte epitelial pode ocorrer por ambas as formas, ativa regulada por hormônios, e passiva, dependentes dos gradientes químico e elétrico ao longo da parede intestinal. Devido à regulação hormonal a taxa de absorção do P depende dos níveis suplementados e das exigências do animal, que por sua vez diferem em função das espécies, tamanhos e condições fisiológicas. A absorção do P ocorre principalmente no intestino delgado anterior e diminui progressivamente até ser quase nula no intestino grosso. Os peixes mantêm a homeostase nos fluidos

celulares por diversos mecanismos através da parede intestinal ou dos rins e, em consequência, apresentam grandes diferenças entre as quantidades absorvidas e utilizadas dos minerais (Sugiura et al., 2000).

Em termos de praticidade quando da avaliação do valor biológico dos minerais, os testes mais adequados às aves são disponibilidade e retenção (Coon et al., 2002) dadas às dificuldades para separar as fezes da urina. Para suínos (Jongbloed et al., 1999) e peixes (Rodehutsord et al., 2000; Sugiura et al. 1998) os ensaios mais freqüentes e que melhor se adéquam são os de digestibilidade ou absorbabilidade. O tamanho dos suínos dificulta as avaliações de composição corporal e balanço de nutrientes e no caso dos peixes, as principais dificuldades residem na recuperação da urina e na homogeneização das amostras corporais dos peixes adultos. Os testes de digestibilidade ou absorbabilidade quantificam de forma aparente ou verdadeira, ileal ou total, as frações do nutriente que desaparecem do trato gastrintestinal. Para determinar os valores de digestibilidade verdadeira devem ser descontadas as excreções fecais endógenas das excreções fecais totais de fósforo.

Alguns autores estimam os valores de fósforo disponível em peixes com base na quantificação da fração líquida absorvida (digestibilidade aparente), como pode ser verificado nos trabalhos de Lovell (1978) e Eya & Lovell (1997) com bagre de canal; Ogino et al. (1979) com carpa e truta; Viola et al. (1986b) com carpa e Viola et al. (1986a) com tilápia; Riche & Brown (1996) e Sugiura et al. (1998) com truta; e, Miranda et al. (2000) e Gonçalves et al. (2007) com tilápia, entre outros. Porém, o nível do mineral na ração deve estar próximo da exigência nutricional, para evitar que excreções endógenas aumentadas comprometam os resultados subestimando a qualidade da fonte. Igualmente quantidades inferiores podem superestimar a fração disponível na fonte, ao exigir do animal a máxima eficiência de absorção.

Os valores de minerais disponíveis (digestíveis) devem ser analisados criteriosamente, pois diversos fatores podem afetar grandemente os resultados. Como revisado por Jongbloed & Kemme (1990), os principais fatores relacionados com o aproveitamento do P em animais podem ser classificados como segue: (1) No animal como espécie, sexo, idade, estado fisiológico, saúde e indivíduo. (2) Na fonte mineral como pureza, grau de moagem, concentração de outros minerais, processo de produção, técnicas físicas e químicas aplicadas, fonte original do material, presença de ânions ou cátions e presença de complexos orgânicos. (3) Na dieta fatores como quantidade de mineral incluído, relação entre minerais (relação Ca:P, relação Na:K), níveis de vitaminas (vitamina D), níveis de proteína, gordura, fibra e enzimas (fitase). (4) Fatores relativos com a tecnologia de processamento aplicado à dieta como grau de moagem dos ingredientes, peletização ou extrusão, entre outros. (5) Método de

avaliação em função do mineral de referência, critério de resposta, nível de suplementação, modelo de avaliação, período de adaptação e do teste. Um adequado período de adaptação é fundamental antes das colheitas das fezes, e os métodos de colheita e processamento dos materiais fecais, propriamente ditos, fazem diferença nos resultados finais.

Furuya (2000) determinou a digestibilidade aparente do fósforo presente na farinha de peixe, milho, farelo de trigo e farelo de soja para a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e obteve valores de 49,6; 50,0; 29,4 e 47,7%, respectivamente. Em estudo feito por Miranda (2000) para determinar a disponibilidade (calculada como fração digestível) de fósforo em ingredientes de origem vegetal, com a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), foi observado valores de coeficientes de disponibilidade do fósforo de 7,3; 35,1 e 30,7%, respectivamente, para o fubá de milho, farelo de soja e farelo de trigo. Dentre estes ingredientes, o milho pode compor até 60,0% dos constituintes de uma dieta comercial balanceada. Apesar de tal participação, este produto geralmente apresenta baixo conteúdo de fósforo. Gonçalves et al. (2007) observou coeficientes de disponibilidade (digestibilidade aparente) do fósforo para glúten de milho de 22,20%, farelo de soja de 22,30% e farelo de algodão de 52,90% com tilápia do Nilo de 100 g. Guimarães et al. (2007) trabalhando com tilápia do Nilo de 86g, verificaram coeficientes de disponibilidade (digestibilidade aparente) do fósforo de 26,96% para farelo de soja e de 3,51% para farelo de algodão. A variabilidade dos resultados obtidos pelos pesquisadores pode ser atribuída às variações nas composições dos ingredientes, processamento das rações, teor do nutriente na ração, tamanho dos peixes, linhagem ou método de extração do mineral, principalmente.

2.4. Relação Cálcio/Fósforo no balanceamento das rações

A absorção de minerais da água pelos peixes varia em função da espécie e de alguns fatores ambientais, tais como o nível de concentração dos minerais, a temperatura e o pH da água. Quando os minerais absorvidos da água não são suficientes para satisfazer a exigência total, é necessário suplementar por meio da ração. Em água com alta concentração de cálcio os peixes satisfazem suas exigências, enquanto que com baixas concentrações, utilizam mais o cálcio proveniente da ração (Steffens, 1987; Lall, 2002).

Cálcio e fósforo são considerados juntos pelo fato estarem relacionados ao desenvolvimento e manutenção do sistema esquelético. São os maiores constituintes da fração mineral dos ossos, dão estabilidade às vértebras por meio da fase sólida do fosfato de cálcio, e participam de diferentes processos fisiológicos incluindo a

manutenção do equilíbrio ácido-base (Lall, 2007). Eles estão estreitamente ligados de tal forma que a deficiência ou o excesso de um interfere na apropriada utilização do outro (Mc Dowell, 1992).

A importância da relação cálcio/fósforo na manutenção da homeostase dos peixes foi observada por Ogino et al. (1979) em trutas arco-íris e, em salmão do Atlântico (*Salmo salar*), por Watanabe et al. (1980a). Segundo estes autores, quando os peixes recebiam ração deficiente em fósforo, mas dispunham de quantidades suficientes de cálcio tanto na água como na ração, o teor de cálcio nos ossos e outros tecidos foram mais baixos. Destacaram, ainda, que independente da quantidade de fósforo ingerido não houve diferença na relação Ca/P nos tecidos corporais.

A relação Ca:P para algumas espécies de peixes se apresenta na faixa de 1,5 a 2,1:1,0 nas escamas e ossos e entre 0,7 e 1,6:1,0 no corpo inteiro dependendo principalmente do estágio de desenvolvimento, enquanto o nível de fósforo no corpo inteiro é de aproximadamente 0,4 a 0,5 % do peso fresco (Lall, 2002). Em ovos e larvas de truta, a concentração de fósforo é marcadamente mais alta que a do cálcio, mais depois que iniciam a alimentação exógena e se desenvolvem, a concentração de cálcio aumenta até ficar próxima à da concentração do fósforo corporal (McCay et al., 1936). As escamas são importante local de armazenamento e metabolismo do cálcio, cuja taxa de troca é três vezes à dos ossos. A concentração de cálcio nas escamas da tilápia é 19 a 24 % do peso seco (Garrod & Newell, 1958). A quantidade de cálcio nas escamas dos peixes diminui durante a época reprodutiva e na inanição (Yamada, 1956; Garrod & Newell, 1958).

Relações ótimas de Ca:P nas dietas de *Pagrus major* e enguia japonesa, respectivamente de 1:2 e 1:1, foram reportadas (NRC, 1993). Igualmente para tilápia do Nilo foram preconizadas relações de 1,4:1,0 (0,70 % de Ca e 0,30 a 0,50 de P) quando criada em condições de laboratório usando águas livres de cálcio (Robinson et al., 1987) e de 1,0:1,0 a 1,0:1,50 (0,50% de Ca e 0,50 a 0,75% de P disp.) para alevinos da espécie em condições de laboratório, quando a concentração de Ca na água foi de 60 - 80mg/L (Miranda et al., 2000).

Relevância significativa dos níveis de fósforo da dieta dos peixes foi destacada por Ogino & Takeda (1976), Lovell (1978) quando conduziram estudos, respectivamente, com a carpa comum e o bagre do canal. Constataram que níveis elevados de cálcio nas rações não alteraram a quantidade de fósforo presente no corpo dos peixes. Concluíram ainda, que os peixes cujas rações apresentavam-se ricas em fósforo, mesmo que deficientes em cálcio apresentaram crescimento normal.

Estudando o crescimento da carpa comum e da truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*), Watanabe (1988) encontrou correlação positiva entre o ganho de peso e o

nível de fósforo da ração, mas não com o nível de cálcio. Segundo esse autor, é difícil estudar os efeitos da deficiência de cálcio em peixes devido ao fato do mesmo ser absorvido ativamente da água, através das brânquias. Considerando que o cálcio é absorvido diretamente da água e que ocorre em quantidades razoáveis nas dietas dos peixes, a relação entre cálcio e fósforo não parece ser tão importante nas dietas dos peixes quanto nas dos monogástricos terrestres, e a atenção deve ser direcionada às exigências nutricionais de fósforo (Lall et al., 2007).

Com base nessas informações o Capítulo – II, intitulado “Digestibilidade de fontes protéicas e disponibilidade de fosfatos inorgânicos, pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), em três fases de desenvolvimento” e o Capítulo – III, intitulado “Exigência dietaria de fósforo na alimentação por fases da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)” objetivaram estudar as diferenças nas taxas de absorção e nas exigências de fósforo das tilápias quando da alimentação por fases. A redação destes capítulos foi feita com base nas normas de publicação da *Revista Brasileira de Zootecnia*.

3. REFERÊNCIAS

- ALBES, J.M.C. A indústria de rações no Brasil: interface com a pesquisa. In: 20 Simpósio de nutrição e saúde de peixes, 2007. Botucatu, *Anais...*, Botucatu, SP, Brasil: FMVZ-UNESP, 2007, p. 71-74.
- ARAI, S.; MUELLER, R.; SHIMMA, Y.; NOSE, T. Effect of calcium supplement to yeast grow on hidrocarbons as feedstuffs for rainbow trout. *Bulletin of Freshwater Fish Research Laboratory*, v.25, p.33-40, 1975.
- AGRICULTURAL RESEARCH COUNCIL – ARC. The Nutrient Requirements of Pigs. Common Agricultural Bureaux, Slough, UK, 1981, 297p.
- BARBOSA RIBEIRO, F; TEIXEIRA LANNA, E.A; DELMONDES BOMFIM, M.A; JUAREZ LOPES, D; SARAIVA DE FREITAS, A; DE SOUSA, M.P; QUADROS, M. Níveis de fósforo total em dietas para alevinos de tilápia do Nilo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.35, n.4, p.1588-1593, 2006.
- BOSCOLO, W.R.; FEIDEN, A.; REIDEL, A.; BROLL, F.; HOLDEFER, A.M.; DOS SANTOS, R.V.; MARANHÃO, T.C.F. Exigência de fósforo da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) na fase de crescimento. *Varia Scientia*, Cascavel, v.3, n.1, p.115-124, 2003.
- BOSCOLO, W.G; FEIDEN, A; BOMBARDELLI, R.A; SIGNOR, A; GENTELINI, A.L; DE SOUZA, B.E. Exigência de fósforo para alevinos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Acta Scientiarum Animal Sciences*, v. 27, n.1, p. 87-91, 2005.
- BOYD, C.E.; TUCKER, C.S. Pond aquaculture quality management. Kluwer Academic Publishers, Norwell, Massachusetts, USA, 1998, 685p.
- BREMER NETO, H. Efeitos da suplementação de cromo na dieta de tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). Piracicaba, SP. 2004, p.54. (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo Energia, 2004.
- CHOW, K.W.; SCHELL, W.R. The minerals. In: *Fish Feed Technology. Aquaculture development and cordination programme*. FAO/UNDP, Italia-Roma: 1980. p.104-108.
- COON,C.; LESKE, K.; SEO, S. The availability os calcium and phosphorus in feedstuffs. IN: McNab, M.J. & Boormn, K.N. (Eds). *Poultry feddstuffs: supply, composition and nutritive value*. Cab International, 2002, p.151-179.
- CUNHA, T.J. Present status on swine feeding and nutrition. Hoffmann La Roche. Basle. 1967. 20p.

- DA SILVA, A.Y.H.; COZZOLINO, S.M.F. Fósforo. In: Cozzolino, S.M.F. Biodisponibilidade de nutrientes. 2ª Edição. Manole Interesse Geral, Barueri, SP, p.447-458, 2007.
- DABROWSKA, H.; MEYER-BURGDORFF, K. H.; GÜNTHER, K. D. Interaction between dietary protein and magnesium level in tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, v.76, p.277-291, 1989.
- DAVIS, D.A.; GATLIN III, D.E. Dietary mineral requirements of fish and marine crustaceans. *Reviews in Fisheries Science*, v.4, n.1, p.75-99, 1996.
- DE SILVA S.S.; ANDERSON, T.A. *Fish Nutrition in Aquaculture*, Chapman & Hall, London, 1995, 319p.
- EID, A.E.; GHONIM, S.I. Dietay zinc requirement of fingerling *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*, v.119, n.2-3, p.259-264, 1994.
- ENGLISH, W.R.; SCHWEDLER, T.E.; DYCK, L.A. *Aphanizomenon flos-aquae*, a toxic blue green alga in commercial channel catfish, *Ictalurus punctatus*, ponds: a case history. *Journal of Applied Aquaculture*, v.3, p.195-209, 1993.
- EYA, J.C.; LOVELL, R.T. Net absorption of dietary phosphorus from various inorganic sources and effect of fungal phytase on net absorption of plant phosphorus by channel catfish, *Ictalurus punctatus*. *Journal of world aquaculture society*, v.28, p.386-391, 1997.
- FAO - ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. *El Estado Mundial de la Pesca y la Acuicultura 2006*. (SOFIA), FAO -Roma, 2007, 176p.
- FERRARI, J.E.C.; BARROS,M.M.; PEZZATO, L.E.; GONÇALVES, G.S.; HISANO, H.; KLEEMANN, G.K. Níveis de cobre em dietas para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Acta Scientiarum Animal Science*, Maringá, v.26, n.4, p.429-436, 2004.
- FURUYA, W.M. Digestibilidade aparente de aminoácidos e substituição da proteína da farinha de peixes pela proteína do farelo de soja com base no conceito de proteína ideal em rações para a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Botucatu, SP: UNESP, 2000, 70p. (Doutorado em zootecnia) - Universidade Estadual Paulista, Brasil, 2000.
- GARROD, D.J.; NEWELL, B.S. Ring formation in *Tilapia esculenta*. *Nature*, v.181, p.1411-1412, 1958.

- GONCALVES, G.S.; PEZZATO, L.E.; PADILHA, P. de M. et al. Disponibilidade aparente do fósforo em alimentos vegetais e suplementação da enzima fitase para tilápia do Nilo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, vol.36, no.5, suppl, p.1473-1480, 2007.
- GUIMARÃES, I.G.; PEZZATO, L.E.; BARROS, M.M. et al. Coeficiente de digestibilidade dos nutrientes e disponibilidade de minerais em alimentos protéicos extrusados para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). In: 44^a Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. O avanço científico e tecnológico na produção animal, 2007. Jaboticabal, *Anais...*, Jaboticabal, SP, Brasil: SBZ, 2007, A-513.
- HALVER, J.E. Fish nutrition and aquaculture diets - Fish nutrition consultancy report. FAO. Seattle, Washington. 1991, 24p.
- HAYLOR, G.S.; BEVERIDGE, M.C.M.; JAUNCEY, K. Phosphorus nutrition of juvenile *Oreochromis niloticus*. In: The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture, 1988, Manila. Proceedings... Manila: Department of Fisheries, 1988, p.341-345.
- HEPHER, B. Nutrición de peces comerciales en estanques. México: Ed. Limusa S.A. Primera Edición, 1993, 407p.
- HILTON, J.W. The interaction of vitamins, mineral and diet composition in the diet of fish. *Aquaculture*, v.79, p.223-244, 1989.
- JAUNCEY, K.; ROSS, B. A. Guide to Tilapia Feeds and Feeding. Institute of Aquaculture, University of Stirling, Scotland, 1982, 111p.
- JOBLING, M. Fish Bioenergetics. Fish and fisheries. Series 13. London: Chapman & Hall Eds. 1994. 309p.
- JOENGBLOED, A.W.; KEMME, P.A. Apparent digestible phosphorus in the feeding of pigs in relation to availability, requirement and environment: 1. Digestible phosphorus in feedstuffs from plant and animal origin. *Netherlands Journal of Agricultural Sciences*, v.38, p.567-575, 1990.
- JOENGBLOED, A.W.; EVERTS, H.; KEMME, P.A.; MROZ, Z. Quantification of absorbability and requirements of macroelements. In: I. Kyriazakis, I. (eds) A quantitative biology of the pig. CAB International, p.275-298, 1999.
- KETOLA, H.G. Requirements of Atlantic salmon for dietary phosphorus. *Transactions of the American Fisheries Society*, v.104, p.548-551, 1975.
- KLEEMANN, G.K.; BARROS, M.M.; PEZZATO, L.E.; SAMPAIO, F.G.; SAMPAIO, J.E.C.;

- VALLE, J.B.; FREIRE, E.S.; ZUANON, J.A.S. Iron requirement for Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. In: World Aquaculture 2003, Salvador – BA, Book of Abstracts... Salvador – BA, WAS, 2003, v.1, p.82.
- LALL, S.P. The Minerals. In: Halver, J.E. Ed. Fish Nutrition, San Diego: Academic Press, p. 219-257, 1989.
- LALL, S.P.; OLIVER, G. Role of micronutrients in immune response and disease resistance in fish. In: Fish nutrition in practice, Fourth International Symposium on Fish Nutrition and Feeding. Biarritz, France, p.101-118, 1993.
- LALL, S.P. The Minerals. In: Halver, J.E. & Hardy, R.W. Eds. Fish Nutrition, Third Edition, Elsevier Science (USA), p.259-308, 2002.
- LALL, S.P.; LEWIS-MCCREA, L.M. Role of nutrients in skeletal metabolism and pathology in fish — An overview. *Aquaculture*, v.267, p.3–19, 2007.
- LELLIS, W.A.; BARROWS, F.T.; HARDY, R.W. Effects of phase-feeding dietary phosphorus on survival, growth, and processing characteristics of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*, v.242, p.607–616, 2004.
- LI, M.H; ROBINSON, E.H. Phosphorus availability of common feedstuffs to channel catfish (*Ictalurus punctatus*) as measured by weight gain and bone mineralization. *Journal of the World Aquaculture Society*, v.27, n.3, 1996.
- LIM, C.; WEBSTER, C.D. Tilapia: Biology, Culture and Nutrition. Haworth Press, New York. 2006, 705p.
- LOVELL, R.T. Dietary phosphorus requirements of channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Transactions of the American Fisheries Society*, v.107, p.617-621, 1978.
- MARTINI, L.A. Cálcio e fósforo. In: Vannucchi, H; Cardoso, M.A. Eds. Nutrição Humana. Ed. Rio de Janeiro, RJ: Gaunabara koogan, 2006, v.1, p.219-236.
- McDOWELL, L.R. Minerals in animal and human nutrition. Academic Press Limited, San Diego, California, 1992, 524p.
- MCKAY, L.R., GJERDE, B. Genetic variation for spinal deformity in Atlantic salmon *Salmo salar*. *Aquaculture*, v.52, p.263–272, 1986.
- McCLAIN, W.R.; GATLIN III, D.M. Dietary zinc requirement of *Oreochromis aureus* and effects of dietary calcium and phytate on zinc bioavailability. *Journal of the World Aquaculture Society*, v.19, p.103–108, 1988.
- McDOWELL, L.R. Minerals in animal and human nutrition. Academic Press Limited,

- San Diego, California, 1992, 524p.
- MERTZ, W. Trace Elements in Human Nutrition. 5 ed. vol.1. Orlando: Academic Press, Orlando, 1986. 480p.
- MIRANDA, E.C. Disponibilidade de Fósforo e sua relação com o cálcio em dietas para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Botucatu, SP: UNESP, 2000, 54p (Doutorado em zootecnia) - Universidade Estadual Paulista, Brasil, 2000.
- MIRANDA, E.C; PEZZATO, A.C; PEZZATO, L.E; GRANER, C.F; ROSA, G.J; QUINTERO-PINTO, L.G. Relação Cálcio/Fósforo Disponível em Rações para Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Revista Brasileira de Zootecnia, v.29, n.6, p.2162-2171, 2000.
- NOSE, T.; ARAI, S. Recent advances on studies on mineral nutrition of fish in Japan. In: T.V.R. Pillay and W.A. Dill. Eds. Advances in aquaculture. Farnham. England: Fishing News, p.584-590, 1978.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. Nutrient requirements of fish. The National Academy of Sciences, Washington (DC), 1993. 114p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. Nutrient Requirements of Poultry, 9th rev. edn. The National Academy Press, Washington, (DC), 1994. 155p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. Nutrient Requirements of Swine, 10th revised edition. The National Academy Press, Washington, DC., 1998. 211p.
- O'CONNELL, J.P.; GATLIN, D.M. Effects of dietary calcium and vitamin D3 on weight gain and mineral composition of the blue tilapia (*Oreochromis aureus*) in-calcium water. Aquaculture, v.125, p.107-117, 1994.
- OGINO, C.; KAMIZONO, M. Mineral requirements in fish. I. Effects of dietary salt-mixture levels on growth, mortality and body composition in rainbow trout and carp. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, v.41, p.429-434, 1975.
- OGINO, C.; TAKEDA, H. Mineral requirements in fish. 3. Calcium and phosphorus requirements of carp. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, v.42, n.7, p.793-799, 1976.
- OGINO, C.B.; TAKEUCHI, L.; TAKEDA, H.; WATANABE, T. Availability of dietary phosphorus in carp and rainbow trout. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, v.45, p.1527-1532, 1979.
- ONISHI, T.; SUZUKI, M.; TAKEUCHI, M. Change in carp hepatopancreatic activities with dietary phosphorus levels. Bulletin of the Japanese Society of

- Scientific Fisheries, v.47, p.353-357, 1987.
- PARDO-GAMBOA, B.S. Digestibilidade dos macronutrientes e disponibilidade dos minerais, pela tilápia do Nilo, das leveduras íntegra e autolisada. Botucatu, SP: UNESP, 2008, 58p. (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Estadual Paulista, Brasil, 2008.
- PEZZATO, L.E.; SANTA ROSA, M.J.; BARROS, M.M.; GOMES, I. Exigência em fósforo disponível para alevinos de tilápia do Nilo. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.36, n.5, p.1600- 605, 2006.
- REIGH, R. C.; ROBINSON, E. H.; BROWN, P. B. Effect of dietary magnesium on growth and tissue magnesium content of blue tilapia *Oreochromis aureus*. *Journal of the World Aquaculture Society*, v.22 n.3, p.192–200, 1991.
- RICHARDSON, N. L.; HIGGS, D. A.; BEAMES, R. M. The susceptibility of juvenile chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) to cataract formation in relation to dietary changes in early life. *Aquaculture*, v.52, n.4, p.237-246, 1986.
- RICHIE, M.; BROWN, P.B. Availability of phosphorus from feedstuffs fed to rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*, v.142, p.269-282, 1996.
- ROBINSON, E.H.; RAWLES, S.D.; YETTE, H.E.; GREENE, L.W. An estimate of the dietary calcium requirement of fingerling *Tilapia aureus* reared in calcium-free water. *Aquaculture*, v.41, p.389–393, 1984.
- ROBINSON, E.H.; LABOMASCUS, D.; BROWN, P.B.; LINTON, T.L. Dietary calcium and phosphorus requirements of *Oreochromis aureus* reared in calcium-free water. *Aquaculture*, v.64, p.267–276, 1987.
- RODEHUTSCORD, M.; GREGUS, Z.; PFEFFER, E. Effect of phosphorus intake on faecal and non-faecal phosphorus excretion in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and the consequences for comparative phosphorus availability studies. *Aquaculture*, v.188, p.383–398, 2000.
- SÁ, M.B. DO C.; PEZZATO, L.E.; BARROS, M.M.; PADILHA, P.M. Optimum zinc supplementation level in Nile tilapia *Oreochromis niloticus* juveniles diets. *Aquaculture*, v.238, n.1-4, p.385-401, 2004.
- SCOTT, M.L.; NESHEIR, M.C.; YOUNG, R.J. Nutrition of the chicken. M.L. Scott and Associates. Ithaca, New York, USA. 1976.
- SHEARER, K.D. Changes in elemental composition of hatchery-reared rainbow trout, *Salmo gairdneri*, associated with growth and reproduction. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, v.41, p.1592-1600, 1984.

- SHIAU, S.Y.; HSIEH, J.F. Quantifying the dietary potassium requirement of juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*. *British Journal of Nutrition*, v.85, p.213–218, 2001.
- SHIAU, S.Y. Tilapia, *Oreochromis spp.* In: Webster, C.D.; Lim, C. Eds. *Nutrients requirements and feeding of finfish for aquaculture*. New York, USA: CAB Internacional, 2002. p.273–292.
- SHIAU, S.Y.; SU, S.W. Ferric citrate is half as effective as ferrous sulfate in meeting the iron requirement of juvenile tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*. *The Journal of Nutrition*, v. 133, p. 483-488, 2003.
- SHITANDA, K.; WAGATSUMA, R.; UKITA, M. Effect of phosphorus supplement to commercial diet on growth, feed efficiency, chemical component of serum and body with carp. *Suisanzoshoku*, v.27, p.26-32, 1978.
- STEFFENS, W. *Principios fundamentales de la alimentación de los peces*. Editora Acribia. Zaragoza. 1987. 272p.
- STRAIN, J.J. & CASHMAN, K.D. Minerals e oligoelementos. In: Gibney, J.; Vorster, H.H.; Kok, F.J. Ed. *Introdução à nutrição humana*. Rio de Janeiro, RJ: Guanabara – koogan, p.162-205. 2002.
- SUGIURA, S.H.; DONG, F.M.; RATHBONE, C.K.; HARDY, R.W. Apparent protein digestibility and mineral availabilities in various feeds ingredients for salmonid feeds. *Aquaculture*, v.159, p.177-202, 1998.
- SUGIURA, S.H.; DONG, F.M.; HARDY, R.W. Primary responses of rainbow trout to dietary phosphorus concentrations. *Aquaculture Nutrition*, v.6, p.235-245, 2000.
- TAKAMATSU, C.; ENDOH, E; HASEGAWA, T.; SUZUKI, T. Effect of phosphorus supplemented diet on growth of carp. *Suisanzoshoku*, v.23, p.55-60, 1975.
- TAKEUCHI, M.; NAKAZOE, J. Effect of dietary phosphorus on lipid content and its composition in carp. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, v.47, p.347-352, 1981.
- ULLREY, D.E. Fish. In: Pond, W.G.; Church, D.C.; Pond, K.R. *Basic animal nutrition and feeding*. New York: J.W.S. Editor, p.547-565. 1995.
- VAN DER PLOEG, M.; BOYD, C.E. Geosmin production by cyanobacteria (blue green algae) in fish ponds at Auburn, Alabama. *Journal of the World Aquaculture Society*, v.22, p.207-216, 1991.
- VAN DER PLOEG, M.; TUCKER, C.S. Seasonal trends in flavor quality of channel

- catfish, *Ictalurus punctatus*, from commercial ponds in Mississippi. *Journal of Applied Aquaculture*, v.3, p.121-140, 1994.
- VIOLA, S.; ZOHAR, G.; ARIELI, Y. Phosphorus requirements and its availability from different sources for intensive pond culture species in Israel. Part 1. Tilapia. *Bamidgeh*. v.38, p.3-12, 1986a.
- VIOLA, S.; ZOHAR, G.; ARIELI, Y. Requirements of phosphorus and its availability from different sources for intensive pond culture species in Israel. Part 2: Carp culture. *Bamidgeh*, v.38, p.44-54, 1986b.
- WATANABE, T.; MURAKAMI, A.; TAKEUCHI, L.; NOSE, T.; OGINO, C. Requirement of chum salmon held in freshwater for dietary phosphorus. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, v.46, p.361-367, 1980a.
- WATANABE, T.; TAKEUCHI, T.; MURAKAMI, A.; OGINO, C. The availability to Tilapia nilotica of phosphorus in white fish meal. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, v.46, p.897-899, 1980b.
- WATANABE, T. Fish nutrition and maniculture. Jica Textbook. The General Aquaculture Course. 1988. 233p.
- WATANABE, T.; SATOH, S.; TAKEUCHI, T. Availability of minerals in fish meal to fish. *Asian Fisheries Science*, v.1, p.175-195, 1988.
- WATANABE, T.; KIRON, V.; SATOH, S. Trace mineral in fish nutrition. *Aquaculture*, v. 151, p.185-207, 1997.
- WEATHERUP, R.N.; McCracken, K.J. Changes in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum), body composition with weight. *Aquaculture Research*, v.30, n.4, p.305-307, 1999.
- WILSON, R.R.; ROBINSON, E.H.; GATLIN III, D.M.; POE, W.E. Dietary requirement of channel catfish. *Journal of Nutrition*, v.112, p.1197-1202, 1982.
- YAMADA, J. On the mechanism of the appearance of the scale structure: VI. Some observations associating with the absorption of scale in the goldfish. *Bulletin of Faculty of Fisheries Hokkaido University*, v.7, p.202-207, 1956.
- YONE, Y.; FUJII, M.; TOSHIMA, N. The utilization of phosphorus in fish meal by carp and black sea bream. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, v.45, p.735-756, 1979.

Capítulo - II

Digestibilidade de fontes protéicas e disponibilidade de fosfatos inorgânicos, pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) em três fases de desenvolvimento

Digestibilidade de fontes protéicas e disponibilidade de fosfatos inorgânicos, pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) em três fases de desenvolvimento

Resumo – A Absorção aparente dos nutrientes contidos em alguns ingredientes protéicos e fosfatos inorgânicos, pela tilápia do Nilo, foi comparada em três diferentes fases de crescimento. Os ingredientes testados foram farinha de peixe, farinha de vísceras de aves, farinha de carne e ossos, glúten de milho, farelo de soja, farelo de algodão, fosfato mono bicálcico, fosfato bicálcico, fosfato mono potássico e ácido fosfórico. A absorção de nutrientes foi determinada com peixes representando as fases de desenvolvimento: crescimento (25g), engorda (250g) e acabamento (500g). Concluiu-se que a capacidade da tilápia do Nilo para digerir os alimentos e absorver os nutrientes é dependente do peso corporal e das características do alimento avaliado; houve tendência de melhor aproveitamento de nutrientes dos alimentos de origem animal e fontes inorgânicas pelos peixes juvenis. Os peixes em engorda e acabamento mostraram melhor aproveitamento dos nutrientes das fontes protéicas de origem vegetal, quando comparados com os peixes mais novos.

Palavras-chave: Nutrientes digestíveis, fósforo disponível, fases de crescimento, ingredientes protéicos, suplementos minerais.

Digestibility of protein sources and availability of inorganic phosphates in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) at three stage growth

Abstract – Apparent absorption of nutrients contained in several protein ingredients and inorganic phosphates by Nile tilapia were compared in three different stage growth. The ingredients tested were fish meal, chicken by-product meal, meat and bone meal, corn gluten, soybean meal, cotton seed meal, mono-bi-calcium phosphate, bi-calcium phosphate, mono-potassium phosphate and phosphoric acid. Nutrient absorption was determined by fish in three different stage of growth cycle: nursery phase (25g), growout-I phase (250g) and growout-II phase (500g). It was concluded that, the ability of Nile tilapia to digest feed and absorb nutrients is dependent on body weight and characteristics of food evaluated; there was better utilization of nutrients from animal protein and inorganic sources for fish in nursery phase; growout I and growout II phases showed better use of protein plant sources, when compared with younger fish.

Key-words: digestible nutrients, phosphorus available, stages of growth, protein ingredients, mineral supplements.

Introdução

As tilápias têm sido os peixes teleósteos mais criados na piscicultura tropical e neo-tropical brasileira nas duas últimas décadas. A recente intensificação e concentração das produções de tilápias em regiões específicas permitiram no Brasil o desenvolvimento de tecnologias de processamento e fabricação de rações completas e estáveis no meio aquático. Porém, essas produções são motivo de constante preocupação por parte de pesquisadores e ambientalistas pelos altos volumes de dejetos metabólicos, especialmente nitrogênio e fósforo descartados diretamente ao meio, que aceleram os processos de eutrofização dos ecossistemas, contaminam e poluem os corpos de água (Boyd & Tucker 1998).

O fósforo é normalmente excretado pelas tilápias nas formas sólidas, via fezes, ou nas formas dissolvidas via urina (Sugiura et al., 2000). O fósforo sólido fecal, proveniente das matérias primas das rações pode ser parcialmente retirado dos sistemas por decantação e filtração, porém, o fósforo dissolvido proveniente das

excreções do fósforo absorvido em excesso e das fontes solúveis das dietas, dificilmente pode ser removido dos efluentes das pisciculturas (Lall, 2002).

A alternativa mais eficiente e econômica, ambientalmente correta, para reduzir as descargas de fósforo ao meio aquático é a alimentação por fases, formulando dietas com base nos valores disponíveis e nas exigências para cada fase da vida e estado fisiológico do animal (Hardy et al., 1993; Sugiura et al., 2000; Lellis et al., 2004).

Os valores de fósforo disponível em peixes são estimados com base na proporção absorvida (digestível aparente), como pode ser verificado nos trabalhos de Lovell (1978) e Eya & Lovell (1997) com bagre de canal; Ogino et al. (1979) com carpa e truta; Viola et al. (1986b) com carpa e Viola et al. (1986a) com tilápia; Riche & Brown (1996) e Sugiura et al. (1998) com truta; e, Miranda et al. (2000) e Gonçalves et al. (2007) com tilápia. Porém, o nível do mineral na ração deve estar próximo da exigência nutricional, para evitar aumentos nas excreções endógenas, que poderiam comprometer os resultados subestimando a qualidade da fonte, quando o teor de P das rações é alto, por outro lado, quantidades inferiores de fósforo na ração podem sobreestimar a fração disponível na fonte, ao exigir do animal a máxima eficiência de absorção.

O fósforo está presente praticamente em todos os ingredientes alimentícios, como mistura das formas inorgânica e orgânica. Segundo Da Silva & Cozzolino (2007) o fósforo inorgânico é rapidamente absorvido, com tendência a ser excretado na urina. O fósforo presente nos ingredientes de origem animal se apresenta, principalmente, na forma inorgânica como hidroxapatita, componente estrutural dos ossos, de menor disponibilidade do que o dos fosfatos de rocha (Steffens, 1987).

Normalmente, uma grande proporção do fósforo das fontes protéicas provenientes de plantas está na forma de fósforo fítico ou fitato, o qual é pouco aproveitado pelos animais monogástricos em geral. Uma ração à base de ingredientes de origem vegetal não supre os níveis de cálcio e fósforo necessários para ótimo desempenho dos peixes, pelo que devem ser supridos a partir de fontes concentradas como fosfatos e farinhas de animais, principalmente.

Dessa forma, o fósforo está presente nas rações como componente natural de moléculas biológicas e na forma de sais. As fosfatases intestinais hidrolisam as formas orgânicas, e assim a maior parte da absorção acontece como fósforo inorgânico, ocorrendo maior porcentagem nos animais mais jovens (McDowell, 1992; Joengblod et al., 1999).

A pesquisa teve por objetivo determinar, em três diferentes fases de desenvolvimento, os valores digestíveis de seis alimentos protéicos e quatro fontes

inorgânicas de fósforo, pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*).

Material e Métodos

O experimento foi conduzido, entre junho e dezembro de 2006, na Unesp – Universidade Estadual Paulista, no Laboratório de Nutrição de Organismos Aquáticos (*AquaNutri*) do Departamento de Nutrição Animal, da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Campus de Botucatu.

Foram determinados nas três fases de desenvolvimento os coeficientes de digestibilidade aparente da matéria seca, da proteína bruta e da energia bruta e, a disponibilidade aparente do cálcio, fósforo e magnésio contidos nos alimentos protéicos: farinha de peixe, farinha de vísceras de aves, farinha de carne e ossos, glúten de milho, farelo de soja e farelo de algodão. Em relação às fontes inorgânicas: fosfato mono bicálcico, fosfato bicálcico, fosfato de potássio e ácido fosfórico foi determinada a disponibilidade aparente do fósforo e do cálcio. A composição química-bromatológica e os valores energéticos dos alimentos protéicos e das fontes inorgânicas de minerais estudados são apresentados na Tabela 1.

Utilizaram-se exemplares machos revertidos de tilápia do Nilo, com pesos médios iniciais de 25,0g na fase de crescimento ($24,75 \pm 0,66g$); 250,0g na fase de engorda ($247,52 \pm 15,15g$) e 500,0 g na fase de acabamento ($494,56 \pm 39,83g$). Os indivíduos foram distribuídos em aquários de 300 litros, numa lotação de 1,20kg/aquário para a fase de crescimento, 1,75kg/aquário para a fase de engorda e, 2,50kg/aquário para a fase de acabamento.

Nas três fases de vida, os peixes foram aclimados e condicionados ao manejo e as dietas experimentais por 15 dias. Nesse período, receberam nos primeiros oito dias uma ração basal, por três dias receberam gradativamente as rações-teste e; nos últimos quatro dias receberam apenas as rações-teste.

Foram elaboradas 11 rações, sendo uma ração referência (basal) e dez diferentes rações-teste. As rações-teste foram elaboradas substituindo uma quantidade da dieta basal pelo ingrediente avaliado (Tabela 2).

As substituições foram feitas com base na matéria seca, mantendo os níveis de fósforo total próximos de 0,8% para os alimentos protéicos de origem animal e fontes inorgânicas de minerais e, 0,5% para os alimentos protéicos de origem vegetal. A restrição dada aos ingredientes vegetais foi estabelecida com base na porcentagem de inclusão máxima que permitiu a extrusão das rações.

Na preparação das rações, os ingredientes foram moídos de forma a se

apresentarem com diâmetro menor que 0,42 mm (*Mesh* 40). As rações foram extrusadas de forma a se apresentarem com comprimento de 4,0 mm e diâmetro de 4, 8 e 12 mm, conforme o tamanho do peixe nas três fases de estudo (crescimento, engorda e de acabamento). Após extrusão as rações foram esfriadas, desidratadas e armazenadas a temperatura de -20°C até a utilização.

A análise bromatológica e do teor em minerais dos alimentos, das rações e das fezes foram feitos, respectivamente, no Laboratório de Bromatologia da FMVZ e, no Laboratório de Química do Instituto de Biociências, da Unesp - Campus de Botucatu-SP. Para a análise bromatológica empregou-se a metodologia descrita pela AOAC (2000). O teor de matéria seca foi calculado após secagem em estufa a temperatura de 105°C, durante seis horas; a proteína bruta foi determinada pelo método clássico de micro Kjeldahl, utilizando o fator 6,25 na conversão do N para proteína e a energia bruta com bomba calorimétrica. Para determinação da concentração dos minerais, os ingredientes, rações e fezes foram digeridos com ácido nítrico e ácido perclórico concentrados para posterior quantificação. As concentrações de cromo, cálcio e magnésio foram determinadas por Espectrometria de Absorção Atômica em Chama (FAAS) (Cookbook Shimadzu, 2002) e a do fósforo por espectrofotometria no visível (Markzenk, 1976).

Para determinação dos coeficientes de digestibilidade dos nutrientes e da disponibilidade dos minerais, foi adotada a metodologia recomendada por Suguira et al. (1998) e Pezzato et al. (2004). Foi avaliado um dos alimentos protéicos ou um dos suplementos inorgânicos por vez, em quatro repetições simultâneas.

Os coeficientes de digestibilidade/disponibilidade aparente dos nutrientes das rações experimentais foram calculados pela técnica de proporções, com base nos teores de óxido de cromo-III e do nutriente nas rações e nas fezes, utilizando a fórmula descrita por Cho & Slinger (1979):

$$CDa_{(N)} = 100 - \left[100 \left(\frac{\%Cr_2O_{3R}}{\%CrO_{3F}} \right) \times \left(\frac{\%N_F}{\%N_R} \right) \right]$$

Onde:

$CDa_{(N)}$ = Coeficiente de digestibilidade/disponibilidade aparente do nutriente;

$\%Cr_2O_{3R}$ e $\%CrO_{3F}$ = % de óxido de cromo-III na ração e % de óxido de cromo-III nas fezes;

$\%N_R$ e $\%N_F$ = % Nutriente na ração e % nutriente nas fezes.

Os coeficientes de digestibilidade/disponibilidade dos nutrientes dos ingredientes foram estimados indiretamente, com base nos CDa das dietas experimentais, de acordo com a fórmula descrita por Sugiura et al. (1998).

$$CDa_{NI} = \frac{[CDa_{RT} * N_{RT} - (CDa_{RB} * N_{RB} * \%I)]}{\%RB * N_I}$$

Onde:

CDa_{NI} = coeficiente de digestibilidade/disponibilidade aparente do nutriente no ingrediente;

CDa_{RT} = coeficiente de digestibilidade/disponibilidade aparente do nutriente na ração teste;

CDa_{RB} = coeficiente de digestibilidade/disponibilidade aparente do nutriente na ração basal (referência);

N_{RT} , N_{RB} e N_I = teor de nutrientes contidos nas rações teste e basal e no ingrediente testado;

$\%I$ e $\%RB$ = % de inclusão do ingrediente teste e da ração basal (referência).

Os valores médios obtidos para temperatura, oxigênio dissolvido e pH da água dos aquários experimentais foram, respectivamente, de $28,0 \pm 1,9^\circ\text{C}$, $6,2 \pm 1,0$ mg/L e $7,4 \pm 0,6$. Estes valores se apresentam dentro da faixa recomendada por Boyd & Tucker (1998) para as tilápias. Segundo esse autor as tilápias podem ser cultivadas com sucesso quando os parâmetros de qualidade da água são mantidos nas faixas de conforto de $28,0$ a $32,0^\circ\text{C}$, oxigênio dissolvido $> 5,0$ mg/L, pH entre $6,5$ e $9,0$, alcalinidade entre 20 e 120 mg/L e salinidade < 24 mg/L. A iluminação do local foi controlada por meio de lâmpadas fluorescentes mantendo diariamente o período iluminado entre as 6:00 e as 18:00 horas.

Para análise estatística foi utilizado o programa de Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas – SAEG, versão 9.1 (Fundação Arthur Bernardes - UFV, 2007). Os resultados dos estudos foram avaliados pela técnica da análise de variância e quando significativo, aplicado o teste de comparações múltiplas de médias de Tukey, ao nível 5,00% de significância.

Resultados e Discussão

Digestibilidade aparente da matéria seca, proteína e da energia dos alimentos

Na Tabela 3 encontram-se as médias dos coeficientes de digestibilidade aparente para a matéria seca, a proteína bruta e a energia bruta dos alimentos protéicos de origem animal e de origem vegetal, para as três fases de desenvolvimento avaliadas. Dentre os alimentos protéicos de origem animal se observa (Tabela 3) que a farinha de vísceras de aves apresentou altos coeficientes de digestibilidade aparente para a matéria seca, proteína e energia, os que se mostraram semelhantes aos apresentados pela farinha de peixe, considerada padrão dos alimentos protéicos de origem animal. A alta digestibilidade da farinha de vísceras de

aves, com essa espécie, também foi destacada por Pezzato et al. (2002) com peixes de 100g e por Guimaraes et al. (2007) com peixes de 86g.

Observa-se que a farinha de vísceras de aves e a farinha de peixe apresentaram tendências semelhantes para os coeficientes de digestibilidade para matéria seca e energia, com superioridade a favor da energia. Esses dois ingredientes apresentaram digestibilidade maior ($p < 0,05$) para a matéria seca e para a energia na fase de crescimento que nas fases de engorda e de acabamento. Tal diferença pode ser atribuída à maior exigência dos peixes mais novos.

O coeficiente de digestibilidade de 88,47% para a matéria seca apresentada na fase de crescimento para farinha de peixe, foi semelhante aos determinados, com essa mesma espécie por Meurer et al. (2003) (87,63%, peixes de 87g) e Koprucu & Ozdemir (2005) (91,60%, peixes de 25g). Entretanto, esse coeficiente se mostrou maior que os observados, também com a tilápia do Nilo, por Furuya et al. (2001) de 79,78% (peixes de 25g), Pezzato et al. (2002) de 57,46% (peixes de 100g) e Guimarães et al. (2007) de 66,58% (peixes de 86g).

Os coeficientes de digestibilidade da farinha de vísceras de aves para a matéria seca, apresentadas nas três fases: crescimento de 93,13%, engorda de 84,75% e acabamento de 84,27%, foram superiores aos verificados também com essa mesma espécie por Pezzato et al. (2002) de 73,87% (peixes de 100g), Meurer et al. (2003) de 62,21% (peixes de 87g) e Guimarães et al. (2007) de 81,09% (peixes de 86g).

Observa-se (Tabela 3) que entre os alimentos protéicos de origem animal, a farinha de carne e ossos apresentou os mais baixos coeficientes de digestibilidade, especialmente para a matéria seca e para a energia bruta. A digestibilidade da matéria seca para essa farinha foi similar ($p > 0,05$) entre as três fases de peso estudadas, se mostrando menor dentre os protéicos (média geral de 68,97%). Entretanto, tal resultado se mostra bem superior ao apresentado por Pezzato et al. (2002) de 46,97% e Guimarães et al. (2007) de 47,58%.

As fontes protéicas de origem animal não revelaram diferenças estatísticas ($p > 0,05$) para os coeficientes de digestibilidade da proteína bruta em função dos tamanhos de peixes avaliados. Os coeficientes de digestibilidade da proteína bruta da farinha de peixe (média geral de 91,35%) foram similares dos reportados por Deganni et al. (1997) de 92,26% e Sklan et al. (2004) de 90,02% em pesquisas com o híbrido *O. niloticus* x *O. aureus* e por Meurer et al. (2003) de 90,66% e Koprucu & Ozdemir (2005) de 90,50% com tilápia do Nilo. Os demais valores encontrados na literatura foram inferiores, na faixa de 78,55 a 86,49%, para juvenis de tilápia do Nilo (Hanley, 1987; NRC, 1993; Furuya et al., 2001; Lovell, 2002 e Pezzato et al., 2002).

A digestibilidade da proteína da farinha de vísceras de aves com média geral de

92,08% foi similar ao valor de 91,55% estabelecido por Deganni et al. (1997) para tilápia híbrida e superior dos demais resultados da literatura na faixa de 73,87 a 87,24% com tilápia do Nilo (Hanley, 1987; Pezzato et al., 2002 e Meurer et al., 2003), e para tilápia híbrida de 87,10% por Sklan et al. (2004).

O coeficiente de digestibilidade aparente da proteína bruta da farinha de carne e ossos se mostrou um pouco inferior em relação aos demais alimentos do grupo, com média de 88,27% para as três fases de peso dos peixes. Entretanto, essa média foi superior à apresentada, também para a tilápia do Nilo com peso de 100g, por Lovell (2002) de 77,70% e Pezzato et al. (2002) de 73,19%.

Para a farinha de carne e ossos houve diferença ($p < 0,05$) nos coeficientes de digestibilidade da energia entre as três diferentes fases avaliadas, sendo melhor a digestibilidade na fase de engorda e pior na primeira fase (crescimento). Destaca-se, ainda, que os coeficientes de digestibilidade para a energia da farinha de carne e ossos foram os menores dos alimentos de origem animal, com valores de 56,42, 64,55 e 60,80% para as três fases avaliadas, respectivamente. Esses resultados confirmam aqueles obtidos, com essa espécie, por Lovell (2002) de 68,70%; Pezzato et al. (2002) de 75,35% e Guimarães et al. (2007) de 65,17%.

Para a farinha de peixe e a farinha de vísceras de aves, semelhante ao observado para matéria seca na fase de crescimento se apresentou os melhores coeficientes de digestibilidade ($p < 0,05$) da energia. O coeficiente de digestibilidade médio da energia (97,53%) da farinha de peixe na fase de crescimento se mostrou maior que o encontrado com essa mesma espécie (72,24 a 92,10%) por Hanley (1987), Furuya et al. (2001), Lovell (2002), Pezzato et al. (2002), Meurer et al. (2003), Koprucu & Ozdemir (2005) e Guimarães et al. (2007) e, ainda, similar ($p > 0,05$) nas fases de engorda (91,09%) e acabamento (91,58%) e revelaram-se próximos dos encontrados para fase de engorda dos híbridos (*O. niloticus* x *O. aureus*) por Degani et al. (1997) de 90,40% e Sklan et al. (2004) de 89,20%.

Dentre os alimentos protéicos de origem vegetal (Tabela 3), para a matéria seca e para a energia bruta se destaca os altos coeficientes de digestibilidade aparente apresentados pelo glúten de milho e pelo farelo de algodão e, por outro lado, os baixos coeficientes obtidos com o farelo de soja. Tal resposta foi especialmente exibida pelos peixes mais novos (fase de crescimento). Entretanto, os três alimentos de origem vegetal apresentaram altos coeficientes de digestibilidade (maiores que 92,0%) para a proteína bruta.

Deve-se destacar (Tabela 3), os excelentes valores dos coeficientes de digestibilidade da proteína observados para o glúten de milho nas fases de crescimento e de engorda. Os demais coeficientes encontrados para a proteína se

mostram semelhantes, inclusive aos apresentados pela farinha de peixe. Esses resultados sugerem que tilápias adultas têm significativa capacidade de digerir ingredientes de origem vegetal. Resaltam-se os excelentes coeficientes de digestibilidade apresentados pelo farelo de algodão. Tais respostas podem ser atribuídas ao tratamento prévio de moagem (*Mesh* 40) e peneiramento a que foi inicialmente submetido.

O coeficiente de digestibilidade da matéria seca do glúten de milho foi maior na fase de engorda (85,11%) e na fase de acabamento (86,81%), sendo estes estatisticamente semelhantes. Tais valores se mostram similares aos encontrados por Guimarães et al. (2007) de 86,22% quando trabalhando com peixes com 86g. Entretanto, esses valores se mostram inferiores dos obtidos por Pezzato et al. (2002) de 91,96% (peixes de 100g), Meurer et al. (2003) de 91,01% (peixes de 87g), Gonçalves (2003) de 70,02% (peixes de 100g) e Koprucu & Ozdemir (2005) de 93,20% (peixes de 27g). Contrariamente, o farelo de algodão revelou melhor coeficiente de digestibilidade da matéria seca ($p < 0,05$) na fase de crescimento e valores similares nas fases finais (250 e 500g). Os coeficientes de digestibilidade para a matéria seca do farelo de algodão, encontrados (Tabela 3) se mostram superiores aos apresentados por Pezzato et al. (2002) de 53,11% (peixes de 100g), Gonçalves (2003) de 74,90% (peixes de 100g) e, Guimarães et al. (2007) de 35,18% (peixes de 86g).

O farelo de soja apresentou (Tabela 3) para a matéria seca o pior ($p < 0,05$) coeficiente de digestibilidade na fase de crescimento (66,73%) do que nas fases de engorda (75,92%) e acabamento (73,84%). Os coeficientes de digestibilidade da matéria seca do farelo de soja, nas três fases foram maiores que o apresentado por Guimarães et al. (2007) de 57,76% (peixes de 86g) e, inferiores aos encontrados por Furuya et al. (2001) de 89,01% (peixes de 25g) e Koprucu & Ozdemir (2005) de 90,90% (peixes de 25g). Entretanto, o coeficiente de digestibilidade da matéria seca verificado para o farelo de soja na fase de crescimento se mostrou semelhante aos observados por Boscolo et al. (2002) de 65,49% (peixes de 37g) e Gonçalves (2003) de 68,70% (peixes de 100g).

O farelo de soja e o farelo de algodão apresentaram coeficientes de digestibilidade médios para a proteína bruta de 94,02 e 92,59%, respectivamente, para as três fases avaliadas, sendo próximas aos revelados pelas farinhas de peixe e de vísceras de aves.

O glúten de milho apresentou coeficientes de digestibilidade para a proteína bruta, nas três fases estudadas, superiores aos encontrados com a tilápia do Nilo por Gonçalves (2003) de 51,54% (peixes com 100g) e por Koprucu & Ozdemir (2005) de

89,55% (peixes de 27g). Valores semelhantes aos encontrados nesta pesquisa, com os peixes nas fases de crescimento e de engorda foram obtidos, também com essa espécie, por Pezzato et al. (2002) de 95,96% (peixes de 100g), por Meurer et al. (2003) de 97,61% (peixes de 87g) e para o híbrido por Sklan et al. (2004) de 96,50% (pesos entre 100 e 150g).

O farelo de soja apresentou coeficientes de digestibilidade para a proteína bruta, semelhantes para as três fases, com média geral de 94,02%. Esse valor se mostra próximo ao apresentado, para essa mesma espécie, pelo NRC (1993) de 94,0% e por Lovell (2002) de 94,40%. Entretanto, coeficiente superior foi obtido por Sklan et al. (2004) de 96,20% (tilápia híbrida com pesos entre 100-150g). Em pesquisas feitas também com a tilápia do Nilo (25 a 100 g de peso), Furuya et al. (2001), Boscolo et al. (2002), Pezzato et al. (2002), Gonçalves (2003) e Koprucu & Ozdemir (2005) encontraram coeficientes entre 87,40 e 92,72%.

O farelo de algodão, da mesma forma que o farelo de soja, não revelou diferenças no coeficientes de digestibilidade da proteína bruta, em função das fases estudadas, apresentando média geral de 92,59%. Tal coeficiente se mostra superior aos encontrados por Pezzato et al. (2002) de 74,87% (peixes de 100g) e próximo ao obtido por Gonçalves (2003) de 89,75% (peixes de 100g).

Os alimentos protéicos de origem vegetal, glúten de milho e farelo de soja (tabela 3), apresentaram melhores coeficientes de digestibilidade da energia para os animais mais pesados. O farelo de algodão apresentou os mais altos coeficientes de digestibilidade para energia seguida do glúten de milho. O farelo de soja apresentou os menores coeficientes de digestibilidade da energia, semelhante ao revelado para a matéria seca. Os coeficientes de digestibilidade para a energia, apresentados pelo farelo de algodão nesta pesquisa para as três fases (89,83, 88,66 e 91,90%), foram superiores aos encontrados com essa espécie por Pezzato et al. (2002) de 45,35% (com peixes de 100g), por Guimarães et al. (2007) de 44,85% (peixes de 86g) e por Gonçalves (2003) de 73,36% (peixes de 100g).

O glúten de milho apresentou (Tabela 3) inferior ($p < 0,05$) coeficiente de digestibilidade da energia para a fase de crescimento (80,60%), quando comparada com as fases de engorda (84,70%) e de acabamento (87,24%), que se apresentaram similares entre elas. Esses valores se mostram superiores aos encontrados com o glúten, com essa mesma espécie, por Pezzato et al. (2002) (64,07%) e Gonçalves (2003) (66,87%), foram inferiores ao encontrado em tilápia do Nilo por Meurer et al. (2003) de 93,52% e; próximos do apresentado por Koprucu & Ozdemir (2005) de 89,00%, Guimarães et al. (2007) de 88,07% para tilápia do Nilo e Sklan et al. (2004) de 83,40% para tilápia híbrida.

O farelo de soja apresentou os mais baixos coeficientes de digestibilidade da energia do grupo nas três fases avaliadas, confirmando os coeficientes de digestibilidade encontrados por Boscolo et al. (2002) de 71,38%, por Pezzato et al. (2002) de 64,83% e de Guimarães et al. (2007) de 64,18%. Valores superiores de digestibilidade da energia do farelo de soja foram observados por Sklan et al. (2004) de 84,50% e Koprucu & Ozdemir (2005) de 83,70%. Coeficientes semelhantes dos revelados nesta pesquisa foram reportados por Furuya et al. (2001) de 77,21%, e Gonçalves (2003) de 77,22%.

Disponibilidade aparente do fósforo, cálcio e magnésio dos alimentos

Na Tabela 4 encontram-se as médias dos coeficientes de disponibilidade aparente do fósforo, cálcio e magnésio dos alimentos protéicos de origem animal, de origem vegetal e das fontes minerais, em função do peso dos peixes (fases de crescimento, engorda e acabamento).

Os alimentos protéicos de origem animal apresentaram coeficientes de disponibilidade aparente do fósforo, variando na fase de crescimento, entre 43,11% (para a farinha de carne e ossos) e 52,45% (farinha de peixe). A farinha de peixes apresentou a melhor disponibilidade de fósforo e o melhor aproveitamento ocorreu peixes mais novos (52,45% na fase de crescimento e 51,57% na fase de engorda). Essas respostas confirmam aquela obtida com a mesma espécie, em pesquisa semelhante, por Furuya et al. (2001) de 49,78% e, se mostram bem superiores aos valores de disponibilidade do fósforo, obtidos de 27,15% por Miranda et al. (2000), de 27,80% por Koprucu & Ozdemir (2005) e de 25,84% por Guimarães et al. (2007), também pela tilápia do Nilo (peso entre 16 e 86g).

A farinha de vísceras de aves apresentou semelhantes coeficientes de disponibilidade de fósforo nas três fases avaliadas, com média geral de 46,10%. Esse valor foi inferior ao coeficiente de disponibilidade aparente observado por Guimarães et al. (2007) de 63,83% para tilápias de 86g. Os coeficientes de disponibilidade de fósforo da farinha de vísceras de aves e da farinha de carne e ossos foram semelhantes ($p > 0,05$) nas três fases estudadas apresentando médias gerais de 46,10 e 44,12% respectivamente, e se mostraram similares ao valor de 43,66% apresentado por Guimarães et al. (2007) e, inferior aos 54,59% encontrados por Miranda et al. (2000), também com essa espécie (pesos entre 16 e 86g).

Observa-se (Tabela 4) que os alimentos protéicos de origem animal apresentaram grande variação nos coeficientes de disponibilidade do cálcio. A farinha de peixe apresentou semelhança entre os valores de disponibilidade de cálcio para as

fases de crescimento (84,73%) e de engorda (86,90%) e, estes foram maiores ($p < 0,05$) que o apresentado na fase de acabamento (52,53%). A disponibilidade aparente de cálcio da farinha de peixe mostrou-se inferior àquela de 90,62% para tilápia do Nilo com 25g, apresentada por Furuya et al. (2001). Coeficientes de Disponibilidade inferiores (17,10 e 14,63%, respectivamente) foram obtidas por Koprucu & Ozdemir (2005) e Guimarães et al. (2007) para peixes de 27 e 86g, respectivamente.

Observa-se (Tabela 4) que, similar ao ocorrido com a farinha de peixe, a farinha de vísceras de aves apresentou semelhança entre os coeficientes de digestibilidade do cálcio para as fases de crescimento (64,13%) e de engorda (66,52%) e, que estes foram maiores ($p < 0,05$) que o apresentado na fase de acabamento (53,02%). Esses valores são semelhantes ao 58,35% apresentado, para essa espécie (peso médio de 86g), por Guimarães et al. (2007).

O coeficiente de digestibilidade do Ca da farinha de carne e ossos não apresentou diferenças ($p > 0,05$) em função do tamanho de peixes avaliados, com média geral de 47,84%. Este coeficiente se mostrou bem superior ao obtido por Guimarães et al. (2007) de 35,60%, com essa mesma espécie.

Os coeficientes de disponibilidade aparente para o magnésio, dos alimentos de origem animal, se apresentam na Tabela 4. Estes mostraram-se semelhantes para as três fases testadas ($p > 0,05$), com médias gerais de 77,14% para a farinha de peixe, de 74,85% para a farinha de vísceras de aves e de 77,45% para a farinha de carne e ossos. Esses valores são diferentes dos apresentados por Guimarães et al. (2007), para a farinha de peixe (65,17%), farinha de vísceras de aves (90,35%) e para a farinha de carne e ossos (70,98%).

Os alimentos de origem vegetal (Tabela 4) apresentaram baixos coeficientes de disponibilidade aparente para o fósforo e houve diferença significativa ($p < 0,05$) nos coeficientes de disponibilidade, em função do peso dos peixes.

Destaca-se que o farelo de algodão apresentou a melhor disponibilidade de fósforo, dentre os alimentos de origem vegetal. Esse alimento apresentou coeficiente de disponibilidade de fósforo de 39,09% na fase de crescimento, 43,39% na fase de engorda e, de 44,06% na fase de acabamento. Estes valores se mostraram inferiores ao determinado (52,9%) por Gonçalves et al. (2007) com tilápias de 100g e, bem maiores que aquele (3,51%) encontrado também com a tilápia do Nilo de 86g, por Guimarães et al. (2007).

O fósforo contido no glúten de milho e no farelo de soja foi pobremente absorvido pelos peixes, especialmente na fase de crescimento. O coeficiente de disponibilidade do fósforo para o glúten de milho na fase de crescimento foi de

24,88%, valor próximo ao encontrado (28,20%) por Koprucu & Ozdemir (2005) com peixes dessa mesma espécie (peso médio de 27g) e, do obtido (22,2%) por Gonçalves (2007) com tilápias pesando 100g.

O farelo de soja apresentou (Tabela 4), coeficiente de disponibilidade aparente do fósforo na fase de crescimento de 24,01%. Esse coeficiente se mostra inferior àqueles determinados, com essa espécie, por Miranda et al. (2000) de 35,13% (peixes de 16g), por Furuya et al. (2001) de 47,14% (peixes de 25g) e, Koprucu & Ozdemir (2005) de 30,10% (peixes de 27g). Valores semelhantes aos obtidos nesta pesquisa foram encontrados por Gonçalves et al. (2007) de 22,30% (peixes de 100g) e Guimarães et al. (2007) de 26,96% (peixes de 86g).

Para os três alimentos protéicos de origem vegetal, os coeficientes de disponibilidade aparente do cálcio foram negativos. Isso se relaciona com o balanço negativo causado pelos baixos níveis desse mineral, tanto na ração basal quanto nos alimentos teste. Além disso, nesses alimentos o cálcio apresenta-se pouco disponível aos peixes. Esses coeficientes negativos foram apresentados na tabela 4 com valor de zero segundo as recomendações de Sugiura et al. (1998).

Os coeficientes de disponibilidade negativos do cálcio podem, ainda, ser conseqüência da presença desse mineral na água, que pode ter sido utilizado para suprir, mesmo que parcialmente, as necessidades dos peixes (Steffens, 1987). Problema semelhante foi observado por Gonçalves et al. (2005) quando avaliaram a disponibilidade do cálcio no farelo de soja, soja extrusada, farelo de algodão, glúten de milho e farelo de girassol e, por Guimarães et al. (2007) com o farelo de soja e o farelo de algodão. Entretanto, esses resultados diferem daqueles apresentados, com a tilápia do Nilo (peixes de 27g), por Koprucu & Ozdemir (2005) de 20,3% para o glúten de milho e 29,0% para farelo de soja. Contrariam, ainda, Furuya et al. (2001) que obtiveram com essa mesma espécie (peixes de 25g) coeficientes de disponibilidade para esse mineral de 85,04% para o farelo de soja.

A Tabela 4 mostra que os coeficientes de disponibilidade aparente do magnésio foram semelhantes para um mesmo alimento, entre as três classes de peso. Destaca-se que o farelo de algodão apresentou a maior média geral de coeficiente de disponibilidade de magnésio (76,64%), o farelo de soja coeficientes intermediários (68,23% em média), enquanto os menores coeficientes médios foram apresentados pelo glúten de milho (média de 39,94%). Tal resposta confirma aquela encontrada por Gonçalves et al. (2005) para o magnésio do glúten de milho (38,91%), em pesquisa com essa espécie (peixes de 100g).

Os coeficientes de disponibilidade de magnésio, determinados nas três classes de peso (média geral de 68,23%) com o farelo de soja (Tabela 4) se mostram um

pouco inferiores àqueles obtidos por Guimarães et al. (2007) e Gonçalves et al. (2005), os quais obtiveram coeficientes de disponibilidade de 72,62 e 75,61% (peixes com peso médio entre 86 e 100g).

Os coeficientes de disponibilidade de magnésio, determinados nas três fases de peso (média de 76,64%) com o farelo de algodão (Tabela 4) se mostram semelhantes ao apresentado por Gonçalves et al. (2005), quando obtiveram coeficientes de disponibilidade média para esse mineral de 73,43%, em pesquisa com tilápias também em fase de crescimento e engorda. Por outro lado, os coeficientes obtidos na presente pesquisa se mostraram superiores aos determinados no farelo de algodão por Guimarães et al. (2007) (37,49%).

As fontes inorgânicas (Tabela 4) apresentaram os mais altos coeficientes de disponibilidade de fósforo. Destacam-se os melhores resultados do ácido fosfórico, seguidos do fosfato bicálcico, fosfato mono potássico e fosfato mono bicálcico. Os coeficientes médios de disponibilidade do fósforo nesse grupo de fontes variaram entre 88,76% (fosfato mono bicálcico na fase de engorda) até 99,60% (ácido fosfórico na fase de crescimento).

O fosfato mono bicálcico e o fosfato mono potássico apresentaram os maiores coeficientes de disponibilidade do fósforo na fase de crescimento (93,56 e 93,91%, respectivamente). Considerando o fosfato mono potássico como fonte de referência, o segundo suplemento de fósforo, em importância para a tilápia do Nilo seria o fosfato bicálcico, o qual revelou maior facilidade de homogeneização nas rações, quando comparado com o ácido fosfórico, além do aporte de cálcio. Deve-se destacar, ainda, que a disponibilidade aparente de fósforo apresentada por essa fonte foi superior aquela encontrada por Miranda et al. (2000) de 74,23% para peixes com 16g.

Observa-se na tabela 4 que o cálcio do fosfato bicálcico apresentou coeficientes de disponibilidade superiores aos do fosfato mono bicálcico e que foi melhor absorvido pelos animais nas fases de crescimento e engorda.

Conclusões

A capacidade da tilápia do Nilo para digerir os alimentos e absorver os nutrientes é dependente do peso corporal e das características do alimento avaliado;

Houve tendência de melhor aproveitamento de nutrientes a partir de alimentos de origem animal e de fontes inorgânicas pelos peixes em crescimento. Os peixes em engorda e acabamento mostraram superioridade para utilizar as fontes protéicas de origem vegetal, em relação aos animais mais novos;

A fração protéica das fontes de origem animal e vegetal avaliadas apresentou altos coeficientes de digestibilidade, pela tilápia do Nilo, com pouca variabilidade entre grupos de peixes. Consideráveis coeficientes foram apresentados pelo glúten de milho e o farelo de soja;

O fósforo das fontes minerais avaliadas foi eficientemente utilizado pelos peixes, com destaque do ácido fosfórico e do fosfato bicalcico e tendência de mais alta absorção pelos peixes em crescimento.

Literatura Citada

- ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS - AOAC. Official methods of analysis of AOAC International. 17th ed. AOAC International Ed. Maryland, USA, 2000, 2200p.
- BOSCOLO, W.R.; HAYASHI, C.; MEURER, F. Digestibilidade aparente da energia e nutrientes de alimentos convencionais e alternativos para a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*, L.). Revista Brasileira de Zootecnia, v.13, n.2, p.539-545, 2002.
- BOYD, C.E.; TUCKER, C.S. Pond aquaculture quality management. Kluwer Academic Publishers, Norwell, Massachusetts, USA, 1998, 685p.
- CHO, C.Y.; SLINGER, S.J. Apparent digestibility measurements in feedstuffs for rainbow trout. In: HALVER, J.E. & TIEWS (Eds). Finfish nutrition and fishfeed technology, II, Berlin, Alemanha, 1979, p.239-247.
- COOKBOOK SHIMADZU – Operation manual: Atomic absorption spectrophotometer AA 6800, 2002. 157p.
- DA SILVA, A.Y.H.; COZZOLINO, S.M.F. Fósforo. In: Cozzolino, S.M.F. Biodisponibilidade de nutrientes. 2ª Edição. Manole Interesse Geral, Barueri, SP, p.447-458, 2007.
- DEGANI, G.; VIOLA, S.; YEHUDA, Y. Apparent digestibility of protein and carbohydrate in feed ingredients for adult tilapia (*Oreochromis aureus* x *O. niloticus*). Bamidgeh, v.49, n.3, p.115-123, 1997.
- EYA, J.C.; LOVELL, R.T. Net absorption of dietary phosphorus from various inorganic sources and effect of fungal phytase on net absorption of plant phosphorus by channel catfish, *Ictalurus punctatus*. Journal of world aquaculture society, v.28, p.386-391, 1997.
- FURUYA, W.M.; PEZZATO, L.E; MIRANDA, E.C.; ROSSETTO, B.V.; BARROS, M.M. Coeficientes de digestibilidade aparente da energia e nutrientes de alguns ingredientes pela tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus* (L.) (Linhagem Tailandesa) Acta Scientiarum, Maringá, v.23, n.2, p.465-469, 2001.
- GONÇALVES, G.S. Digestibilidade aparente de alimentos vegetais suplementados com fitase pela tilápia do Nilo *Oreochromis niloticus*. Jaboticabal, SP. 2003, p.72 (Mestrado em Aquicultura) – Universidade Estadual Paulista, 2003.

- GONÇALVES, G.S.; PEZZATO, L.E.; BARROS, M.M. et al. Disponibilidade aparente do Mg, Ca, Zn, Cu, Mn e Fe e suplementação de fitase em alimentos vegetais para a tilápia do Nilo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.34, n.6, p.2155-2163, 2005.
- GONCALVES, G.S.; PEZZATO, L.E.; PADILHA, P. de M. et al. Disponibilidade aparente do fósforo em alimentos vegetais e suplementação da enzima fitase para tilápia do Nilo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, vol.36, no.5, suppl, p.1473-1480, 2007.
- GUIMARÃES, I.G. ; PEZZATO, L.E.; BARROS, M.M. et al. Coeficiente de digestibilidade dos nutrientes e disponibilidade de minerais em alimentos protéicos extrusados para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). In: 44ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. O avanço científico e tecnológico na produção animal, 2007. Jaboticabal, *Anais...*, Jaboticabal, SP, Brasil: SBZ, 2007, A-513.
- HANLEY, F. The digestibility of foodstuffs and the effects of feeding selectivity on digestibility determinations in tilapia, *Oreochromis niloticus* (L). *Aquaculture*, v.66, p.163-179, 1987.
- HARDY, R.W.; FAIRGRIEVE, W.T.; SCOTT, T.M. Periodic feeding of low-phosphorus diet and phosphorus retention in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). In: Kaushik, S.J.; Luquet, L. (eds), *Fish Nutrition in Practice*. Colloq. INRA no.61, p.403-412, 1993.
- JOENGBLOED, A.W.; EVERTS, H.; KEMME, P.A.; MROZ, Z. Quantification of absorbability and requirements of macroelements. In: I. Kyriazakis, I. (eds) *A quantitative biology of the pig*. CAB International, p.275-298, 1999.
- KOPRUCU, K. & OZDEMIR, Y. Apparent digestibility of selected feed ingredients for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, v.250, p.308– 316, 2005.
- LALL, S.P. The Minerals. In: Halver, J.E. & Hardy, R.W. Eds. *Fish Nutrition*, Third Edition, Elsevier Science (USA), p.259-308, 2002.
- LELLIS, W.A.; BARROWS, F.T.; HARDY, R.W. Effects of phase-feeding dietary phosphorus on survival, growth, and processing characteristics of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*, v.242, p.607–616, 2004.
- LOVELL, R.T. Diets and fish husbandry. In: Halver, J.E. & Hardy, R.W. *Fish Nutrition*, Third Edition, Elsevier Science (USA), p.703-754, 2002.

- LOVELL, R.T. Dietary phosphorus requirements of channel catfish (*Ictalurus punctatus*). Transactions of the American Fisheries Society, v.107, p.617-621, 1978.
- McDOWELL, L.R. Minerals in animal and human nutrition. Academic Press Limited, San Diego, California, 1992, 524p.
- MARKZENK, Z. Spectrophotometric determination of elements. Chichester, Ellis Horwood, p.211-215, 1976.
- MEURER, F.; HAYASHI, C.; BOSCOLO, W.R. Digestibilidade aparente de alguns alimentos protéicos pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Revista Brasileira de Zootecnia, v.32, n.6, p.1801-1809, 2003.
- MIRANDA, E.C.; PEZZATO, A.C.; PEZZATO, L.E.; FURUYA, W.M. Disponibilidade aparente de fósforo em ingredientes pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Acta Scientiarum. Animal Sciences, v.22, n.3, p.669-675, 2000.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. Nutrient requirements of fish. The National Academy of Sciences, Washington (DC), 1993, 114p.
- OGINO, C.B.; TAKEUCHI, L.; TAKEDA, H.; WATANABE, T. Availability of dietary phosphorus in carp and rainbow trout. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, v.45, p.1527-1532, 1979.
- PEZZATO, L.E.; MIRANDA, E.C.; BARROS, M.M.; QUINTERO-PINTO, L.G.; FURUYA, W.M.; PEZZATO, A.C. Digestibilidade aparente de ingredientes pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Revista Brasileira de Zootecnia, v.31, n.4, p.1595-1604, 2002.
- PEZZATO, L.E.; BARROS, M.M.; FRACALOSSO, D.; CYRINO, J.E.P. Nutrição de Peixes. In: Cyrino, J.E.P. et al. Tópicos Especiais em Piscicultura de água Doce Tropical Intensiva. São Paulo: Aquabil, v.1, p.75-170, 2004.
- RICHIE, M.; BROWN, P.B. Availability of phosphorus from feedstuffs fed to rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. Aquaculture, v.142, p.269-282, 1996.
- SAEG Sistema para Análises Estatísticas, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes - UFV - Viçosa, 2007.
- SKLAN, D.; PRAG, T.; LUPATSCH, I. Apparent digestibility of selected feed ingredients and their prediction in diets for tilapia *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus* (Teleostei, Cichlidae). Aquaculture Research, v.35, p.358-364, 2004.
- STEFFENS, W. Principios fundamentales de la alimentación de los peces. Editora Acribia. Zaragoza, 1987, 272p.

- SUGIURA, S.H.; DONG, F.M.; RATHBONE C.K.; HARDY R.W. Apparent protein digestibility and mineral availabilities in various feed ingredients for salmonid feeds. *Aquaculture*, v.159, p.177-202, 1998.
- SUGIURA, S.H.; DONG, F.M.; HARDY R.W. A new approach to estimating the minimum dietary requirement of phosphorus based on non-fecal excretions of phosphorus and nitrogen. *Journal of nutrition*, v.130, p.865-872, 2000.
- VIOLA, S.; ZOHAR, G.; ARIELI, Y. Phosphorus requirements and its availability from different sources for intensive pond culture species in Israel. Part 1. Tilapia. *Bamidgeh*. v.38, p.3-12, 1986a.
- VIOLA, S.; ZOHAR, G.; ARIELI, Y. Requirements of phosphorus and its availability from different sources for intensive pond culture species in Israel. Part 2: Carp culture. *Bamidgeh*, v.38, p.44-54, 1986b.

Tabela 1. Composição química-bromatológica e valores energéticos dos alimentos protéicos de origem animal e vegetal e das fontes inorgânicas de minerais avaliadas (Base 100% da MS).

Fonte	MS ⁽¹⁾ (%)	PB ⁽²⁾ (%)	EB ⁽³⁾ (kcal/kg)	P (%)	Ca (%)	Mg (%)
<i>Protéicas de origem animal</i>						
Farinha de peixe	91,87	56,19	4057	3,20	6,66	0,52
Farinha de vísceras de aves	92,54	64,65	5008	2,54	4,52	0,29
Farinha de carne e ossos	93,13	48,59	3840	6,85	11,77	0,46
<i>Protéicas de origem vegetal</i>						
Glúten de milho	89,66	70,56	5752	0,54	0,02	0,06
Farelo de soja	87,91	51,75	4665	0,73	0,35	0,58
Farelo de algodão	91,19	49,03	4983	1,30	0,59	1,36
<i>Inorgânicas de minerais</i>						
Fosfato mono bicálcico	98,36	-	-	18,96	22,34	0,73
Fosfato bicálcico	98,42	-	-	19,89	24,84	0,88
Fosfato mono potássico	99,55	-	-	24,11	-	-
Acido fosfórico	85,00	-	-	28,00	-	0,31

¹ MS = matéria seca;

² PB = proteína bruta;

³ EB = energia bruta.

Tabela 2. Composição percentual e nutricional da ração de referência e composição porcentual das rações teste (Base 100% da MS).

Ingrediente	(%)	Valor nutricional	(%)
<i>Ração referência (basal)</i>			
Farelo de soja	37,32	Matéria seca, %	94,16
Glúten de milho	17,62	Proteína bruta, %	34,60
Farelo de trigo	6,08	Energia bruta, Kcal kg ⁻¹	4760
Farinha de mandioca	12,48	Fibra bruta, %	4,00
Quirera de arroz	12,00	Extrato etéreo, %	4,00
Amido de milho	10,32	Amido, %	40,29
Óleo de milho	2,32	Matéria mineral, %	3,85
L- Lisina HCl	0,41	Ca, %	0,18
DL-Metionina	0,35	P Total, %	0,42
L-Treonina	0,09	Magnésio, %	0,35
BHT (antioxidante)	0,02	Sódio, %	0,13
Suplemento vitamínico ⁽¹⁾	0,30	Lisina, %	1,74
Sal comum (NaCl)	0,30	Metionina, %	0,91
Vitamina C (35%)	0,08	AAS, %	1,41
Óxido de crômio-III (Cr ₂ O ₃)	0,30	Treonina, %	1,29
Total	100,0	Triptofano, %	0,34
		Vitamina C, mg/kg	280
<i>Ração-teste</i>			
Ração de referencia (%)	100 – X		
Fonte a ser testada (%) ⁽²⁾	X		

⁽¹⁾ Suplemento vitamínico - Supremais: níveis de garantia por kg do produto: Vit. A, 1.200.000 UI; Vit. D3, 200.000 UI; Vit. E, 12.000 mg; vit. K3, 2.400 mg; vit. B1, 4.800 mg; vit. B2, 4.800 mg; vit. B6, 4.000 mg; vit. B12, 4.800 mg; ácido fólico, 1.200 mg; pantotenato de Ca, 12.000 mg; vit. C, 48.000 mg; biotina, 48 mg; colina, 65.000 mg; niacina, 24.000 mg.

⁽²⁾ X = substituições em base seca de: farinha de peixe (16,00%); farinha de vísceras de aves (17,50%); farinha de carne e ossos (7,00%); glúten de milho (30,00%); farelo de soja (30,00%); farelo de algodão (30,00%); fosfato mono bicálcico (2,00%); fosfato bicálcico (2,00%); fosfato potássico (2,00%); ácido fosfórico (1,85%).

Tabela 3. Coeficientes de digestibilidade aparente da matéria seca, proteína bruta e energia bruta de fontes protéicas pela tilápia do Nilo em função do peso do peixe.

Ítem	CDA MS (%)			CDA PB (%)			CDA EB (%)		
	Fase			Fase			Fase		
	Cres ⁽¹⁾	Eng ⁽²⁾	Acab ⁽³⁾	Cres	Eng	Acab	Cres	Eng	Acab
<i>Alimento de origem animal</i>									
FP ⁽⁴⁾	88,47a (±0,14)	83,39b (±1,50)	83,56b (±2,57)	91,09 (±1,55)	91,51 (±1,95)	91,46 (±1,70)	97,53a (±1,33)	91,09b (±2,51)	91,58b (±1,41)
FVA ⁽⁵⁾	93,13a (±2,06)	84,75b (±4,21)	84,27b (±4,63)	92,98 (±0,79)	91,93 (±0,99)	91,34 (±0,12)	97,26a (±2,12)	89,53b (±0,58)	84,11c (±1,42)
FCO ⁽⁶⁾	68,43 (±1,90)	71,00 (±2,01)	67,48 (±2,80)	87,14 (±0,56)	89,06 (±,44)	88,60 (±2,47)	56,42c (±1,34)	64,55a (±1,79)	60,80b (±0,88)
<i>Alimento de origem vegetal</i>									
GM ⁽⁷⁾	82,07b (±0,58)	85,11a (±1,85)	86,81a (±0,16)	96,67a (±0,36)	97,30a (±0,30)	92,12b (±0,41)	80,60b (±1,14)	84,70a (±1,28)	87,24a (±1,58)
FS ⁽⁸⁾	66,73b (±1,78)	75,92a (±3,23)	73,84a (±1,02)	93,00 (±1,34)	94,64 (±0,11)	94,43 (±1,96)	62,15b (±0,90)	75,78a (±1,78)	76,87a (±1,78)
FA ⁽⁹⁾	87,73a (±0,75)	84,45b (±1,65)	85,01b (±1,16)	92,33 (±0,81)	92,57 (±0,86)	92,88 (±1,06)	89,83b (±1,19)	88,66b (±1,23)	91,90 a (±0,75)

Valores médios de quatro repetições (± Desvio padrão).

Valores de um nutriente na mesma linha com diferentes letras são estatisticamente diferentes (Tukey, $p < 0,05$).

¹ Fase de crescimento (± 25g);

² Fase de engorda (± 250g);

³ Fase de acabamento (± 500g);

⁴ FP= Farinha de peixe;

⁵ FVA= Farinha de vísceras de aves;

⁶ FCO= Farinha de carne e ossos;

⁷ GM= Glúten de milho;

⁸ FS= Farelo de soja;

⁹ FA= Farelo de algodão.

Tabela 4. Coeficientes de disponibilidade aparente do fósforo, cálcio e magnésio de fontes protéicas e minerais pela tilápia do Nilo em função do peso.

Ítem	CDA P (%)			CDA Ca (%)			CDA Mg (%)		
	Fase de vida			Fase de vida			Fase de vida		
	Cres ⁽¹⁾	Eng ⁽²⁾	Acab ⁽³⁾	Cres	Eng	Acab	Cres	Eng	Acab
<i>Alimento de origem animal</i>									
FP ⁽⁴⁾	52,45a (±1,04)	51,57a (±0,48)	49,57b (±0,70)	84,73a (±1,54)	86,90a (±6,50)	52,53b (±5,62)	77,76 (±1,30)	76,77 (±4,06)	76,89 (±4,88)
FVA ⁽⁵⁾	45,94 (±0,48)	45,77 (±0,92)	46,60 (±1,23)	64,13a (±1,38)	66,52a (±1,24)	53,02b (±4,33)	76,52 (±0,66)	73,77 (±2,80)	74,25 (±6,28)
FCO ⁽⁶⁾	43,11 (±1,05)	45,48 (±0,94)	43,77 (±1,43)	47,60 (±1,95)	46,92 (±0,55)	49,01 (±2,52)	79,86 (±3,53)	76,87 (±4,87)	75,62 (±4,95)
<i>Alimento de origem vegetal</i>									
GM ⁽⁷⁾	24,88b (±1,11)	30,78a (±3,57)	32,84a (±2,76)	0,00	0,00	0,00	37,40 (±3,14)	40,87 (±2,80)	41,56 (±3,93)
FS ⁽⁸⁾	24,01b (±0,98)	27,60ab (±4,27)	28,62a (±2,01)	0,00	0,00	0,00	66,52 (± 1,13)	68,45 (±1,01)	69,72 (±3,03)
FA ⁽⁹⁾	38,09b (±0,76)	43,39a (±1,98)	44,06a (±1,58)	0,00	0,00	0,00	78,38 (±1,23)	75,09 (±7,54)	76,46 (±2,73)
<i>Fonte mineral</i>									
FMBC ⁽¹⁰⁾	93,56a (±1,50)	89,17b (±1,00)	88,76b (±2,21)	46,51 (±2,27)	52,22 (±8,16)	51,97 (±5,41)	-	-	-
FBC ⁽¹¹⁾	94,29 (±2,99)	94,95 (±1,34)	93,84 (±2,00)	78,47a (±2,38)	75,17a (±4,48)	66,33b (±1,18)	-	-	-
FMK ⁽¹²⁾	93,91a (±1,98)	93,10ab (±2,84)	90,22b (±1,06)	-	-	-	-	-	-
AF ⁽¹³⁾	99,60 (±0,69)	97,31 (±2,46)	97,16 (±1,97)	-	-	-	-	-	-

Valores de um nutriente na mesma linha e fonte com diferentes letras são estatisticamente diferentes (Tukey, $p < 0,05$).

¹ Fase de crescimento ($\pm 25g$);

² Fase de engorda ($\pm 250g$);

³ Fase de acabamento ($\pm 500g$);

⁴ FP= Farinha de peixe;

⁵ FVA= Farinha de vísceras de aves;

⁶ FCO= Farinha de carne e ossos;

⁷ GM= Glúten de milho;

⁸ FS= Farelo de soja;

⁹ FA= Farelo de algodão;

¹⁰ FMBC= Fosfato mono bicálcico;

¹¹ FBC= Fosfato bicálcico;

¹² FMK= Fosfato mono potássico;

¹³ AF= Acido fosfórico.

Capítulo - III

Exigência dietaria de fósforo na alimentação por fases da tilápia do Nilo
(*Oreochromis niloticus*)

Exigência dietaria de fósforo na alimentação por fases da tilápia do Nilo
(*Oreochromis niloticus*)

Resumo – As exigências de fósforo disponível para tilápia do Nilo variedade GIFT, em três diferentes estádios de desenvolvimento, foram determinadas. Durante 60 dias foram conduzidos simultaneamente três experimentos independentes, sob esquema de alimentação por fases, de forma a avaliar o efeito do nível de fósforo na ração sobre o desempenho zootécnico, parâmetros fisiológicos e mineralização corporal da tilápia do Nilo em três tamanhos representativos do ciclo produtivo. Concluiu-se que as exigências nutricionais de fósforo disponível para tilápia do Nilo são mais altas nas etapas iniciais de vida e diminuem progressivamente ao longo do ciclo produtivo e, que as exigências nutricionais de fósforo disponível para máxima mineralização óssea são mais altas do que para ótimo desempenho produtivo. Os sinais de deficiência de fósforo foram caracterizados por letargia, pobre crescimento, redução do apetite, coloração escura, fotosensibilidade, agressão, incremento no teor de lipídeos corporais, pobre mineralização óssea e em alguns casos, deformação e presença de nódulos nas vértebras.

Palavras-chave: tilápia GIFT, fósforo disponível, fases de crescimento, sinais de deficiências de fósforo, nutrição de peixes.

Dietary phosphorus requirements in phase-feeding of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)

Abstract – The available phosphorus requirements of GIFT Nile tilapia, in three different stages of development, were determined. During 60 days were conducted simultaneously three independent experiments on a phase-feeding scheme in order to evaluate the effect of the phosphorus level in the diet on the performance breeding, physiological parameters and mineralization body of Nile tilapia in three stages representative of production cycle. It was concluded that dietary available phosphorus requirements for Nile tilapia are higher in the early stages life and decrease gradually throughout the production cycle; and that dietary available phosphorus requirements for maximum bone mineralization are higher than for optimum performance productive. Signs of phosphorus deficiency were characterized by lethargy, poor growth, loss of appetite, dark color, photo sensitivity, aggression, increase in body lipid content, poor bone mineralization and in some cases, deformation and presence of nodules in vertebrae.

Key-words: GIFT tilapia, available phosphorus, stages of growth, phosphorus deficiency signs, fish nutrition.

Introdução

Os piscicultores procuram maximizar os rendimentos econômicos com dietas práticas de mínimo custo que atendam as exigências dos nutrientes essenciais. Os excessos aumentam as excreções de nutrientes, especialmente de fósforo que impacta o ambiente contribuindo com a eutrofização (Lall, 2002).

A maior biomassa de peixes nas fases de engorda e acabamento é responsável pelo aumento da eliminação de metabólitos para o meio. Na aquicultura comercial os peixes maiores consomem mais que 90% do alimento ministrado no ciclo de produção, eliminando grande proporção de fósforo ao ambiente (Sugiura et al., 2000).

Para reduzir as perdas desse nutriente ao ambiente, é conveniente determinar suas exigências nutricionais para as diferentes idades dos peixes. Assim, na formulação das rações o nutricionista deve observar as diretrizes ambientais, além de considerar o valor nutritivo dos ingredientes e as exigências biológicas das espécies.

O fósforo é o mineral mais importante para os peixes em crescimento, devido

principalmente às necessidades para formação óssea e o metabolismo dos carboidratos, lipídios e do nitrogênio. Tem importante papel na manutenção da homeostase e nas funções muscular e nervosa (Lall, 2000)

As exigências de fósforo para tilápia têm sido pesquisadas utilizando alevinos ou peixes pequenos, quase sempre com pesos iniciais inferiores a 15g. Entretanto, as exigências desse elemento variam com a espécie, tamanho do peixe, disponibilidade nos ingredientes e com a quantidade ministrada do alimento (Lall, 2002; Lim & Webster, 2006).

A quantidade recomendada de fósforo na ração para a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) varia entre 0,8 a 1,1% de fósforo total (P_{tot}) ou de 0,46 a 0,9% de fósforo disponível (P_{disp}). Essa grande variação nas exigências de fósforo se deve, principalmente, ao tipo de dieta experimental (prática ou purificada, densidade de nutrientes, densidade energética.), às condições experimentais (tamanho inicial, densidade, temperatura, qualidade da água.), aos critérios de avaliação (variáveis avaliadas, tempo de avaliação.) e, aos métodos estatísticos usados para avaliar a relação dose resposta (ANOVA, regressão quadrática, regressão LRP, entre outros).

As respostas dos peixes às dietas com níveis crescentes de fósforo consideram: parâmetros de crescimento, medidas de aproveitamento do alimento ou nutriente, níveis de saturação nos tecidos, retenção corporal, excreção urinária, mineralização óssea, resistência óssea à fratura, atividade enzimática, resistência a doenças e sintomas clínicos, normalmente avaliados em peixes jovens (Asgard & Shearer, 1997; Sugiura et al., 2000; Lall, 2002).

Entretanto, o período de avaliação deve ser suficiente para atender o ciclo de produção envolvido, pois, tempos insuficientes ou excessivos de avaliação podem mascarar ou diluir as respostas; a fase de desenvolvimento deve ser considerada, pois os peixes pequenos têm taxas metabólicas superiores às dos peixes adultos. Igualmente é difícil avaliar as respostas dos peixes grandes, pois as taxas de crescimento são menores, tornando muito onerosa ou inviável a pesquisa em termos de infra-estrutura. Outros fatores como a genética e a maturidade sexual dos peixes também podem determinar mudanças nas exigências nutricionais de fósforo (Lall, 2002), especialmente nas tilápias, por apresentar maturidade sexual precoce.

É de grande importância econômica e ambiental o conhecimento das exigências em fósforo dos animais em função do tamanho corporal e estado fisiológico. Econômicas no sentido de evitar suplementações desnecessárias, e ambientais pela diminuição das excreções no ambiente. Especial atenção deve ser dada aos animais adultos pela alta demanda alimentar nos sistemas produtivos.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do nível de fósforo na ração sobre

o crescimento, utilização do alimento, fisiologia, composição e mineralização corporal pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) em três fases de produção (Crescimento, Engorda e Acabamento).

Material e Métodos

A pesquisa foi conduzida na Unesp – Universidade Estadual Paulista, no Laboratório de Nutrição de Organismos Aquáticos (*AquaNutri*) - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Campus de Botucatu.

Foram conduzidos três experimentos independentes, cada um deles com duração de 60 dias, de forma a avaliar o efeito do nível de fósforo total na ração sobre o desempenho zootécnico e mineralização corporal da tilápia do Nilo variedade GIFT em função da fase de crescimento dos animais: Crescimento (16g), Engorda (38g) e Acabamento (155g). Em cada experimento foram formuladas cinco rações práticas (Tabelas 1 e 2), atendendo as exigências nutricionais das tilápias em função do peso corporal, com exceção do fósforo que variou conforme os tratamentos.

Os teores de fósforo foram obtidos com inclusão de níveis crescentes de fosfato bicálcico nas diferentes rações a partir do nível basal, em cada fase, substituindo pesos equivalentes de outros componentes da ração. As rações foram formuladas para cada uma das três fases (Crescimento, Engorda e Acabamento) de modo a se apresentarem isoprotéicas, isocalóricas e isocalcíticas. Os teores de fósforo disponível (P_{disp}) foram calculados a partir de coeficientes de disponibilidade aparente (CDA) determinados em pesquisa previa. Os peixes foram alimentados até saciedade aparente, quatro vezes ao dia, às 8, 11, 14 e 17 h. A iluminação do local foi obtida por meio de lâmpadas fluorescentes mantendo o fotoperíodo das seis às dezoito horas.

Foram adotadas as seguintes recomendações de manejo prático para as fases de crescimento avaliadas:

Experimento – I (Fase de Crescimento)

Utilizaram-se cinco rações práticas extrusadas com 32,0% de proteína bruta, 3100 kcal de ED/kg, relação ED:PB de 97, níveis de P_{tot} entre 0,46 e 1,44% (0,16 a 1,09% P_{disp}), tamanho do grânulo de 2 a 4 mm, quatro refeições por dia; peixes com peso inicial de $15,99 \pm 0,29$ g, seis peixes por tanque de 90L, seis repetições por tratamento; taxa de vazão de 1,5 L/min.

Experimento – II (Fase de Engorda)

Utilizaram-se cinco rações práticas extrusadas com 30,0% de proteína bruta, 3100 kcal de ED/kg, relação ED:PB 103, níveis de P_{tot} entre 0,48 e 1,49% (0,17 a 1,12% P_{disp}), tamanho do grânulo de 4 a 6 mm, quatro refeições por dia; peixes com peso inicial de $38,55 \pm 0,41$ g, seis peixes por tanque de 250L, quatro repetições por tratamento; taxa de vazão de 3,0 L/min.

Experimento – III (Fase de Acabamento)

Utilizaram-se cinco rações práticas extrusadas com 28,0% de proteína bruta, 3100 kcal de ED/kg, relação ED:PB 111, níveis de P_{tot} entre 0,48 e 1,49% (0,19 a 1,14% P_{disp}), tamanho do grânulo de 6 a 8 mm, quatro refeições por dia; peixes com peso inicial de $155,90 \pm 2,13$ g, cinco peixes por tanque de 250L, quatro repetições por tratamento; taxa de vazão de 3,0 L/min.

Os aquários em cada experimento foram dotados de sistemas de aeração, recirculação de água, filtro biológico, e termostato de aquecimento geral. Diariamente foi monitorada a temperatura e semanalmente, os níveis de oxigênio dissolvido (O_2d) e pH da água, sendo realizadas sifonagens diárias para eliminar fezes e eventuais sobras de rações, renovando semanalmente 100% do volume a água para evitar acúmulo de metabólitos dissolvidos.

Os valores médios obtidos de qualidade da água dos aquários foram: Fase de Crescimento (Experimento – I) temperatura $27,8 \pm 0,2$ °C; oxigênio dissolvido $6,4 \pm 0,7$ mg/L e pH $7,2 \pm 0,45$; Fase de Engorda (Experimento – II) temperatura $26,1 \pm 1,23$ °C; oxigênio dissolvido $5,55 \pm 0,2$ mg/L e pH $7,0 \pm 0,38$ e; Fase de Acabamento (Experimento – III) temperatura $26,2 \pm 0,81$ °C; oxigênio dissolvido $5,2 \pm 0,55$ mg/L; e pH $7,0 \pm 0,44$. Segundo Boyd & Tucker (1998) as tilápias podem ser cultivadas com sucesso quando os parâmetros de qualidade da água são mantidos nas faixas de conforto de 28 a 32°C de temperatura, oxigênio dissolvido > 5 mg/L, pH entre 6,5 e 9,0. Nesta pesquisa a temperatura da água, especialmente nos experimentos II e III (Fases de Engorda e de Acabamento) foi mantida levemente inferior ao mínimo de conforto da espécie, fato tecnicamente assumido para evitar possível saturação do sistema com descargas metabólicas e evitar igualmente gastos energéticos excessivos para manter a temperatura constantemente além da média ambiental.

Os critérios de avaliação dos efeitos do nível do fósforo no desempenho produtivo e eficiência de utilização do alimento foram: peso final (PF), ganho de peso (GP), taxa de crescimento específico (TCE) e índice de conversão alimentar (ICA).

Os critérios da avaliação dos efeitos do nível de fósforo sobre o comportamento fisiológico das tilápias foram: contagem de eritrócitos e leucócitos, hematócrito, proteína plasmática, hemoglobina, P- plasmático e fosfatase alcalina plasmática. Após

o término do período experimental de 60 dias, seis peixes de cada tratamento foram anestesiados com benzocaina (100 mg/L) e o sangue colhido por punção caudal com seringa de 1,0 mL e anticoagulante. As contagens de eritrócitos e leucócitos foram feitas pelo método do hemocitômetro e câmara de Neubauer, utilizando azul de toluidina (0,01m/v) como corante; o hematócrito em microhematócrito a 5000 rpm por cinco minutos, a taxa de hemoglobina calculada pelo método da cianometahemoglobina e a proteína plasmática por meio de refratômetro de Goldenberg. Todas as variáveis citadas foram avaliadas segundo as técnicas descritas por Jain (1986). A fosfatase alcalina do plasma pelo método de colorimetria enzimática (Roche diagnóstica) e o fósforo do plasma pelo kit fosfato (Doles Ltda).

Os critérios de avaliação dos efeitos do nível de fósforo consumido sobre a deposição de nutrientes nos tecidos corporais foram: composição química do filé e do fígado (umidade, proteína bruta, extrato etéreo e P) e composição mineral dos ossos (matéria mineral, Ca, P e Mg) dos peixes. Para isso, foram abatidos (Punção cranial) cinco exemplares por tratamento antes e ao final de cada experimento; pesados e colhidas amostras representativas do filé e das vértebras. Para extração dos corpos das vértebras as carcaças foram fervidas por dez minutos, removendo com auxílio de pinça e escova as possíveis sobras de tecido muscular. As vértebras foram então imersas em solução de NaOH 0,10 mol/L por 24 horas e posteriormente secas por 12 horas a 55°C em estufa de circulação forçada segundo metodologia adaptada de Mustin & Lovell (1992).

Os ingredientes, rações e filés foram analisados nas suas composições bromatológica no Laboratório de Bromatologia da FMVZ segundo as metodologias descritas pela AOAC (2000). O teor de matéria seca (MS) foi calculado após secagem em estufa a temperatura de 105 °C, durante 12 horas; a proteína bruta (PB) foi determinada pelo método clássico de micro Kjeldahl, utilizando o fator 6,25 na conversão do N para proteína e a energia bruta (EB) por bomba calorimétrica; a matéria mineral (MM) em mufla a temperatura de 600°C, durante seis horas. A determinação da concentração dos minerais foi feita no Laboratório de Química e Bioquímica do Instituto de Biociências – UNESP- Campus de Botucatu. As amostras foram digeridas em mistura nitro/perclórica e diluídas com água deionizada para posterior quantificação. Cálcio e magnésio foram determinados por Espectrometria de Absorção Atômica em Chama (FAAS) (Cookbook Shimadzu, 2002) e o fósforo por espectrofotometria no visível (Markzenk, 1976).

Para análise estatística dos resultados foi utilizado o programa de Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas – SAEG versão 9.1 (UFV, 2007). As respostas individuais das variáveis foram submetidas à análise de variância ($p < 0,05$) e quando

significativas aplicou-se o teste de comparações múltiplas entre médias de Duncan ($p < 0,05$). As exigências de fósforo para máximo desempenho foram interpretadas por meio da regressão Linear Response Plateau (LRP).

Resultados e Discussão

Nas três pesquisas, os peixes submetidos ao mais baixo nível de fósforo (T1) na ração, apresentaram sintomas de deficiência característicos como letargia, diminuição do apetite, baixa taxa de crescimento, coloração escura da pele, maior depósito de gordura nos tecidos moles, foto-sensibilidade, alta agressividade, reação de fuga diante do tratador e, em alguns casos, deformações e presença de nódulos nas espinhas dorsais das vértebras. Semelhantes sintomas também foram descritas por Sugiura et al. (2004) na revisão das patologias das deficiências nutricionais de fósforo em peixes. Destaca-se que os peixes que foram alimentados com a dieta do mais alto teor de P (T5) apresentaram também apetite diminuído, alta agressividade e reação de fuga na aproximação do tratador.

Experimento – I (Fase de Crescimento)

Nesse experimento os peixes apresentaram peso inicial de 16g e, peso final entre 74,49 e 126,18g. Os valores médios das respostas de desempenho produtivo das tilápias aos níveis crescentes de fósforo disponível (P_{disp}) na ração são apresentados na Tabela 3.

Nos primeiros 30 dias de experimentação observou-se comportamento semelhante das variáveis: peso final (PF), ganho de peso (GP) e taxa de crescimento específico (TCE) com tendência linear crescente entre os níveis de suplementação de fósforo disponível (P_{disp}) de 0,16 a 0,86% e leve diminuição no nível de 1,09% P_{disp} . A conversão alimentar (CA) apresentou tendência linear decrescente entre os níveis de P_{disp} de 0,16 e 0,86% com posterior aumento para o nível de 1,09% P_{disp} . Essas variáveis quando submetidas à análise de regressão linear LRP (Figuras 1 e 2), apresentaram em média a exigência mínima de 0,77% de P_{disp} , valor atendido ao nível de suplementação de 0,86% P_{disp} .

Após 60 dias de experimentação (Tabela 3), a semelhança do acontecido nos primeiros 30 dias, as variáveis PF, GP e TCE apresentaram inicialmente tendência linear crescente entre os níveis de suplementação de P_{disp} de 0,16 a 0,63% com posterior diminuição nos níveis 0,86 e 1,09% P_{disp} . A CA apresentou tendência linear decrescente para os níveis compreendidos entre 0,16 e 0,63% P_{disp} com posterior aumento para os níveis 0,86 e 1,09% P_{disp} . Essas variáveis quando submetidas à

análise de regressão LRP (Figuras 3 e 4) apresentaram em média exigência mínima de P_{disp} de 0,53%, valor atendido com o nível de suplementação 0,63% P_{disp} .

As exigências de P_{disp} (% da ração) determinadas após 30 e 60 dias de experimentação, revelaram claramente a sensibilidade destas variáveis ao período total de avaliação, toda vez que as taxas metabólicas são diferenciadas para tamanhos de peixes, especialmente na fase exponencial de crescimento. Essas respostas sugerem que futuramente as exigências de nutrientes devem ser estudadas à luz da curva de crescimento, diferenciando nas suas fases de estruturação, exponencial e plateau.

Os valores médios das respostas fisiológicas e metabólicas dos juvenis da tilápia do Nilo aos níveis crescentes de P na ração são apresentados na Tabela 4. Pode-se observar que após de 60 dias de experimentação, as variáveis hematológicas e de química plasmática tiveram respostas diferentes aos níveis de suplementação de P_{disp} . A contagem total de eritrócitos e a fosfatase alcalina plasmática tiveram comportamentos semelhantes, com valores decrescentes entre os níveis de suplementação 0,16 e 0,63% P_{disp} , mantendo os valores mínimos nos níveis subseqüentes. Essas variáveis quando submetidas à análise de regressão linear LRP apresentaram em média a exigência mínima de P_{disp} de 0,42%, valor inferior ao exigido para ótimo desempenho produtivo (0,53% P_{disp}). A proteína plasmática apresentou comportamento decrescente e não foi significativa para LRP. O P plasmático aumentou entre o nível 0,16 e 0,39% P_{disp} (T1 e T2) permanecendo estável até o nível de 0,86% P_{disp} (T3 e T4) e posterior diminuição no nível de 1,09% P_{disp} (T5). As demais variáveis deste grupo não apresentaram variações significantes para os diferentes tratamentos.

Os valores médios da composição do fígado dos juvenis da tilápia do Nilo em função dos níveis crescentes de P_{disp} na ração são apresentados na Tabela 4. Os valores de proteína bruta e fósforo não foram influenciados pelos níveis de P das rações. Os teores de umidade e extrato etéreo dos fígados apresentaram respostas de aumento e redução, respectivamente, com os níveis crescentes de fósforo nas rações, com o teor mínimo de 10,98% de EE apresentado no nível de inclusão de 1,09% P_{disp} (T5). Os teores percentuais de umidade e proteína bruta dos filés não apresentaram variações entre tratamentos (Tabela 4). O extrato etéreo (EE) do filé em concordância com o EE do fígado apresentou valores decrescentes entre tratamentos. O teor do P no filé aumentou entre os tratamentos 0,16 (T1) e 0,63% P_{disp} (T3) mantendo se estável a partir desse nível.

Dentre as variáveis de mineralização das vértebras, a matéria mineral e o fósforo apresentaram valores crescentes até os níveis de P_{disp} de 0,86 e 0,63%,

respectivamente, com posterior estabilização. Essas variáveis quando submetidas à análise LRP revelaram exigências de 0,83 e 0,74% P_{disp} (média de 0,79% P_{disp}) para máxima mineralização óssea. O acúmulo de Ca nas vértebras apresentou níveis crescentes até 0,63% P_{disp} com posterior estabilização dessa variável. O Mg contido nas vértebras aumentou com os níveis de suplementação do P. Ca e Mg não apresentaram significância por meio da análise LRP.

Experimento – II (Fase de Engorda)

Nesse experimento os peixes apresentaram peso inicial de 38,55g e, peso final entre 163,51 e 252,82g. Os valores médios das respostas de desempenho produtivo da tilápia do Nilo na fase de engorda aos níveis crescentes de fósforo disponível (P_{disp}) na ração são apresentados na Tabela 5.

As variáveis de desempenho produtivo: PF, GP e TCE apresentaram tendência linear crescente entre os níveis 0,17 e 0,65% de P_{disp} (T1 a T3) e posterior estabilização nos níveis subseqüentes. A CA apresentou tendência linear decrescente entre os níveis de P_{disp} de 0,17 e 0,65% com posterior estabilização nos demais tratamentos. Essas variáveis quando submetidas à análise LRP (Figuras 5 e 6), apresentaram em média a exigência mínima de P_{disp} de 0,5%, valor atendido ao nível de suplementação de 0,65% P_{disp} .

Os valores médios das respostas fisiológicas e metabólicas, da tilápia do Nilo na fase de engorda, aos níveis crescentes de P_{disp} na ração são apresentados na Tabela 6.

As variáveis hematológicas e de química plasmática tiveram respostas heterogêneas aos níveis de suplementação de P_{disp} . A contagem total de eritrócitos apresentou valores decrescentes e não foi significativa pelo análise LRP ($p < 0,05$). Os valores médios percentuais de hematócrito apresentaram-se inferiores no primeiro e quinto níveis de suplementação com valores superiores estáveis entre os níveis 0,41 e 0,88% P_{disp} (T2 a T4). A proteína plasmática apresentou o mais alto valor de 3,42% no nível de 0,41% de suplementação de P_{disp} com posterior comportamento decrescente. A fosfatase alcalina do plasma foi superior no primeiro nível de suplementação com tendência posterior de estabilização para os demais tratamentos. À análise de regressão LRP, aplicada às variáveis hematológicas e de química plasmática só apresentou significância para a fosfatase alcalina revelando nível mínimo de exigência de 0,33%, teor já contemplado no nível de 0,54% P_{disp} exigido para máximo desempenho.

Os valores médios da composição do fígado da tilápia do Nilo na fase de engorda, em função dos níveis crescentes de P_{disp} na ração são apresentados na Tabela 6. Constatou-se que os valores de proteína bruta não foram influenciados pelos

níveis de P das rações. Os teores de umidade e extrato etéreo dos fígados apresentaram respostas de aumento e redução, respectivamente, com os níveis crescentes de fósforo nas rações, com o teor mínimo de 12,3% de EE apresentado no nível de inclusão de 1,12% P_{disp} (T5). O teor de P contido no fígado aumentou entre os níveis de 0,17 e 0,65% P_{disp} (T1 a T3) com posterior retorno dos valores basais nos tratamentos subseqüentes.

O conteúdo porcentual de proteína bruta dos filés não apresentou diferenças entre tratamentos (Tabela 6). Os teores de umidade e extrato etéreo do filé, as semelhanças do ocorrido com os teores dessas variáveis no fígado apresentaram respostas de aumento e redução, respectivamente, com os níveis crescentes de fósforo nas rações, e o teor mínimo de 0,84% de EE apresentou-se no nível de inclusão de 1,12% P_{disp} (T5). O teor do P no filé aumentou com os acréscimos nos níveis de inclusão de P_{disp} nas rações.

As variáveis de mineralização das vértebras matéria mineral e fósforo quando submetidas à análise de regressão LRP, revelaram exigências para máxima mineralização de 0,75 e 0,80% P_{disp} , respectivamente, com média 0,78% P_{disp} . O Ca das vértebras aumentou até o nível de 0,65% P_{disp} com posterior tendência de estabilização para os demais tratamentos. O teor de Mg contido nas vértebras aumentou com os níveis de P nas rações não apresentando significância através do análise LRP.

A semelhança do acontecido na Fase de Crescimento (Experimento – I), as variáveis de composição de fígado e filé e os conteúdos de Ca e Mg das vértebras não apresentaram significância por meio da análise LRP.

Experimento – III (Fase de Acabamento)

Nesse experimento os peixes apresentavam peso inicial de 155,9g e finalizaram com pesos entre 264,59 e 350,96g. Os valores médios das respostas de desempenho produtivo, das tilápias na fase de acabamento, aos níveis crescentes de fósforo disponível (P_{disp}) na ração são apresentados na Tabela 7.

As variáveis de desempenho produtivo: PF, GP e TCE apresentaram níveis basais no teor inicial de P_{disp} na ração (T1, 0,19% P_{disp}), os demais tratamentos se apresentaram superiores e semelhantes entre eles. A CA apresentou tendência linear decrescente entre os níveis de P_{disp} de 0,19 e 0,66% (T1 a T3) com posterior estabilização nos demais tratamentos. Essas variáveis quando submetidas à análise de regressão linear LRP (Figuras 7 e 8), apresentaram em média exigência mínima de P_{disp} de 0,45%, valor atendido ao nível de suplementação de 0,66% P_{disp} , porem próximo do 0,42% (T2).

Os valores médios das respostas fisiológicas e metabólicas, das tilápias na fase de acabamento, aos níveis crescentes de P_{disp} na ração são apresentados na Tabela 8.

As variáveis hematológicas e de química plasmática contagem de eritrócitos, contagem de leucócitos, hematócrito, hemoglobina e fosfatase alcalina, não apresentaram significância estatística ($p > 0,05$). A proteína plasmática apresentou níveis crescentes entre 0,19 e 0,66% P_{disp} (T1 a T3) na ração e posterior decréscimo para os tratamentos subseqüentes. O P plasmático apresentou o mais alto teor (22,93 mg/dL) ao nível de 0,42% P_{disp} (T2) e posterior decréscimo para os tratamentos subseqüentes. As variáveis proteína plasmática e P plasmático quando submetidas à análise de regressão LRP revelaram que níveis de 0,32 e 0,29% P_{disp} (média de 0,31%) são suficientes para atender as necessidades fisiológicas desses animais, teor já contemplado no 0,45% P_{disp} , estabelecido nesta pesquisa para máximo desempenho da tilápia do Nilo em acabamento.

Os valores médios da composição do fígado, da tilápia do Nilo na fase de acabamento, em função dos níveis crescentes de P_{disp} na ração são apresentados na Tabela 8. Constata-se que os valores de proteína bruta e fósforo não foram influenciados pelos níveis de P das rações. Os teores de umidade e extrato etéreo dos fígados apresentaram respostas de aumento e redução, respectivamente, com os níveis crescentes de fósforo nas rações. O teor mínimo de 12,05% de EE apresentou-se no nível de inclusão de 1,14% P_{disp} (T5). O teor de umidade, proteína bruta e extrato etéreo dos filés das tilápias da Fase de Acabamento (Experimento – III) não foram influenciados ($p > 0,05$) pelos níveis crescentes de P na ração (Tabela 8), porém o extrato etéreo do filé ao nível de 0,42% P_{disp} apresentou o mais alto valor 1,05% com diminuição progressiva para os demais tratamentos. O teor de P nos filés aumentou com os níveis crescentes de fósforo nas rações.

A composição porcentual de matéria mineral das vértebras das tilápias da Fase de Acabamento apresentou inicialmente tendência linear crescente até o nível de 0,66% P_{disp} com posterior estabilização desse valor. Essa variável quando submetida à análise de regressão LRP, revelou a exigência de 0,71% P_{disp} para máxima mineralização óssea. Os teores de P e Ca das vértebras apresentaram valores crescentes como respostas aos conteúdos de P_{disp} na ração. O nível de Mg contido nas vértebras desses animais, não teve significância estatística ($p < 0,05$) através do análise LRP.

Os valores mínimos de 0,77 e de 0,53% de fósforo disponível (P_{disp}) para juvenis (Fase de Crescimento) de tilápia do Nilo aos 30 e 60 dias de experimentação, foram superiores dos valores de 0,46% P_{disp} e 0,74 de P total recomendados para alevinos da mesma espécie por Haylor et al. (1988) e Boscolo et al. (2005). Os

resultados desta pesquisa são concordantes com os valores de 0,90% ou menos de P_{disp} recomendados para alevinos de tilápia do Nilo por Watanabe et al. (1980), de 1,10% P para juvenis entre 0,6 e 4,0g (Barbosa et al., 2006), de 0,75% P_{disp} para alevinos entre 0,27 e 4,0g (Pezzato et al., 2006) e inferiores de 0,8 a 1,0% P_{disp} reportados para alevinos de tilápia áurea por Watanabe et al. (1988).

Igualmente, valores próximos dos estabelecidos para a Fase de Crescimento (Pesquisa – I) de 0,77 e 0,53% P_{disp} para 30 e 60 dias, respectivamente, e de 0,50% P_{disp} , na Fase de Engorda (Pesquisa – II) foram reportados por Miranda, et al. (2000) entre 0,50 a 0,75% P_{disp} para juvenis com peso máximo de 43,61g e, por Boscolo et al. (2003) de 0,30 a 0,70 de P total para tilápia do Nilo crescendo entre 23 e 89g. O estudo de Miranda et al. (2000) estabeleceu que os melhores desempenhos das tilápias fossem obtidos com relação Ca:P entre 1,0:1,0 e 1,0:1,5, discordando de Robinson et al. (1987) que preconizou a relação de 1,5:1,0 como ótima para adequada mineralização dos ossos nessa espécie, quando mantida em águas livres de Ca.

Numa faixa etária superior, Viola et al. (1986) informaram que tilápias híbridas exigem entre 1,0 e 0,7% de P total (0,6 a 0,46% de P_{disp}) para crescer entre 120 e 275g, valores que se aproximam daqueles estabelecidos nesta pesquisa de 0,50% P_{disp} para crescimento entre 39 e 249g e de 0,45% de P_{disp} para crescimento entre 156 e 350g, confirmando a hipótese que o animal adulto tem menor exigência de P na ração que os animais mais novos.

Observa-se ainda nas pesquisas citadas que os critérios de avaliação são o desempenho produtivo e a mineralização corporal. Entretanto, os resultados são discrepantes, em função do tempo de duração do experimento, espécie de tilápia, peso inicial do animal, conversão alimentar, densidade energética e protéica da ração e análises estatísticas aplicadas, entre outros.

Não se encontra na literatura trabalhos referentes às exigências nutricionais de P para tilápia do Nilo com pesos superiores de 275g, porém deve-se lembrar que as biomassas alojadas na fase de acabamento consomem aproximadamente 90% do alimento necessário para o ciclo de produção e, que de igual forma excretam grandes quantidades de P ao ambiente (Sugiura et al., 2000), assim pesquisas com animais adultos são necessárias visando o melhor aproveitamento dos nutrientes das dietas e diminuir as descargas de P ao ambiente.

Como observado nas Tabelas 4, 6 e 8 as exigências fisiológicas e metabólicas são supridas com níveis inferiores de suplementação de fósforo disponível (0,42; 0,33 e 0,31% para as Fases de Crescimento, Engorda e Acabamento, respectivamente), dos exigidos pelos animais para máximo rendimento. Assim, ao atender as exigências

para desempenho produtivo também são garantidos os valores mínimos para normal funcionamento e homeostase.

Para as variáveis classificadas nesta pesquisa como parâmetros hematológicos e metabólicos, não se encontraram trabalhos semelhantes para discussão dos resultados obtidos. Porém, na sua grande maioria essas variáveis estão compreendidas nas faixas reportadas como normais para sistemas produtivos de alta densidade do híbrido *O. niloticus* x *O. mossambicus* x *O. aureus* (Hrubec et al., 2000). Esses autores também reportaram valores de química plasmática normais para tilápias de 240g criadas em sistemas de baixa densidade (biomassas de 4g/L) tais como, proteína plasmática de 2,3 a 3,6 g/dL, fosfatase alcalina de 16 a 38 u/L e fósforo plasmático de 3,5 a 7,2 mg/dL. O valor total de proteína plasmática determinado nesta pesquisa para os peixes da Fase de Engorda (Experimento – II) se apresentou dentro da faixa normal da espécie, com exceção dos peixes submetidos ao tratamento T4 (0,88% P_{disp}), que foi de 2,03 g/dL. A atividade da fosfatase alcalina das tilápias da Fase de Engorda, para todos os tratamentos, foi inferior ao intervalo da faixa normal da tilápia híbrida. Os níveis de fósforo plasmático das tilápias dessa mesma faixa etária foram sensivelmente superiores dos reportados como normais para tilápia híbrida cultivada a baixa densidade.

Os níveis exigidos de P_{disp} para máxima mineralização das vertebrae determinados nestas pesquisas (Tabelas 4, 6 e 8) foram em média 49, 44 e 54% superiores das exigências para máximo desempenho produtivo. Essa tendência de maior exigência para máxima mineralização óssea em tilápia do Nilo, também tem sido destacada por Watanabe et al. (1980), Robinson et al. (1987) e Pezzato et al. (2006) entre outros. Porém, salientando que a finalidade principal dos sistemas de criação é maximizar as taxas de rendimento produtivo, os valores exigidos para crescimento podem ser utilizados com segurança na formulação de alimentos para tilápia do Nilo.

Os resultados da presente pesquisa, mesmo com diferenças nas condições experimentais, especialmente da Fase de Crescimento (Experimento – I) (aquários de menor capacidade e temperatura levemente superior) e a justaposição dos intervalos de peso contemplados, permitem inferir que as exigências nutricionais de fósforo digestível para tilápia do Nilo são altas na fase de estruturação corporal, aproximadamente de 0,77% P_{disp} para animais entre 15 a 40g, diminuem progressivamente a valores de 0,53% e 0,5% na fase de crescimento exponencial, para animais entre 40-126g (Fase de Crescimento) e 126-250g (Fase de Engorda) e de 0,45% P_{disp} para animais adultos entre 250-350g (Fase de Acabamento - Experimento – III).

Dessa forma, utilizando uma estratégia de alimentação por fases no ciclo produtivo da tilápia do Nilo, pode-se reduzir a quantidade de P_{disp} nas rações em 45% na etapa de crescimento exponencial e em 71% na fase de engorda, com relação ao teor de 0,77% P_{disp} exigido na etapa de estruturação corporal.

Conclusões

A deficiente suplementação do fósforo nas rações para tilápia do Nilo causa letargia, redução do apetite, baixa taxa de crescimento, coloração escura, foto sensibilidade, agressividade, deficiente mineralização dos ossos, altos teores de lipídeos no filé e no fígado e, em alguns casos, deformações e presença de nódulos nas espinhas dorsais das vértebras;

As exigências nutricionais de fósforo digestível para tilápia do Nilo são específicas por fase de produção, sendo mais altas nas etapas iniciais de vida do animal e diminuem progressivamente ao longo do ciclo produtivo;

As exigências nutricionais de fósforo disponível para máxima mineralização óssea são mais altas do que as exigências para ótimo desempenho produtivo, e apresentam menor variabilidade entre as fases produtivas;

Os critérios de avaliação do estado nutricional dos peixes baseados nas exigências para desempenho produtivo são mais sensíveis e responsivos nos ensaios de dose-resposta do que as variáveis fisiológicas e metabólicas.

Literatura Citada

- AOAC - ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS. Official methods of analysis of AOAC International. 17th ed. AOAC International. Ed. Maryland, USA. 2000, 2200p.
- ASGARD, T. & SHEARER, K.D. Dietary phosphorus requirement of juvenile Atlantic salmon. *Aquaculture Nutrition*, v.3, p.17-23, 1997.
- BARBOSA RIBEIRO, F; TEIXEIRA LANNA, E.A; DELMONDES BOMFIM, M.A; JUAREZ LOPES, D; SARAIVA DE FREITAS, A; DE SOUSA, M.P; QUADROS, M. Níveis de fósforo total em dietas para alevinos de tilápia do Nilo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.35, n.4, p.1588-1593, 2006.
- BOSCOLO, W.R.; FEIDEN, A.; REIDEL, A.; BROLL, F.; HOLDEFER, A.M.; DOS SANTOS, R.V.; MARANHÃO, T.C.F. Exigência de fósforo da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) na fase de crescimento. *Varia Scientia*, Cascavel, v.3, n.1, p.115-124, 2003.
- BOSCOLO, W.G; FEIDEN, A; BOMBARDELLI, R.A; SIGNOR, A; GENTELINI, A.L; DE SOUZA, B.E. Exigência de fósforo para alevinos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Acta Scientiarum Animal Sciences*, v. 27, n.1, p. 87-91, 2005
- BOYD, C.E.; TUCKER, C.S. Pond aquaculture quality management. Kluwer Academic Publishers, Norwell, Massachusetts, USA, 1998, 685p.
- COOKBOOH SHIMADZU – Operation manual: Atomic absorption spectrophotometer, AA 6800, 2002. 157p.
- HAYLOR, G.S.; BEVERIGDE, M.C.M.; JAUNCEY, K. Phosphorus nutrition of juvenile *Oreochromis niloticus*. In: THE SECOND INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TILAPIA IN AQUACULTURE, 1998, Manila. Proceedings... Manila: Department of Fisheries, 1988. p.341-345.
- HRUBEC, T.C.; CARDINALE, J.L.; SMITH, S.A. Hematology and plasma chemistry reference intervals for cultured tilapia (*Oreochromis Hybrid*), *Veterinary Clinical*, v.29, n.1, p.7-12, 2000.
- JAIN, N.C. Schalm's veterinary haematology. 4.ed. Philadelphia: Lea e Febiger, 1986. 1221p.
- LALL, S.P. The Minerals. In: Halver, J.E. & Hardy, R.W. Fish Nutrition, Third Edition, Elsevier Science (USA), p. 259-308, 2002. 443p.

- LIM, C.; WEBSTER, C.D. Tilapia: Biology, Culture and Nutrition. Haworth Press, New York. 2006, 705p.
- MARKZENK, Z. Spectrophotometric determination of elements. Chichester, Ellis Horwood, p.211-215, 1976.
- MIRANDA, E.C.; PEZZATO, A.C; PEZZATO, L.E; GRANER, C.F; ROSA, G.J; QUINTERO-PINTO, L.G. Relação Cálcio/Fósforo disponível em rações para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Revista Brasileira de Zootecnia, v.29, n.6, p.2162-2171, 2000.
- MUSTIN, W.G. & LOVELL, R.T. Na-L-Ascorbyl-2 monophosphate as a source of vitamin C for Channel catfish. Aquaculture, v.105, p.95-100, 1992.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. Nutrient requirements of fish. The National Academy of Sciences, Washington (DC), 1993, 114p.
- PEZZATO, L.E; SANTA ROSA, M.J; BARROS, M.M; GOMES, I. Exigência em fósforo disponível para alevinos de tilápia do Nilo. Ciência Rural, Santa Maria, v.36, n.5, p.1600- 1605, 2006.
- ROBINSON, E.H.; LABOMASCUS, D.; BROWN, P.B.; LINTON, T.L. Dietary calcium and phosphorus requirements of *Oreochromis aureus* reared in calcium-free water. Aquaculture, v.64, p.267–276, 1987.
- SUGIURA, S.H.; DONG, F.M.; HARDY, R.W. A new approach to estimating the minimum dietary requirement of phosphorus based on non-fecal excretions of phosphorus and nitrogen. Journal of Nutrition, v.130, p.865-872, 2000.
- SUGIURA, S.H.; HARDY, R.W.; ROBERTS, J.R. The pathology of phosphorus deficiency in fish – a review. Journal of Fish Diseases, v.27, p.255-265, 2004.
- SAEG Sistema para Análises Estatísticas, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes - UFV - Viçosa, 2007.
- VIOLA, S.; ZOHAR, G.; ARIELI, Y. Phosphorus requirements and its availability from different sources for intensive pond culture species in Israel. Part 1. Tilapia. Bamidgeh v.38, p.3-12, 1986.
- WATANABE, T.; TAKEUCHI, T.; MURAKAMI, A.; OGINO, C. The availability to Tilapia nilotica of phosphorus in white fish meal. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, v.46, p.897–899, 1980.
- WATANABE, T.; SATOH, S; TAKEUCHI, T. Availability of minerals in fish meal to fish. Asian Fisheries Science, v.1, p.175-195, 1988.

Tabela 1. Composição percentual das dietas experimentais (base na matéria natural)

Ingrediente (%)	Fase de Crescimento					Fase de Engorda					Fase de Acabamento				
	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5
Farelo de soja	28,47	28,80	29,21	29,25	29,78	30,88	31,12	31,45	31,78	32,12	25,66	25,88	26,13	26,43	26,76
Gluten de milho	21,14	21,25	21,36	21,59	21,89	16,88	16,59	16,33	16,13	16,01	15,31	15,13	14,94	14,75	14,56
Farelo de algodão	2,94	2,45	1,96	1,47	0,00	1,95	1,95	1,96	1,96	1,96	4,89	4,89	4,90	4,90	4,90
Farinha de peixe	2,92	2,92	2,92	2,93	2,93	2,91	2,91	2,91	2,92	2,92	2,91	2,91	2,92	2,92	2,92
Farelo de trigo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,65	4,66	4,66	4,67	4,67	5,07	5,07	5,07	5,08	5,08
Farinha de mandioca	5,10	5,10	5,10	5,11	5,11	5,08	5,08	5,09	5,09	5,1	5,08	5,09	5,09	5,10	5,10
Quirera de arroz	23,65	23,89	24,25	24,93	27,35	20,22	20,25	20,26	20,28	20,30	22,28	22,3	22,31	22,33	22,35
Amido de milho	6,91	6,04	4,86	3,59	1,12	10,45	9,83	9,05	8,23	7,13	11,57	10,83	10,07	9,27	8,44
Celulose	2,14	2,14	2,19	2,33	2,33	2,13	2,14	2,14	2,14	2,14	2,32	2,32	2,33	2,33	2,33
Óleo de peixe	0,84	0,96	1,12	1,23	1,34	0,00	0,09	0,22	0,34	0,54	0,03	0,15	0,27	0,38	0,50
Óleo de Soja	0,84	0,95	1,11	1,22	1,34	0,00	0,09	0,22	0,34	0,54	0,03	0,15	0,27	0,38	0,49
L- Lisina HCl	0,64	0,64	0,63	0,64	0,65	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
DL-Metionina	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32
L- Triptofano	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
L-Treonina	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
BHT ¹	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Suplem. vit/min ²	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
Sal	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
Vit. C (35%)	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
Calcário	3,03	2,29	1,55	0,81	0,07	3,02	2,28	1,55	0,81	0,07	3,02	2,29	1,55	0,81	0,07
Fosfical	0,11	1,27	2,44	3,61	4,77	0,11	1,27	2,43	3,59	4,76	0,11	1,27	2,43	3,60	4,76
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

¹ BHT = Butil hidroxi tolueno;² Suplemento vitamínico mineral: níveis de garantia por kg do produto: Vit. A=1200.000 UI; vit. D3=200.000 UI; vit. E=12.000 mg; vit. K3=2.400 mg; vit. B1=4.800 mg; vit. B2=4.800 mg; vit. B6=4.000 mg; vit. B12=4.800 mg; vit. ácido fólico=1.200 mg; pantotenato de Ca=12.000 mg; biotina=48 mg; colina=65.000 mg; niacina=24.000 mg; ferro=10.000 mg; cobre=600 mg; manganês=4.000 mg; zinco=6.000 mg; iodo=20 mg; cobalto=2 mg e selênio=20 mg.

Tabela 2. Densidade energética e níveis de nutrientes das dietas experimentais (base na matéria natural)

Nutriente ¹	Fase de Crescimento					Fase de Engorda					Fase de Acabamento				
	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5
MS (%)	89,48	89,55	89,60	89,73	89,77	89,18	89,20	89,29	89,36	89,47	89,22	89,31	89,39	89,47	89,55
PB (%)	32,14	32,13	32,12	32,14	32,10	30,43	30,32	30,29	30,29	30,34	28,62	28,58	28,56	28,56	28,57
EB (kcal/kg)	4062	4059	4057	4044	4035	3909	3896	3891	3885	3892	3889	3884	3878	3872	3866
ED (kcal/kg)	3129	3131	3136	3134	3137	3111	3106	3109	3111	3129	3108	3111	3113	3116	3118
FB (%)	4,68	4,63	4,63	4,58	4,53	5,05	5,06	5,08	5,09	5,10	5,41	5,42	5,43	5,44	5,46
EE (%)	3,44	3,70	4,06	4,30	4,58	1,63	1,83	2,10	2,36	2,81	1,65	1,91	2,17	2,42	2,67
Amido (%)	33,24	32,70	31,99	31,40	31,11	35,01	34,44	33,76	33,05	32,12	36,76	36,11	35,45	34,76	34,04
Cálcio (%)	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60	1,61	1,61	1,61	1,61	1,62	1,60	1,60	1,60	1,60	1,61
P total (%)	0,46	0,71	0,95	1,20	1,44	0,48	0,73	0,98	1,24	1,49	0,48	0,73	0,98	1,24	1,49
P fítico (%)	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
P inorgânico (%)	0,20	0,45	0,70	0,94	1,19	0,20	0,45	0,70	0,95	1,20	0,21	0,46	0,71	0,96	1,21
P disp (%)	0,16	0,39	0,63	0,86	1,09	0,17	0,41	0,65	0,88	1,12	0,19	0,42	0,66	0,90	1,14
Sódio (%)	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
MM (%)	6,67	6,96	7,25	7,53	7,79	6,85	7,15	7,46	7,78	8,09	6,74	7,05	7,36	7,67	7,98
Lis (%)	1,69	1,69	1,69	1,69	1,69	1,61	1,61	1,62	1,62	1,63	1,50	1,50	1,50	1,51	1,52
Met (%)	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,82	0,81	0,81	0,81	0,81
AAS (%)	1,36	1,36	1,36	1,36	1,35	1,30	1,29	1,29	1,29	1,29	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22
Tre (%)	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09
Tri (%)	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,28	0,28	0,28	0,29	0,29
Vit C (%)	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07

¹ Os valores de MS= matéria seca, PB= proteína bruta, EB= energia bruta, EE= extrato etéreo, Ca= cálcio, P total= fósforo total e MM= matéria mineral foram analisados. Os valores de ED= energia digestível e P disp= fósforo disponível foram calculados a partir dos coeficientes estabelecidos em pesquisas prévias. P fítico e P inorgânicos foram calculados a partir dos valores publicados por FEDNA (2005). Os demais nutrientes foram calculados a partir de valores tabelados em Rostagno et al. (2005).

Tabela 3. Desempenho produtivo da tilápia do Nilo com níveis crescentes de fósforo disponível na ração. Fase de crescimento (Experimento - I)

Variável	Nível de Fósforo disponível (% P _{disp}) na ração				CV	Análise de Regressão Linear Response Plateau	
	0,16	0,39	0,63	0,86		R ²	(Interseção; Plateau)
Peso inicial (g)	15,79	16,07	15,88	16,09	15,88		
Desempenho produtivo (30d)							
Peso final (g)	30,35 d	34,93 cd	38,70 bc	44,33 a	41,93 ab	8,03	98,93 * (0,76; 41,93)
Ganho de peso (g)	14,57 d	18,86 cd	22,82 bc	28,24 a	26,04 ab	13,51	99,18 * (0,77; 26,04)
Taxa crescimento específico	2,17 d	2,58 c	2,97 b	3,36 a	3,23 ab	8,23	99,95 * (0,78; 3,23)
Conversão alimentar	1,47 c	1,36 bc	1,23 ab	1,15 a	1,19 a	7,30	98,98 * (0,75; 1,19)
Exigência de P _{disp} para máximo desempenho (30 dias)							
Desempenho produtivo (60d)							
Peso final (g)	74,49 d	93,81 c	126,18 a	120,10 a	108,23 b	8,03	96,52 * (0,54; 114,16)
Ganho de peso (g)	58,62 d	77,83 c	110,28 a	104,03 a	92,00 b	13,51	96,40 * (0,54; 98,01)
Taxa crescimento específico	2,34 d	2,67 c	3,13 a	3,04 ab	2,91 b	8,23	98,13 * (0,55; 2,98)
Conversão alimentar	1,43 c	1,27bc	1,03 a	1,08 b	1,24 bc	7,30	97,89 * (0,49; 1,16)
Exigência de P _{disp} para máximo desempenho (60 dias)							
Cada valor representa a média de seis repetições. CV= coeficiente de variação. Valores na mesma linha com letras diferentes são estatisticamente diferentes através do teste de Duncan (p < 0,05). * = variável significante (p < 0,05) através do LRP.							
						0,53	

Tabela 4. Parâmetros fisiológicos e metabólicos da tilápia do Nilo com níveis crescentes de fósforo disponível na ração. Fase de Engorda (Experimento - II)

Variável	Nível de Fósforo disponível (% P _{disp}) na ração				CV	Análise de Regressão Linear Response Plateau	
	0,16	0,39	0,63	0,86		1,09	R ²
Peso inicial (g)	15,79	16,07	15,88	16,09	15,88		
Hematológicas e química plasmática							
Eritrócitos (células*10 ⁹ /uL)	2,27	2,27	2,12	2,13	2,11	10,72	76,06 * (0,42; 2,21)
Leucócitos (células*10 ³ /uL)	86,80	45,60	66,00	47,00	86,60	50,61	- NS
Hematócrito (%)	25,90	28,80	28,60	28,20	26,10	9,69	- NS
Proteína plasmática (g/dL)	3,18 a	2,89 ab	2,87 ab	2,82 ab	2,54 b	13,01	87,56 NS
Hemoglobina (g/dL)	7,11	7,32	7,65	7,69	7,19	10,17	- NS
Fosforo plasmático (mg/dL)	22,55 b	32,96 a	36,78 a	34,61 a	21,06 b	21,88	NS
Fosfatase alcalina (U/L)	11,40	10,60	10,40	10,80	10,40	19,35	78,24 * (0,41; 10,53)
Exigência de P _{disp} para equilíbrio orgânico							
Composição fígado							
Umidade (%)	50,65 d	49,78 d	53,12 c	54,52 b	56,14 a	1,97	- NS
Proteína bruta (%)	31,77	31,76	31,52	31,51	31,43	6,36	- NS
Extrato etéreo (%)	16,13 a	16,85 a	13,86 b	11,75 c	10,98 c	9,36	- NS
Fósforo (%)	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	21,64	- NS
Composição filé							
Umidade (%)	75,18	75,07	74,18	74,69	75,10	1,28	- NS
Proteína bruta (%)	20,49	20,59	21,42	21,29	20,68	2,55	- NS
Extrato etéreo (%)	1,57	1,46	1,46	1,42	1,34	40,41	- NS
Fósforo (%)	0,24 b	0,25 b	0,27 a	0,28 a	0,27 a	5,11	- NS
Mineralização vértebras							
Materia mineral (%)	41,23 d	45,41 c	48,98 b	53,27 a	52,56 a	4,55	99,74 ** (0,83; 52,56)
Fósforo (%)	9,03 c	9,95 b	11,34 a	11,74 a	11,91 a	4,85	97,82 * (0,74; 11,83)
Cálcio (%)	30,06 b	31,88 b	36,68 a	36,22 a	36,14 a	7,81	- NS
Magnésio (%)	0,51 d	0,58 c	0,67 b	0,73 ab	0,75 a	8,14	- NS
Exigência de P _{disp} para máxima mineralização dos ossos							
							0,79

Cada valor representa a média de seis repetições. CV= coeficiente de variação. Valores na mesma linha com letras diferentes são estatisticamente diferentes através do teste de Duncan (p < 0,05). *, ** = variável significante (p < 0,05) ou altamente significante (p < 0,01) através do LRP. NS = não significante.

Tabela 5. Desempenho produtivo da tilápia do Nilo com níveis crescentes de fósforo disponível na ração. Fase de Engorda (Experimento - II)

Variável	Nível de Fósforo disponível (% P _{disp}) na ração				CV	Análise de Regressão Linear Response Plateau (Interseção; Plateau)
	0,17	0,41	0,65	0,88		
Peso inicial	38,54	38,39	38,76	38,60	38,46	
Desempenho produtivo						
Peso final (g)	163,51 b	220,26 ab	252,82 a	243,88 ab	239,89 ab	16,96
Ganho de peso (g)	124,96 b	181,87 ab	214,06 a	205,28 ab	201,44 ab	20,25
Taxa crescimento específico	2,40 b	2,89 ab	3,10 a	3,05 a	3,08 a	9,70
Conversão alimentar	1,41 b	1,17 ab	1,12 a	1,09 a	1,13 a	13,31
Exigência de P _{disp} para máximo desempenho						0,50

Cada valor representa a média de quatro repetições. CV= coeficiente de variação. Valores na mesma linha com letras diferentes são estatisticamente diferentes através do teste de Duncan ($p < 0,05$). * = variável significante através do LRP.

Tabela 6. Parâmetros fisiológicos e metabólicos da tilápia do Nilo com níveis crescentes de fósforo disponível na ração. Fase de Engorda (Pesquisa - II)

Variável	Nível de Fósforo disponível (% P _{disp}) na ração				CV	Análise de Regressão Linear Response Plateau	
	0,17	0,41	0,65	1,12		R ²	(Interseção; Plateau)
Peso inicial	38,54	38,39	38,76	38,60	38,46		
Hematológicas e química plasmática							
Eritrócitos (células*10 ⁶ /uL)	2,21 a	2,15 a	2,11 a	2,01 a	1,76 b	10,88	- NS
Leucócitos (células/uL)	59,40	55,00	35,50	80,60	56,20	54,84	- NS
Hematócrito (%)	27,80 b	30,60 a	30,20 a	28,50 ab	26,50 b	7,95	- NS
Proteína plasmática (g/dL)	3,17 ab	3,42 a	3,04 b	2,03 b	2,86 b	10,45	- NS
Hemoglobina (g/dL)	7,58	7,93	7,91	7,85	6,96	9,17	- NS
Fósforo plasmático (mg/dL)	23,47	29,23	29,84	28,88	24,37	22,13	- NS
Fosfatase alcalina (U/L)	11,00 a	7,60 c	8,60 bc	9,40 b	8,00 c	12,20	55,12 * (0,33; 8,67)
Exigência de P_{disp} para equilíbrio orgânico							
Composição fígado							
Umidade (%)	43,86 c	46,95 bc	48,99 b	57,01 a	60,11 a	5,62	- NS
Proteína bruta (%)	29,16	29,16	29,82	28,91	27,19	5,15	- NS
Extrato etéreo (%)	26,6 a	23,56 bc	20,62 c	13,72 d	12,30 d	12,56	- NS
Fósforo (%)	0,07 c	0,08 b	0,11 a	0,06 c	0,07 c	13,45	- NS
Composição filé							
Umidade (%)	74,47 c	74,55 c	75,52 b	75,91 bc	76,68 a	0,79	- NS
Proteína bruta (%)	20,42	20,76	20,45	20,75	19,99	1,48	- NS
Extrato etéreo (%)	1,53 ab	2,13 a	1,45 b	1,29 ab	0,84 c	3,47	- NS
Fósforo (%)	0,25	0,25	0,26	0,28	0,30	18,71	- NS
Mineralização vértebras							
Matéria mineral (%)	43,28 b	46,71 b	51,18 a	52,56 a	52,61 a	5,96	98,85 * (0,75; 52,59)
Fósforo (%)	9,29 c	10,03 bc	10,93 ab	11,36 a	11,49 a	8,09	99,37 * (0,80; 11,43)
Calcio (%)	24,66 b	25,59 b	31,58 a	30,43 a	30,69 a	9,18	- NS
Magnésio (%)	0,49 c	0,58 b	0,63 ab	0,68 a	0,68 a	10,88	- NS
Exigência de P_{disp} para máxima mineralização dos ossos							
							0,78

Cada valor representa a média de seis repetições. CV= coeficiente de variação. Valores na mesma linha com letras diferentes são estatisticamente diferentes através do teste de Duncan (p < 0,05). *, ** = variável significativa (p < 0,05) ou altamente significativa (p < 0,01) através do LRP. NS= na significante.

Tabela 7. Desempenho produtivo da tilápia do Nilo com níveis crescentes de fósforo disponível na ração. Fase de Acabamento (Experimento - III)

Variável	Nível de Fósforo disponível (% P _{disp}) na ração				CV	Análise de Regressão Linear Response Plateau
	0,19	0,42	0,66	0,90		
Peso inicial	154,75	156,35	154,80	156,15	157,45	
Desempenho produtivo						
Peso final (g)	264,59 b	295,38 ab	350,96 a	319,02 ab	318,01 ab	94,99 * (0,46; 318,52)
Ganho de peso (g)	109,84 b	139,03 ab	196,16 a	162,87 ab	160,56 ab	99,12 * (0,46; 161,72)
Taxa crescimento específico	0,89 c	1,04 ab	1,36 a	1,19 ab	1,17 abc	97,02 * (0,46; 1,18)
Conversão alimentar	1,83 b	1,57 ab	1,26 a	1,32 a	1,31 a	95,32 * (0,41; 1,29)
Exigência de P _{disp} para máximo desempenho						0,45

Cada valor representa a média de quatro repetições. CV = coeficiente de variação. Valores na mesma linha com letras diferentes são estatisticamente diferentes através do teste de Duncan ($p < 0,05$). LRP* = variável significante através do LRP.

Tabela 8. Parâmetros fisiológicos e metabólicos da tilápia do Nilo com níveis crescentes de fósforo disponível na ração. Fase de Acabamento (Pesquisa - III)

Variável	Nível de Fósforo disponível (% P _{diisp}) na ração				CV	Análise de Regressão Linear Response Plateau	
	0,19	0,42	0,66	0,90		1,14	157,45
Peso inicial	154,75	156,35	154,80	156,15	157,45		
Hematológicas e química plasmática							
Eritrócitos (células*10 ⁶ /uL)	2,09	2,20	1,90	2,08	1,90	12,97	- NS
Leucócitos (células/uL)	107,50	30,50	62,13	84,60	63,60	61,83	- NS
Hematócrito (%)	27,88	28,50	28,00	28,60	26,50	9,63	- NS
Proteína plasmática (g/dL)	3,04	3,30	3,68	3,31	3,08	13,21	98,19 * (0,32; 3,20)
Hemoglobina (g/dL)	6,82	7,75	7,62	7,70	6,98	11,43	- NS
Fósforo plasmático (mg/dL)	15,55	22,93	19,78	17,45	19,17	24,09	80,20 * (0,29; 18,80)
Fosfatase alcalina (U/L)	9,20	8,60	9,60	10,40	10,80	21,48	- NS
Exigência média de P_{diisp} para equilíbrio orgânico							
Composição fígado							
Umidade (%)	46,91 b	46,86 b	48,32 b	57,98 a	59,25 a	2,27	- NS
Proteína bruta (%)	27,50	28,18	27,73	27,09	27,35	2,30	- NS
Extrato etéreo (%)	24,21 a	23,71 ab	22,30 b	13,24 c	12,05 c	7,62	- NS
Fósforo (%)	0,08	0,06	0,06	0,06	0,07	39,95	- NS
Composição filé							
Umidade (%)	74,55	73,25	73,77	73,98	73,71	0,99	- NS
Proteína bruta (%)	22,30	22,76	22,51	22,66	22,60	3,38	- NS
Extrato etéreo (%)	0,43	1,05	0,94	0,77	0,54	51,90	- NS
Fósforo (%)	0,24 b	0,27 a	0,27 a	0,28 a	0,29 a	7,36	- NS
Mineralização vertebras							
Matéria mineral (%)	45,72 b	47,06 b	49,22 a	49,25 a	50,11 a	4,29	98,88 * (0,71; 49,68)
Fósforo (%)	10,83 b	11,12 b	11,42 ab	11,57 ab	12,21 a	5,25	- NS
Cálcio (%)	31,87	32,22	32,93	33,37	34,02	5,50	- NS
Magnésio (%)	0,55	0,55	0,55	0,56	0,62	6,58	- NS
Exigência de P_{diisp} para máxima mineralização dos ossos							
							0,71

Cada valor representa a média de seis repetições. CV= coeficiente de variação. Valores na mesma linha com letras diferentes são estatisticamente diferentes através do teste de Duncan ($p < 0,05$). *, ** = variável significante ($p < 0,05$) ou altamente significante ($p < 0,01$) através do LRP. NS= na significante.

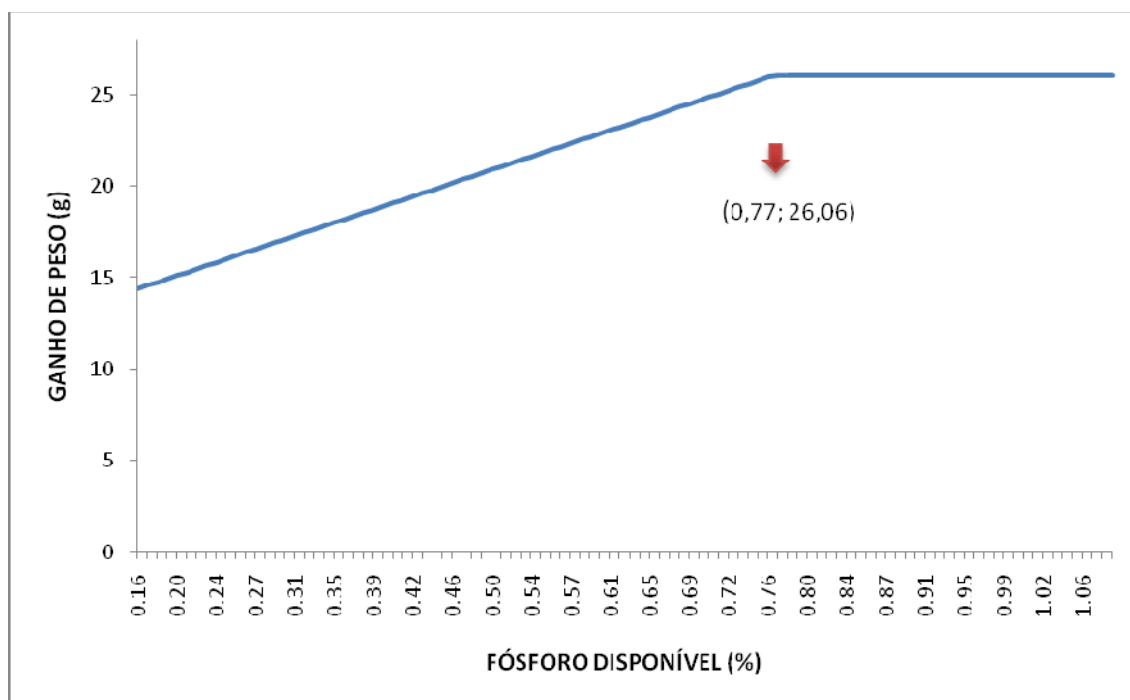


Figura 1. Efeito do fósforo disponível no ganho de peso da tilápia do Nilo, peso inicial de 14,99g após 30 dias de experimentação (Fase de Crescimento).

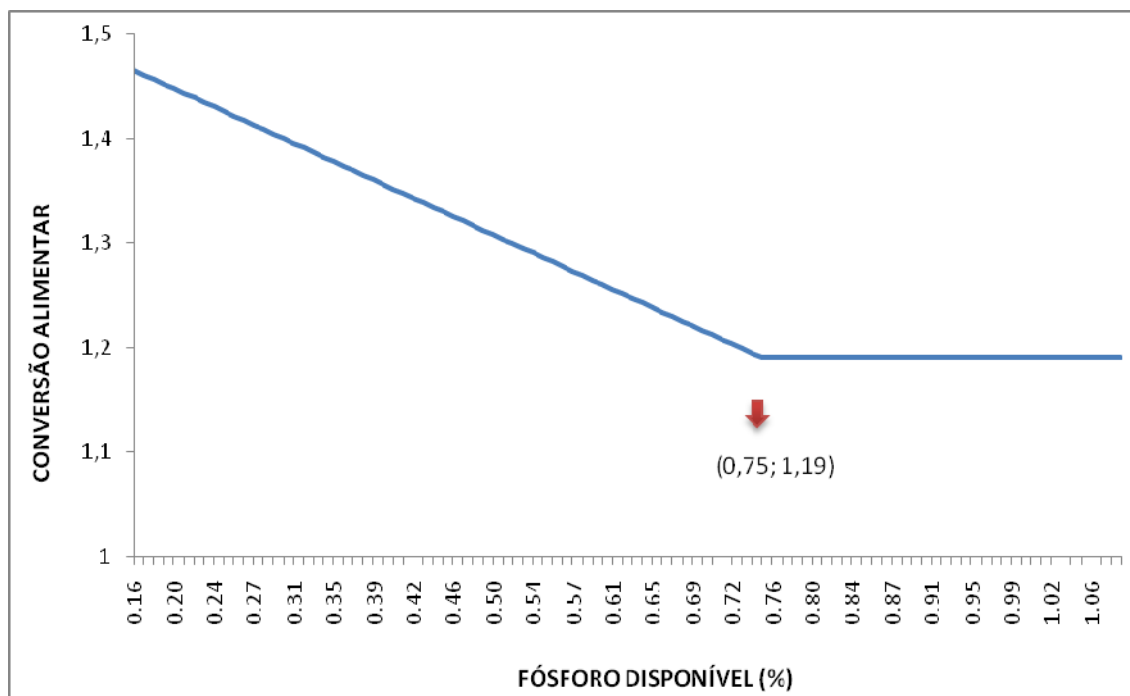


Figura 2. Efeito do nível de fósforo disponível na conversão alimentar da tilápia do Nilo, peso inicial de 14,99g após 30 dias de experimentação (Fase de Crescimento).

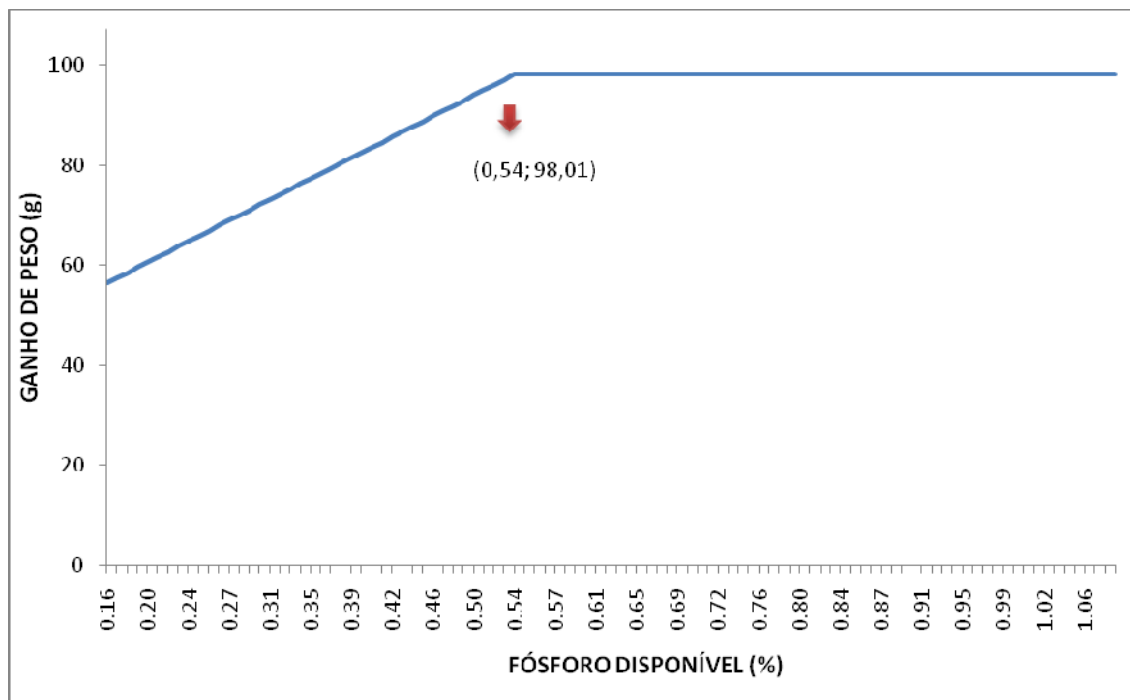


Figura 3. Efeito do fósforo disponível no ganho de peso da tilápia do Nilo, peso inicial de 14,99g após 60 dias de experimentação (Fase de Crescimento).

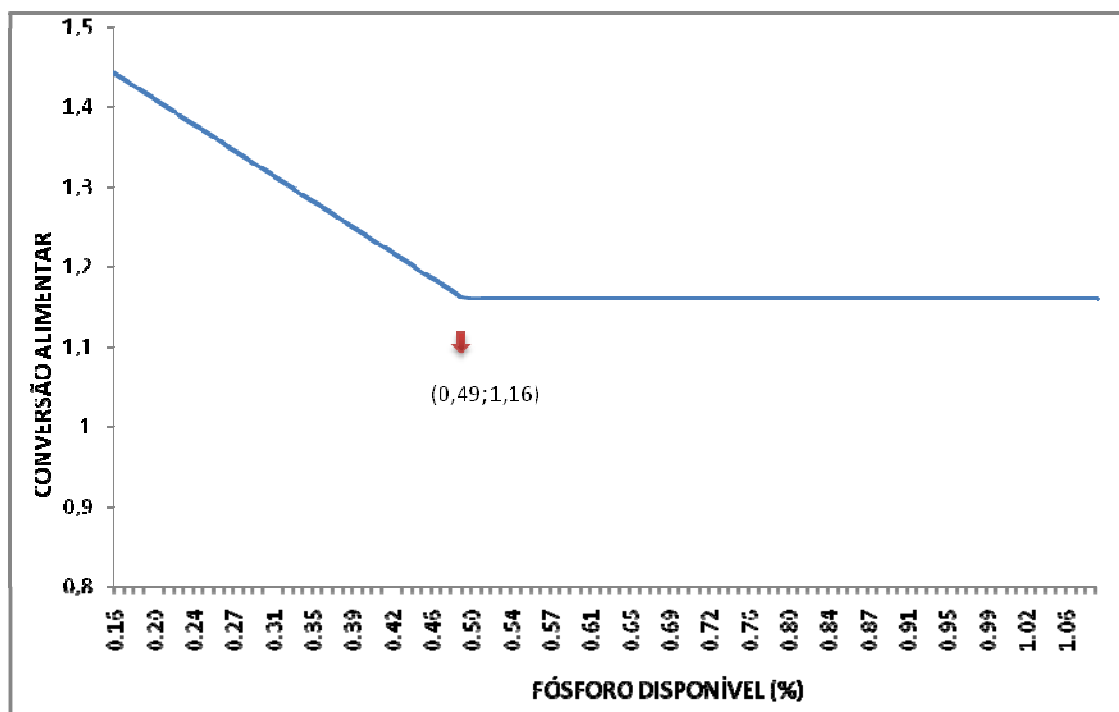


Figura 4. Efeito do nível de fósforo disponível na conversão alimentar da tilápia do Nilo, peso inicial de 14,99g após 60 dias de experimentação (Fase de Crescimento).

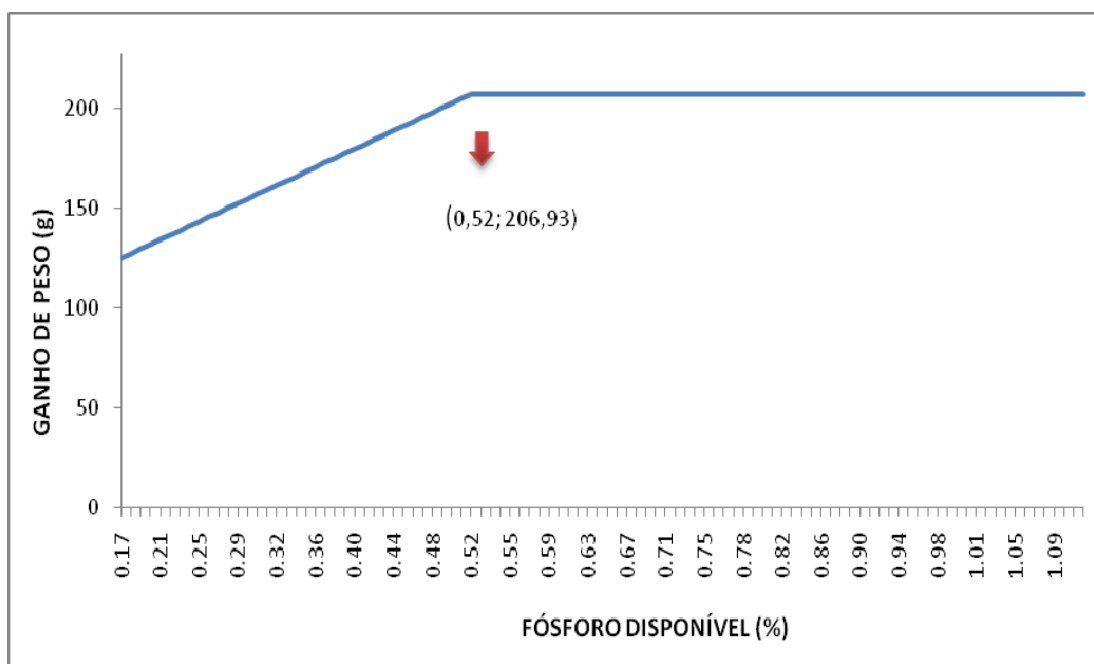


Figura 5. Efeito do fósforo disponível no ganho de peso da tilápia do Nilo, peso inicial de 38,55g após 60 dias de experimentação (Fase de Engorda).

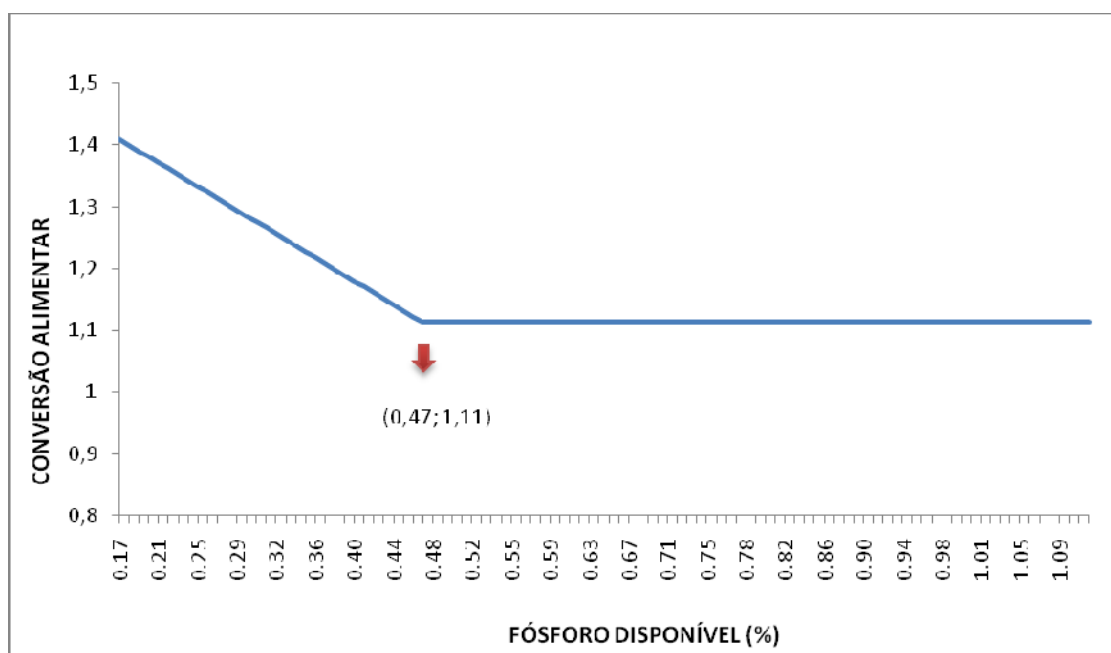


Figura 6. Efeito do nível de fósforo disponível na conversão alimentar da tilápia do Nilo, peso inicial de 38,55g após 60 dias de experimentação (Fase de Engorda).

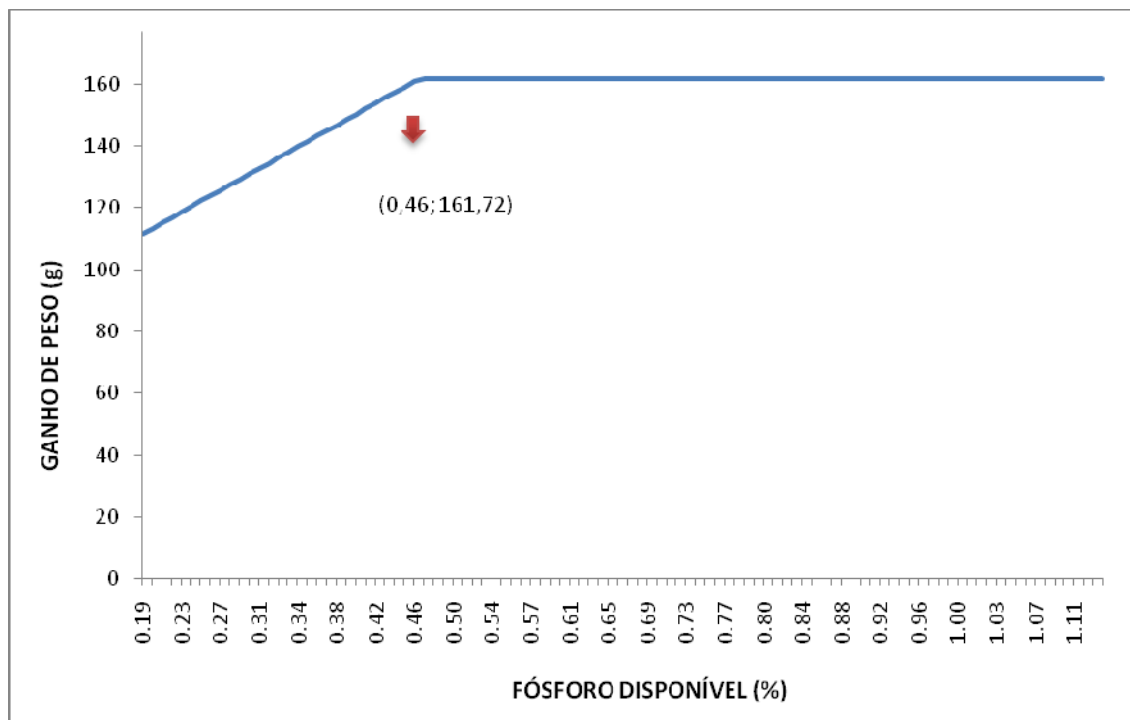


Figura 7. Efeito do fósforo disponível no ganho de peso da tilápia do Nilo, peso inicial de 155,90g após 60 dias de experimentação (Fase de Acabamento).

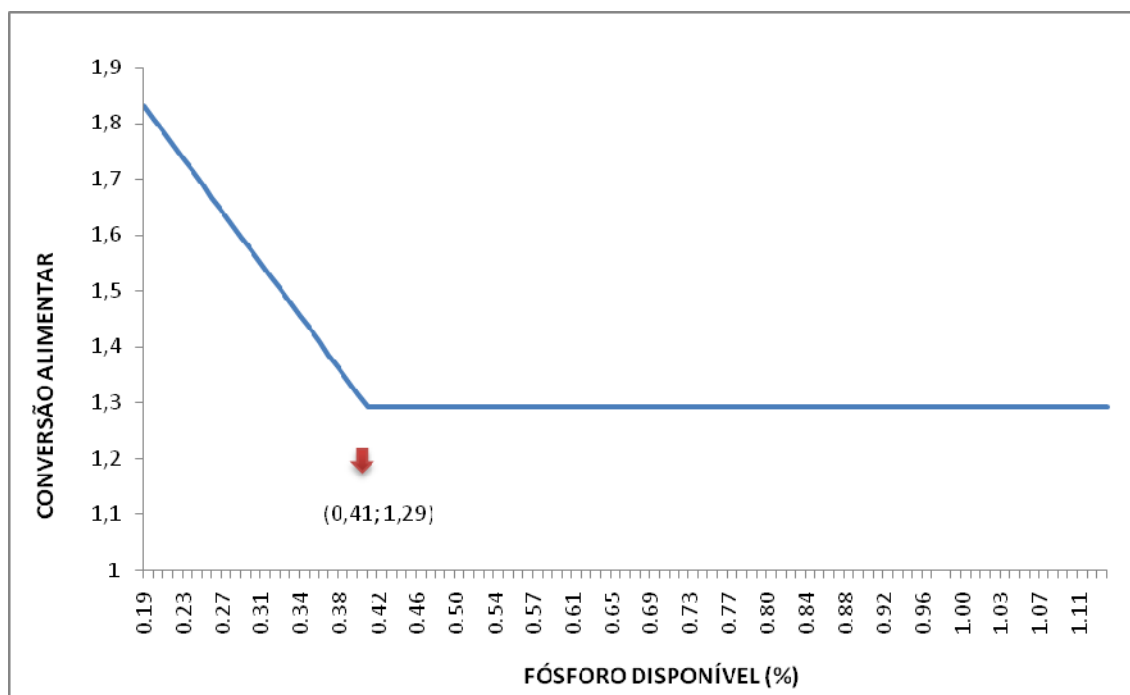


Figura 8. Efeito do nível de fósforo disponível na conversão alimentar da tilápia do Nilo, peso inicial de 155,90g após 60 dias de experimentação (Fase de Acabamento).

Capítulo - IV

Implicações

Implicações

Os resultados da presente pesquisa permitem as seguintes considerações finais:

Os peixes juvenis têm limitações para aproveitar algumas das fontes alimentares vegetais, pelo que estudos poderiam ser conduzidos para revelar as causas dessas limitações e possíveis conseqüências ao animal, quando do consumo prolongado;

Uma considerável proporção dos descartes de metabólitos da aquicultura para o ambiente pode ser diminuída com o fornecimento de alimentos que atendam estritamente as exigências nutricionais nas diferentes fases do ciclo produtivo, especialmente nas de engorda e acabamento;

Os teores de lipídeos totais nos filés são inversamente proporcionais aos teores de fósforo ministrados na ração, pelo qual estratégias de alimentação na fase de acabamento podem ser adotadas para obter produtos e derivados magros, de maior tempo de conservação e benéficos para a saúde humana.