

SUBMETIDO 30/01/2022

APROVADO 24/04/2022

PUBLICADO ON-LINE 06/05/2022

PUBLICADO 10/10/2023

EDITOR ASSOCIADO

Vinicius Longo Ribeiro Vilela

DOI: <http://dx.doi.org/10.18265/1517-0306a2021id6625>

ARTIGO ORIGINAL

Exigência dietética de fósforo na alimentação por fases da tilápia do Nilo

 Luis Gabriel Quintero-Pinto ^{[1]*}

 Luiz Edivaldo Pezzato ^[2]

 Blanca Stela Pardo-Gamboia ^[3]

 Pedro de Magalhães Padilha ^[4]

 Daniel de Magalhães Araujo ^[5]

[1] lgquinterop@unal.edu.co

Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia (UNAL), Colômbia

[2] luiz.pezzato@unesp.br

Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia de Botucatu, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Brasil

[3] blancastella8@hotmail.com

Gobernación de Cundinamarca, Colômbia

[4] pedro.padilha@unesp.br

Instituto de Biociências de Botucatu, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Brasil

[5] daniel.araujo@ifal.edu.br

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Alagoas (IFAL), Campus Satuba, Brasil

RESUMO: O fósforo possui diversas funções biológicas, estando relacionado desde a formação óssea até o fluxo de energia, assim como possui relação direta com as questões ambientais, já que nitrogênio e fósforo são os principais responsáveis pela eutrofização de efluentes da aquicultura. Dietas que atendam às exigências nutricionais para cada fase de vida dos peixes podem contribuir para a melhoria do desempenho zootécnico e para o meio ambiente. Os estudos foram realizados para determinar as exigências de fósforo disponível para tilápias do Nilo em três faixas de peso (Fase I: 16 g – 100 g; Fase II: 38 g – 250 g e Fase III: 155 g – 350 g). Para isto, rações isonutricionais foram formuladas com cinco níveis crescentes de fósforo disponível para cada ensaio independente. Os peixes foram criados em sistemas de recirculação (tanques com 90 L, 250 L e 250 L) com filtragem físico-biológica durante 60 dias para determinar desempenho zootécnico, parâmetros fisiológicos e mineralização corporal. As exigências nutricionais de fósforo disponível para os peixes de 16 g – 100 g, 38 g – 250 g e 155 g – 350 g foram: 0,76%; 0,50% e 0,45% para o máximo desempenho zootécnico; 0,42%; 0,33% e 0,31% para o equilíbrio orgânico e 0,78%; 0,77% e 0,71% para máxima mineralização óssea. Baixos níveis de fósforo nas rações resultaram em sinais de deficiência. Dietas contendo níveis adequados de fósforo para maximizar o crescimento dos peixes também permitem que eles mantenham os parâmetros metabólicos e fisiológicos em padrões de referência para peixes saudáveis. Recomenda-se a oferta de rações com 0,76%; 0,50% e 0,45% de fósforo disponível kg⁻¹ ração, respectivamente, para peixes de 16 g – 100 g; 38 g – 250 g e 155 g – 350 g.

Palavras-chave: deficiência de fósforo; fósforo disponível; nutrição de peixes; *Oreochromis niloticus*; tilápia GIFT.

Dietary phosphorus requirement in Nile tilapia phased feeding

ABSTRACT: Phosphorus has several biological functions, from bone formation to energy flow, as well as having a direct relationship with environmental issues,

*Autor para correspondência.

with nitrogen and phosphorus being the main responsible for the eutrophication of aquaculture effluents. Diets that attend the nutritional requirements for each fish life stage can contribute to improving zootechnical performance and for the environment. The studies were conducted to determine Nile tilapia, in three weight ranges (Phase I: 16 g – 100 g, Phase II: 38 g – 250 g and Phase III: 155 g – 350 g), requirements of dietary available phosphorus. For this, isonutrients diets were formulated with five increasing levels of available phosphorus for each independent test. The fish were kept in recirculation systems (tanks with 90 L, 250 L and 250 L), with physical and biological filtration, for 60 days to determine growth performance, physiological parameters and body mineralization. The nutritional requirements of available phosphorus for 16 g – 100 g, 38 g – 250 g and 155 g – 350 g fish were: 0.76%; 0.50% and 0.45% for the maximum growth performance; 0.42%; 0.33% and 0.31% for better organic balance and 0.78%; 0.77% and 0.71% for maximum bone mineralization. Diets containing adequate phosphorus level to maximizing fish growth also allow them to maintain metabolic and physiological parameters in reference patterns to healthy fish. Low levels of phosphorus in feed resulted in deficiency signs. It is recommended 0.76%; 0.50% and 0.45% available phosphorus kg⁻¹ feed, respectively, to the 16 g – 100 g; 38 g – 250 g and 155 g – 350 g Nile tilapia diets.

Keywords: available phosphorus; fish nutrition; GIFT tilapia; *Oreochromis niloticus*; phosphorus deficiency.

1 Introdução

O fósforo é o mineral mais importante para os peixes em crescimento, devido principalmente às necessidades para formação óssea e para o metabolismo dos carboidratos, lipídios e do nitrogênio. Também possui um importante papel na manutenção da homeostase e nas funções musculares e nervosas (LALL, 2002).

De todos os minerais considerados essenciais para os peixes, as exigências nutricionais de fósforo são as mais amplamente estudadas (PRABHU; SCHARAMA; KAUSHIK, 2013; QUINTERO-PINTO *et al.*, 2011). Para esses autores, ainda que exista uma quantidade significativa de dados disponíveis na literatura sobre a resposta dos peixes ao fósforo da dieta, e tenham sido determinadas as exigências desse mineral, com base em diversas variáveis utilizadas para mensuração das respostas, a comparação direta dos resultados, muitas vezes, é difícil devido às diferenças entre os estudos.

Em sua maioria, as exigências de fósforo para a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) têm sido determinadas utilizando alevinos ou peixes pequenos, quase sempre com pesos iniciais inferiores a 15 g. Como as exigências desse elemento variam não somente entre as espécies, mas também devido ao tamanho do peixe, disponibilidade nos ingredientes e com a quantidade ministrada do alimento (LALL, 2002; LIM; WEBSTER, 2006; QUINTERO-PINTO *et al.*, 2011), é necessário determinar as exigências de maneira mais específica para atendimento das necessidades imediatas dos animais.

Segundo Quintero-Pinto *et al.* (2011), a quantidade que tem sido recomendada de fósforo na ração para a tilápia do Nilo varia entre 0,8% (WATANABE; SATOH; TAKEUCHI, 1988) e 1,1% (RIBEIRO *et al.*, 2006) de fósforo total (*P_{tot}*) ou entre 0,46% (HAYLOR *et al.*, 1988) e 0,9% (WATANABE *et al.*, 1980) de fósforo

disponível (*Pdisp*). Essa grande variação nas exigências do mineral 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).

Entretanto, as avaliações devem atender todo o ciclo de produção envolvido, não apenas as idades iniciais, pois os peixes pequenos, durante a larvicultura e alevinagem, possuem taxas metabólicas superiores às dos peixes maiores na engorda. Igualmente, é difícil avaliar as respostas dos peixes durante a engorda, pois as taxas de crescimento são menores, tornando mais onerosa ou inviável a pesquisa, limitadas pela infraestrutura. 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 apresentarem maturidade sexual precoce.

Para os piscicultores, interessa maximizar os rendimentos econômicos com a utilização de dietas práticas, de mínimo custo, mas que atendam às exigências dos peixes pelos nutrientes essenciais, resultando em melhor desempenho zootécnico. Entretanto, os excessos e/ou pobre qualidade dos ingredientes aumentam as excreções de nutrientes, especialmente de fósforo, que impacta o ambiente, contribuindo com a eutrofização (BUENO *et al.*, 2016; LALL, 2002; OSTI *et al.*, 2018). Assim, os estudos sobre o fósforo refletem não apenas o conhecimento sobre a sua importância para o crescimento e desenvolvimento do esqueleto, mas também as implicações ambientais das descargas do mineral para o ambiente aquático (OBIRIKORANG *et al.*, 2020; OSTI *et al.*, 2018; PRABHU; SCHARAMA; KAUSHIK, 2013).

As maiores biomassas de peixes nas fases de engorda e acabamento resultam em aumento da eliminação de metabólitos para o meio ambiente. Na aquicultura comercial, isso tende a se tornar problemático, já que os peixes maiores consomem mais de 90% do total da ração ministrada em todo o ciclo de produção, eliminando grande proporção de fósforo no ambiente (BUENO *et al.*, 2016; OSTI *et al.*, 2018; PINTO *et al.*, 2017; SUGIURA; DONG; HARDY, 2000). Para promover o adequado desempenho, formação óssea e equilíbrio orgânico, mas minimizando as excreções desse nutriente para o ambiente, é necessário determinar as exigências nutricionais de fósforo para tilápias nas diferentes idades e fases de cultivo. Neste contexto, especial atenção deve ser dada aos animais na engorda, pela alta demanda alimentar nos sistemas produtivos.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do nível de fósforo na ração sobre o desempenho zootécnico, equilíbrio orgânico, composição e mineralização corporal de tilápias do Nilo em três diferentes pesos vivos.

As próximas seções deste artigo estão apresentadas da seguinte forma: na seção 2 consta a metodologia de pesquisa desenvolvida para determinar as exigências nutricionais de fósforo pelas tilápias do Nilo em três fases de desenvolvimento; na seção 3 estão contidos os resultados dos experimentos; na seção 4 são discutidos os resultados obtidos com a realização dos três experimentos; enquanto na seção 5 expõem-se as principais conclusões do artigo.

2 Métodos da pesquisa

A pesquisa foi realizada na Universidade Estadual Paulista (UNESP), no Laboratório de Nutrição de Organismos Aquáticos (AquaNutri) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia – Campus de Botucatu. O projeto foi submetido, sob Protocolo nº 11/2006, e aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais dessa Faculdade.

Foram conduzidos três experimentos independentes, em delineamentos inteiramente casualizados, cada um deles com duração de 60 dias, de forma a avaliar o efeito do nível de fósforo da ração sobre o desempenho zootécnico, o equilíbrio orgânico e a mineralização corporal da tilápia do Nilo, variedade GIFT, em função do peso vivo dos animais: Fase I (16 g – 100 g), Fase II (38 g – 250 g) e Fase III (155 g – 350 g). 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.

Tabela 1 ▼

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

Fonte: dados da pesquisa

Ingrediente (%)	Fase I – Peixes de 16 g – 100 g					Fase II – Peixes de 38 g – 250 g					Fase III – Peixes de 155 g – 350 g				
	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
Glúten 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	22,30	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
Vitamina 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 calcítico	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
Fosfato bicálcico	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

¹BHT = Butil hidroxi tolueno; ²Suplemento 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; ác. 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 ▼

Composição nutricional das dietas experimentais (base na matéria natural).

Fonte: dados da pesquisa

Nutriente ¹	Fase I – Peixes de 16 g – 100 g					Fase II – Peixes de 38 g – 250 g					Fase III – Peixes de 155 g – 350 g				
	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 fitico (%)	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
Lisina (%)	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
Metionina (%)	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
Treonina (%)	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
Triptofano (%)	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

¹Os 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 *Pdisp* = fósforo disponível foram calculados a partir dos coeficientes estabelecidos em pesquisas prévias. P fitico e P inorgânicos foram calculados a partir dos valores publicados por de Blas *et al.* (2019). Os demais nutrientes foram calculados a partir de valores publicados por Rostagno *et al.* (2005).

Os níveis de fósforo resultaram da formulação com níveis crescentes de fosfato bicálcico nas rações a partir do nível basal, em cada fase, substituindo pesos equivalentes de outros componentes da ração. As rações foram formuladas para cada peso dos peixes, de modo a se apresentarem isoproteicas, isocalóricas e isocalcíticas. Os níveis de fósforo disponível (*Pdisp*) foram calculados a partir de coeficientes de disponibilidade aparente (CDA), determinados em pesquisa prévia. Os peixes foram alimentados até saciedade aparente, quatro vezes ao dia, às 8, 11, 14 e 17 horas. A iluminação do local foi obtida por meio de lâmpadas fluorescentes mantendo o fotoperíodo das 6 horas às 18 horas.

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

Fase I – Peixes de 16 g – 100 g:

Utilizaram-se cinco rações práticas extrusadas com 32,0% de proteína bruta, 3.100 kcal de ED/kg, relação ED:PB de 97, contendo 0,46%; 0,71%; 0,95%; 1,20% e 1,44% de fósforo total, resultando em níveis de 0,16%; 0,39%; 0,63%; 0,86% e 1,09% de *Pdisp*, respectivamente. O tamanho do grânulo de 2 mm a 4 mm, quatro refeições por dia; peixes com peso inicial de 15,99 g ± 0,29 g, seis peixes por tanque de 90 L, seis repetições por tratamento; taxa de vazão de 1,5 L/min.

Fase II – Peixes de 38 g – 250 g:

Utilizaram-se cinco rações práticas extrusadas com 30,0% de proteína bruta, 3.100 kcal de ED/kg, relação ED:PB 103, contendo 0,48%; 0,73%; 0,98%; 1,24% e 1,49% de fósforo total, resultando em níveis de 0,17%; 0,41%; 0,65%; 0,88% e 1,12% de *Pdisp*, respectivamente. O tamanho do grânulo de 4 mm a 6 mm, quatro refeições por dia; peixes com peso inicial de 38,55 g ± 0,41 g, seis peixes por tanque de 250 L, quatro repetições por tratamento; taxa de vazão de 3,0 L/min.

Fase III – Peixes de 155 g – 350 g:

Utilizaram-se cinco rações práticas extrusadas com 28,0% de proteína bruta, 3.100 kcal de ED/kg, relação ED:PB 111, contendo 0,48%; 0,73%; 0,98%; 1,24% e 1,49% de fósforo total, resultando em níveis de 0,19%; 0,42%; 0,66%; 0,90% e 1,14% de *Pdisp*, respectivamente. O tamanho do grânulo de 6 mm a 8 mm, quatro refeições por dia; peixes com peso inicial de 155,90 g ± 2,13 g, cinco peixes por tanque de 250 L, quatro repetições por tratamento; taxa de vazão de 3,0 L/min.

Os tanques 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 (OD) e pH da água, utilizando-se termômetro, oxímetro e pHmetro digitais. Foram realizadas sifonagens diárias para eliminar fezes e eventuais sobras de rações, renovando semanalmente 100% do volume da água para evitar acúmulo de metabólitos dissolvidos.

Os valores médios obtidos de qualidade da água dos aquários foram: Fase I – Peixes de 16 g – 100 g: temperatura 27,8 °C ± 0,2 °C; oxigênio dissolvido 6,4 mg/L ± 0,7 mg/L; e pH 7,2 ± 0,45; Fase II – Peixes de 38 g – 250 g: temperatura 26,1 °C ± 1,23 °C; oxigênio dissolvido 5,55 mg/L ± 0,2 mg/L; e pH 7,0 ± 0,38, e; Fase III – Peixes de 155 g – 350 g: temperatura 26,2 °C ± 0,81 °C; oxigênio dissolvido 5,2 mg/L ± 0,55 mg/L; e pH 7,0 ± 0,44. Segundo Boyd e Toker (1998), as tilápias podem ser cultivadas com sucesso quando os parâmetros de qualidade da água são mantidos nas faixas de conforto de 28 °C a 32 °C de temperatura, oxigênio dissolvido maior que 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 de cultivo com descargas metabólicas.

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). Apenas

na Fase I – Peixes de 16 g, o desempenho produtivo foi avaliado aos 30 e 60 dias de experimento, sendo avaliados aos 60 dias nas demais. Para essas avaliações, houve pesagem de todos os animais de cada tratamento, em todos os ensaios.

Os critérios da avaliação dos efeitos do nível de fósforo sobre o equilíbrio orgânico 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 benzocaína (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 hemocítômetro e câmara de Neubauer, utilizando azul de toluidina (0,01 m/v) como corante; o hematócrito em micro-hematócrito a 5.000 rpm por cinco minutos, a taxa de hemoglobina calculada pelo método da cianometa-hemoglobina 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 foi avaliada 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 da dieta 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, por punção cranial, cinco exemplares antes e cinco por tratamento ao final de cada experimento; pesados; e foram colhidas amostras representativas do filé e das vértebras. Para a extração dos corpos das vértebras, as carcaças foram submetidas à cocção 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 e Lovell (1992).

Os ingredientes, rações e filés foram analisados nas suas composições bromatológicas 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 à 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 à 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 da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Botucatu. As amostras foram digeridas em mistura nitro-perclórica e diluídas com água deionizada para posterior quantificação. O cálcio e o magnésio foram determinados por Espectrometria de Absorção Atômica em Chama (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 um máximo desempenho foram interpretadas por meio da regressão *Linear Response Plateau* (LRP).

3 Resultados da pesquisa

Nos três experimentos, os peixes submetidos ao mais baixo nível de fósforo 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, fotossensibilidade, alta agressividade, reação de fuga diante do tratador e, em alguns casos, deformações e presença de nódulos nas espinhas dorsais das vértebras. Destaca-se que os peixes alimentados com a dieta do mais alto teor de fósforo apresentaram também sintomas como apetite diminuído, alta agressividade e reação de fuga na aproximação do tratador.

Tabela 3 ▼

Efeitos dos níveis crescentes de fósforo disponível nas rações sobre o desempenho zootécnico de tilápias do Nilo aos 30 e 60 dias. Fase I – Peixes de 16 g – 100g. Fonte: dados da pesquisa

3.1 Fase I – Peixes de 16 g – 100 g

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

Variável	Nível de fósforo disponível (% <i>Pdisp</i>) na ração					CV	Análise de regressão <i>Linear Response Plateau</i>	
	0,16	0,39	0,63	0,86	1,09		R ²	(Interseção; Plateau)
Peso inicial (g)	15,79	16,07	15,88	16,09	15,88			
Desempenho produtivo (30 dias)								
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)
Desempenho produtivo (60 dias)								
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)

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 ($p < 0,05$) através do LRP.

Nos primeiros 30 dias de experimentação observou-se um comportamento semelhante das variáveis peso final (PF), ganho de peso (GP) e taxa de crescimento específico (TCE), que foram superiores à medida que houve aumento dos níveis de suplementação de fósforo disponível (*Pdisp*) de 0,16% para 0,86%. A conversão alimentar (CA) também melhorou com o aumento dos níveis de *Pdisp* de 0,16% para 0,86%, ficando estável no nível de 1,09%. As variáveis PF, GP, TCE e CA, quando submetidas à análise de regressão linear LRP, apresentaram, respectivamente, a exigência mínima de 0,76%; 0,77%; 0,78% e 0,75% de *Pdisp* (média de 76,5% de *Pdisp*), valores que se enquadram entre os níveis ofertados de *Pdisp* de 63% e 86%.

Após 60 dias de experimentação (Tabela 3), à semelhança do acontecido nos primeiros 30 dias, as variáveis PF, GP e TCE apresentaram melhora crescente entre os níveis de suplementação de 0,16% a 0,63% de *Pdisp*, com posterior piora entre os níveis de 0,86% e 1,09% *Pdisp*. A CA dos peixes melhorou na medida em que os níveis de *Pdisp* das dietas aumentaram entre 0,16% e 0,63%, mas piorou para os

níveis 0,86% e 1,09%. Quando submetidas à análise de regressão LRP, as exigências de *Pdisp* para PF, GP, TCE e CA foram, respectivamente, 0,54%; 0,54%; 0,55% e 0,49% de *Pdisp* (média de 53% de *Pdisp* na ração), valores que se enquadram entre os níveis ofertados de *Pdisp*, de 0,39% e 0,63%.

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

Tabela 4 ▼

Efeitos dos níveis crescentes de fósforo disponível nas rações sobre os parâmetros fisiológicos e metabólicos de tilápias do Nilo. Fase I – Peixes de 16 g – 100 g.
Fonte: dados da pesquisa

Variável	Nível de fósforo disponível (% <i>Pdisp</i>) na ração					CV	Análise de regressão Linear Response Plateau	
	0,16	0,39	0,63	0,86	1,09		R ²	(Interseção; Plateau)
Peso inicial (g)	15,79	16,07	15,88	16,09	15,88			
Hematológicas e química plasmática								
Eritrócitos (células*10 ⁶ /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
Fósforo 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)
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								
Matéria 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

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 = não significante.

Os valores médios da composição do fígado dos juvenis da tilápia do Nilo em função dos níveis crescentes de *Pdisp* 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 extrato etéreo (EE) apresentado no nível de inclusão de 1,09% *Pdisp* (T5). Os teores percentuais de umidade e proteína bruta dos filés não apresentaram variações entre tratamentos (Tabela 4). O 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% *Pdisp* (T3) mantendo-se estável a partir desse nível.

Entre as variáveis de mineralização das vértebras, a matéria mineral e o fósforo apresentaram valores crescentes até os níveis de *Pdisp* de 0,86% e 0,63%, respectivamente, com posterior estabilização. Essas variáveis, quando submetidas à análise LRP, revelaram que os peixes exigem níveis de 0,83% a 0,74% (média de 78,5%) para máxima mineralização óssea; valores que estão contidos entre os níveis ofertados de *Pdisp*, entre 0,63% e 0,86%. O acúmulo de cálcio nas vértebras apresentou níveis crescentes até 0,63% *Pdisp* na ração, com posterior estabilização dessa variável. O magnésio contido nas vértebras aumentou com os níveis de suplementação do fósforo. Cálcio e magnésio não apresentaram significância por meio da análise LRP.

Tabela 5 ▼

Efeitos dos níveis crescentes de fósforo disponível nas rações sobre o desempenho zootécnico de tilápias do Nilo. Fase II – Peixes de 38 g – 250 g.
Fonte: dados da pesquisa

3.2 Fase II – Peixes de 38 g – 250 g

Nesse experimento os peixes apresentaram peso final entre 163,51 g e 252,82 g. Os valores médios das respostas de desempenho produtivo das tilápias do Nilo na Fase II, em decorrência dos níveis crescentes de fósforo disponível (*Pdisp*) na ração, são apresentados na Tabela 5.

Variável	Nível de fósforo disponível (% <i>Pdisp</i>) na ração					CV	Análise de regressão <i>Linear Response Plateau</i>	
	0,17	0,41	0,65	0,88	1,12		R ²	(Interseção; Plateau)
Peso inicial	38,54	38,39	38,76	38,60	38,46			
<i>Desempenho produtivo</i>								
Peso final (g)	163,51 b	220,26 ab	252,82 a	243,88 ab	239,89 ab	16,96	99,96	* (0,52; 245,30)
Ganho de peso (g)	124,96 b	181,87 ab	214,06 a	205,28 ab	201,44 ab	20,25	99,81	* (0,52; 206,93)
Taxa crescimento específico	2,40 b	2,89 ab	3,10 a	3,05 a	3,08 a	9,70	99,81	* (0,50; 3,08)
Conversão alimentar	1,41 b	1,17 ab	1,12 a	1,09 a	1,13 a	13,31	59,77	* (0,47; 1,11)

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

As variáveis de desempenho produtivo: PF, GP e TCE apresentaram melhora crescente entre os níveis de 0,17% e 0,65% de *Pdisp* e posterior estabilização nos níveis subsequentes. A CA dos peixes melhorou entre os níveis de 0,17% e 0,65% de *Pdisp*, com posterior estabilização nos demais tratamentos. As variáveis PF, GP, TCE e CA, quando submetidas à análise LRP, demonstraram que os peixes exigem, respectivamente, 0,52%; 0,52%; 0,50% e 0,47% (média de 0,50%) de *Pdisp*; que são valores também contidos entre os níveis ofertados de *Pdisp*, entre 0,41% e 0,65%.

Tabela 6 ▼
Efeitos dos níveis crescentes de fósforo disponível nas rações sobre os parâmetros fisiológicos e metabólicos de tilápias do Nilo. Fase II – Peixes de 38 g – 250 g.
Fonte: dados da pesquisa

Os valores médios das respostas fisiológicas e metabólicas das tilápias do Nilo da Fase II aos níveis crescentes de *Pdisp* na ração estão apresentados na Tabela 6. As variáveis hematológicas e de química plasmática não apresentaram um padrão homogêneo em resposta aos níveis de suplementação de *Pdisp*. A contagem total de eritrócitos apresentou valores decrescentes e não foi significativa pela análise LRP ($p > 0,05$). Os valores médios percentuais de hematócrito apresentaram-se inferiores no primeiro e quinto níveis de suplementação com valores superiores entre os níveis de 0,41% e 0,88% *Pdisp*. A proteína plasmática apresentou o mais alto valor (3,42%) no nível de 0,41% de suplementação de *Pdisp*, intermediária no nível de 0,17% *Pdisp* e inferior nos demais. A fosfatase alcalina do plasma foi superior no primeiro nível de suplementação, intermediária no nível de 0,88% *Pdisp* e inferior nos demais tratamentos. A 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% *Pdisp*.

Variável	Nível de fósforo disponível (% <i>Pdisp</i>) na ração					CV	Análise de regressão Linear Response Plateau	
	0,17	0,41	0,65	0,88	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)
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)
Cálcio (%)	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

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= não significante.

Os valores médios da composição do fígado da tilápia do Nilo na fase de engorda, em função dos níveis crescentes de *Pdisp* na ração são apresentados na Tabela 6. Constatou-se que os valores de proteína bruta não foram influenciados pelos níveis de *Pdisp* das rações. Os teores de umidade e extrato etéreo dos fígados apresentaram respostas de aumento e redução, respectivamente, em decorrência dos níveis crescentes de fósforo nas rações, com o teor máximo de umidade (60,11%) e mínimo de EE (12,30%) obtidos nos peixes que receberam as dietas com 1,12% *Pdisp*. O teor de fósforo contido no fígado aumentou entre os níveis de 0,17% e 0,65% *Pdisp*, com posterior retorno dos valores basais nos tratamentos subsequentes.

O conteúdo porcentual de proteína bruta dos filés não apresentou diferenças entre tratamentos (Tabela 6). Os teores de umidade e extrato etéreo do filé, de forma semelhante ao ocorrido com os teores dessas variáveis no fígado, apresentaram aumento e redução, respectivamente, em decorrência dos níveis crescentes de fósforo nas rações, com o teor máximo de umidade (76,68%) e mínimo de EE (0,84%) obtidos nos peixes que receberam as dietas com 1,12% *Pdisp*. Não houve diferenças estatísticas dos teores de P no filé devido ao aumento dos níveis de inclusão de *Pdisp* nas rações.

As variáveis *matéria mineral e fósforo das vértebras*, quando submetidas à análise de regressão LRP, revelaram que os peixes exigem 0,75% e 0,80% (média de 0,77%) *Pdisp* na ração, respectivamente, para máxima mineralização óssea. O Ca das vértebras aumentou até o nível de 0,65% *Pdisp*, com posterior estabilização para os demais tratamentos. O teor de Mg contido nas vértebras aumentou com os níveis de *Pdisp* nas rações. De forma semelhante ao observado na Fase I – Peixes de 16 g, as variáveis de composição de fígado e filé e os conteúdos de Ca e Mg das vértebras das tilápias na Fase II – Peixes com peso inicial de 38 g não apresentaram significância por meio da análise LRP.

Tabela 7 ▼

Efeitos dos níveis crescentes de fósforo disponível nas rações sobre o desempenho zootécnico de tilápias do Nilo. Fase III – Peixes de 155 g – 350 g.
Fonte: dados da pesquisa

3.3 Fase III – Peixes de 155 g – 350 g

Nesse experimento os peixes finalizaram com pesos entre 264,59 g e 350,96 g. Os valores médios das respostas de desempenho zootécnico das tilápias, em decorrência dos níveis crescentes de fósforo disponível (*Pdisp*) na ração, são apresentados na Tabela 7.

Variável	Nível de fósforo disponível (% <i>Pdisp</i>) na ração					CV	Análise de regressão Linear Response Plateau	
	0,19	0,42	0,66	0,90	1,14		R ²	(Interseção; Plateau)
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	9,37	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	19,25	99,12	* (0,46; 161,72)
Taxa crescimento específico	0,89 c	1,04 ab	1,36 a	1,19 ab	1,17 abc	16,06	97,02	* (0,46; 1,18)
Conversão alimentar	1,83 b	1,57 ab	1,26 a	1,32 a	1,31 a	10,87	95,32	* (0,41; 1,29)

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.

As variáveis de desempenho produtivo: PF, GP e TCE apresentaram os menores valores quando os peixes foram alimentados com dietas contendo o menor nível de fósforo (0,19% *Pdisp*), sendo que os demais tratamentos foram superiores ao mais baixo nível de *Pdisp* e semelhantes entre eles. A CA dos peixes melhorou entre os níveis de

Pdisp de 0,19% e 0,66%, com posterior estabilização nos demais tratamentos. Quando submetidas à análise de regressão linear LRP, as exigências dos peixes para os melhores PF, GP, TCE e CA foram de 0,46%; 0,46%; 0,46% e 0,41% (média de 44,7%) *Pdisp*, valores também contidos entre os valores ofertados de 0,42% a 0,66% de *Pdisp*.

Os valores médios das respostas fisiológicas e metabólicas das tilápias da Fase III, em resposta aos níveis crescentes de *Pdisp* na ração, são apresentados na Tabela 8. Contagem de eritrócitos, contagem de leucócitos, hematócrito, hemoglobina e fosfatase alcalina não foram influenciadas pelos níveis de *Pdisp* das rações. A proteína plasmática apresentou níveis crescentes entre 0,19% e 0,66% *Pdisp* na ração e posterior decréscimo para os tratamentos subsequentes. O P plasmático apresentou o mais alto teor (22,93 mg/dL) ao nível de 0,42% *Pdisp* e posterior decréscimo para os tratamentos subsequentes. Proteína plasmática e P plasmático, quando submetidas à análise de regressão LRP, revelaram que níveis de 0,32% e 0,29% *Pdisp* (média de 0,31%) são suficientes para atender as necessidades fisiológicas das tilápias do Nilo de 155 g.

Tabela 8 ▼
Efeitos dos níveis crescentes de fósforo disponível nas rações sobre os parâmetros fisiológicos e metabólicos de tilápias do Nilo. Fase III – Peixes de 155 g – 350 g.
Fonte: dados da pesquisa

Variável	Nível de fósforo disponível (% <i>Pdisp</i>) na ração					CV	Análise de regressão Linear Response Plateau	
	0,19	0,42	0,66	0,90	1,14		R2	(Interseção; Plateau)
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
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 vértebras								
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

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.

Os valores médios da composição do fígado, da tilápia do Nilo na fase de acabamento, em função dos níveis crescentes de *Pdisp* na ração são apresentados na Tabela 8. Constatou-se que os valores de proteína bruta e fósforo não foram influenciados pelos níveis de *Pdisp* das rações. Os teores de umidade e extrato etéreo dos fígados dos peixes foram maiores e menores, respectivamente, em decorrência dos níveis crescentes de fósforo nas rações. O teor máximo de umidade (59,25%) e mínimo

de EE (12,05%) ocorreu nos peixes alimentados com rações contendo 1,14% *Pdisp*. O teor de umidade, proteína bruta e extrato etéreo dos filés das tilápias de 155 g 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% *Pdisp* 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 III peixes com peso inicial de 155 g aumentou até o nível de 0,66% *Pdisp* na ração, com posterior estabilização desse valor. Essa variável, quando submetida à análise de regressão LRP, revelou a exigência de 0,71% *Pdisp* para máxima mineralização óssea. Os teores de P e Ca das vértebras apresentaram valores crescentes como respostas aos conteúdos de *Pdisp* na ração. O nível de Mg contido nas vértebras desses animais não teve significância estatística ($p < 0,05$) através da análise LRP.

4 Discussões

Com relação aos sintomas de carência nutricional de fósforo, sintomas semelhantes já haviam sido descritos por Sugiura, Hardy e Roberts (2004) em uma ampla revisão das patologias das deficiências nutricionais de fósforo em peixes. Embora alguns desses sinais de deficiência de fósforo sejam comportamentais, ao longo do tempo, podem interferir diretamente no desempenho zootécnico. Nesse sentido, estudando as exigências de P total para o jundiá (*Rhamdia quelen*), Diemer *et al.* (2011) afirmaram que o menor desempenho dos animais que receberam dietas contendo o menor nível de fósforo total (0,65%) pode ter sido decorrente da deficiência do mineral, que apenas teria suprido as necessidades para as funções estruturais, ficando o crescimento comprometido, embora não tenham relatado nenhum sinal clínico de carência.

Em um estudo com tilápias vermelhas, Phromkunthong e Udom (2008) obtiveram exigência de 0,75% de *Pdisp* para peixes de 25 g atingirem 90 g e, em outro com tilápias GIFT, Yao *et al.* (2014) indicaram a exigência de 0,86% *Pdisp* para peixes de 46 g atingirem 158 g, sendo ambas as exigências superiores àquelas determinadas para os peixes dos três diferentes pesos no presente estudo. Schamber *et al.* (2014) obtiveram exigência de 0,61% de *Pdisp* para as tilápias de 145,87 g atingirem peso superior a 575 g. O valor reportado acima é superior ao obtido no presente trabalho para os peixes de maior tamanho, entretanto é importante salientar que houve 89 dias de cultivo no estudo daqueles autores, quase 1/3 superior ao do presente estudo.

Viola, Arieli e Zohar (1986) determinaram que a exigência nutricional de *Pdisp* está entre 0,60% e 0,46% para tilápias híbridas de 120 g atingirem peso final de 275 g. No presente estudo foram determinadas exigências semelhantes (0,50% *Pdisp* para crescimento entre 38 g e 250 g e de 0,45% *Pdisp* para crescimento entre 155 g e 350 g), confirmando a hipótese que o animal adulto tem menor exigência de fósforo na ração que os animais mais jovens.

Para os parâmetros hematológicos e metabólicos, na sua grande maioria, estão compreendidas nas faixas reportadas como normais para sistemas produtivos de alta densidade do híbrido *O. niloticus* x *O. mossambicus* x *O. aureus* (HRUBEC; CARDINALE; SMITH, 2000). Esses autores também reportaram valores de bioquímica plasmática normais para tilápias de 240 g criadas em sistemas de baixa densidade (biomassas de 4 g/L), tais como, proteína plasmática de 2,3 g/dL a 3,6 g/dL, fosfatase alcalina de 16 mol/L a 38 mol/L e fósforo plasmático de 3,5 mg/dL a 7,2 mg/dL.

O valor total de proteína plasmática determinado nesta pesquisa para os peixes da Fase II – Peixes de 38 g – 250 g, também se apresentou dentro da faixa considerada normal (HRUBEC; CARDINALE; SMITH, 2000) para a espécie, com exceção dos peixes que consumiram a ração com 0,88% de *Pdisp*, que foi de 2,03 g/dL. A atividade da fosfatase alcalina das tilápias da Fase II, para todos os tratamentos, foi inferior ao intervalo considerado normal, pelos autores supracitados, para tilápia híbrida. Comparando os níveis de fósforo plasmático das tilápias dessa mesma fase, verificou-se que foram sensivelmente superiores aos reportados pelos autores acima citados como normais para tilápia híbrida cultivada em baixa densidade.

Os níveis exigidos de *Pdisp* para máxima mineralização das vértebras determinados foram, em média, 49,44% e 54% superiores às exigências para o máximo desempenho zootécnico. Uma maior exigência em tilápia do Nilo para a mineralização das vértebras em detrimento do desempenho também foi destacada por Watanabe *et al.* (1980), Robinson *et al.* (1987) e Pezzato *et al.* (2006). Porém, salientando que a finalidade principal dos sistemas de criação é maximizar o desempenho produtivo (maior GP, melhor CA, entre outros), os valores exigidos para crescimento podem ser utilizados com segurança na formulação de alimentos para tilápia do Nilo.

Os valores mínimos de 0,77% e de 0,53% *Pdisp* como exigências das tilápias do Nilo aos 30 e 60 dias de experimentação na Fase I – Peixes de 16 g – 100 g, foram superiores aos valores de 0,46% *Pdisp* recomendados para alevinos da mesma espécie por Haylor *et al.* (1988) e até mesmo aos 0,74% de P total recomendados por Boscolo *et al.* (2005). Os resultados desta pesquisa são, de certo modo, similares aos valores de 0,90% *Pdisp* recomendados para tilápias por Watanabe *et al.* (1980); de 1,10% P para peso entre 0,6 g e 4,0 g; por Ribeiro *et al.* (2006); de 0,75% *Pdisp* para peso entre 0,27 g e 4,0 g e por Pezzato *et al.* (2006). Entretanto, são inferiores aos de 0,8% a 1,0% *Pdisp* reportados para alevinos de tilápia áurea por Watanabe, Satoh e Takeuchi (1988). É importante salientar que as divergências entre o peso dos peixes, tempo de experimentação para análise das variáveis, condições gerais de manejo, assim como diferenças entre as fórmulas das rações utilizadas e a genética dos peixes podem ser importantes fatores para justificar as diferenças entre os resultados supracitados.

Valores próximos aos estabelecidos para a Fase I – Peixes de 16 g – 100 g, 0,77% e 0,53% *Pdisp* aos 30 e 60 dias, respectivamente, e de 0,50% *Pdisp* na Fase II – Peixes de 38 g, foram reportados por Miranda *et al.* (2000), que determinou as exigências de *Pdisp* entre 0,50% a 0,75% para tilápias do Nilo com peso máximo de 43,61 g. No trabalho de Boscolo *et al.* (2003), reportaram-se valores de 0,30% a 0,70% de P total para tilápias do Nilo crescendo de 23 g a 89 g no período experimental, valores relativamente inferiores ao do presente estudo.

Ainda que tenha havido diferenças nas condições experimentais, especialmente da Fase I – Peixes de 16 g – 100 g (aquários de menor capacidade e temperatura levemente superior), assim como justaposição dos intervalos de peso estudados, os diferentes ensaios aqui reunidos neste trabalho permitem inferir que as exigências nutricionais de fósforo digestível para tilápia do Nilo são altas na fase de estruturação corporal, aproximadamente de 0,77% *Pdisp* para animais entre 16 g e 40 g (trinta primeiros dias da Fase I). Esses valores diminuem, progressivamente, para 0,53% entre 16 g e 100 g (período total da Fase I), e para 0,50% nos animais entre 38 g e 250 g (Fase II), e de 0,45% *Pdisp* para os animais maiores, entre 155 g e 350 g (Fase III). Assim, as exigências são mais altas nas etapas iniciais de vida do animal e diminuem progressivamente ao longo do ciclo produtivo.

É evidente que a utilização de uma estratégia de alimentação por fases para a espécie pode reduzir a quantidade de *Pdisp* nas rações em 45% na etapa de crescimento

exponencial e em 71% na fase de engorda, com relação ao teor de 0,77% *Pdisp*, exigido na etapa de estruturação corporal. Salienta-se que os níveis nutricionais necessários para o máximo desempenho zootécnico são suficientes para a manutenção da homeostase das tilápias em todos os pesos vivos estudados, desde que os peixes estejam em situação de bem-estar e não haja fatores estressores capazes de desestabilizar sua homeostase. Entretanto, máximo desempenho zootécnico seria insuficiente para que os peixes atingissem a máxima mineralização óssea, já que as exigências de *Pdisp* são mais altas para maximizar a deposição mineral nos ossos das tilápias. Também é importante destacar que as exigências para máxima mineralização óssea apresentam menor variabilidade entre as fases produtivas.

Não obstante, para o uso dos níveis de fósforo em rações para a aquicultura, além dos fatores estudados no presente trabalho, é importante levar em consideração o tipo e a qualidade dos alimentos utilizados, que podem alterar significativamente a biodisponibilidade do mineral e a excreção do fósforo para o meio ambiente (PINTO *et al.*, 2017). Neste sentido, o trabalho de Bueno *et al.* (2012) pressupõe que valores abaixo de 0,8% de fósforo total sejam valores ideais para a redução do impacto dos efluentes da piscicultura. De acordo com as exigências para máximo desempenho zootécnico obtidas no presente trabalho, é possível inferir que este valor pode estar subestimado para peixes menores, mas talvez possa ser viável para peixes maiores, caso o fósforo das rações seja altamente biodisponível.

5 Conclusões

A oferta de rações com níveis de fósforo que possibilitem o maior ganho de peso das tilápias permite o atendimento dos níveis ideais para a manutenção dos parâmetros fisiológicos e metabólicos dentro dos valores considerados referência para animais saudáveis dessa espécie.

Para os peixes de 38 g – 250 g e 155 g – 350 g, recomenda-se a utilização dos níveis de 0,50% e 0,45% de *Pdisp*/kg ração, que são os níveis de exigência que proporcionaram o maior ganho de peso das tilápias. Entretanto, para os peixes de 16 g – 100 g, devido à alta taxa metabólica, de crescimento e formação óssea, recomenda-se utilizar 0,76% *Pdisp* se o tempo de cultivo for 30 dias ou 0,53% caso o tempo de cultivo seja de 60 dias.

Em aquicultura, uma considerável proporção dos descartes de metabólitos para o ambiente pode ser diminuída com o fornecimento de rações formuladas com base em nutrientes digestíveis e que atendam estritamente às exigências nutricionais nas diferentes fases do ciclo produtivo dos organismos aquáticos, especialmente na engorda e no acabamento. Neste sentido, para a ampliação do conhecimento sobre a nutrição por fases, é necessária a realização de estudos similares em diferentes condições de cultivo da tilápia do Nilo, bem como testar os possíveis efeitos de interação nutricional no estabelecimento das exigências. Um exemplo seria a determinação das exigências de fósforo por fase quando houver variação da proteína da dieta.

Agradecimentos

Ao Laboratório de Nutrição e Saúde de Peixes (AquaNutri) e ao Intuito de Biociências, ambos da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), campus de Botucatu, e a todas as pessoas que contribuíram de forma direta ou indireta neste estudo.

Financiamento

A realização desta pesquisa foi possível pelo apoio científico e financeiro da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia de Botucatu, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP).

Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesse

Declaração do conselho de Ética

Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia (FMVZ) da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), campus de Botucatu, sob Protocolo n. 11/2006.

Referências

AOAC – ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of Analysis of AOAC International**. 17. ed. Gaithersburg: AOAC International, 2000. 2200 p.

BOSCOLO, W. R.; FEIDEN, A.; BOMBARDELLI, R. A.; SIGNOR, A.; GENTELINI, A. L.; 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. DOI: <https://dx.doi.org/10.4025/actascianimsci.v27i1.1246>.

BOSCOLO, W. R.; FEIDEN, A.; REIDEL, A.; BROLL, F.; HOLDEFER, A. M.; SANTOS, R. V.; MARANHÃO, T. C. F. Exigência de fósforo da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) na fase de crescimento. **Varia Scientia**, v. 3, n. 1, p. 115-124, 2003.

BOYD, C. E.; TUCKER, C. S. **Pond aquaculture quality management**. Norwell: Kluwer Academic, 1998. 685 p.

BUENO, G. W.; FEIDEN, A.; NEU, D. H.; LUI, T. A.; WÄCHTER, N.; BOSCOLO, W. R. Digestibilidade do fósforo em dietas como estratégia nutricional para redução de efluentes da tilapicultura. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 64, n. 1, p. 183-191, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-09352012000100026>.

BUENO, G. W.; FEIDEN, A.; ROUBACH, R.; MATOS, F. T.; KLEIN, S.; BOSCOLO, W. R. Different sources of phosphorus supplementation and its excretion by Nile tilapia juveniles (*Oreochromis niloticus*). **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v. 11, n. 2, p. 151-158, 2016. Disponível em: [http://panamjas.org/pdf_artigos/PANAMJAS_11\(2\)_151-158.pdf](http://panamjas.org/pdf_artigos/PANAMJAS_11(2)_151-158.pdf). Acesso em: 29 jan. 2022.

de BLAS, C.; GARCÍA-REBOLLAR, P.; GORRACHATEGUI, M.; MATEOS, G. G. **Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación**

de piensos compuestos. 4. ed. Madrid: Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal, 2019. 604 p.

DIEMER, O.; BOSCOLO, W. R.; SIGNOR, A. A.; SARY, C.; NEU, D. H.; FEIDEN, A. Níveis de fósforo total na alimentação de juvenis de jundiá criados em tanques-rede. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 4, p. 559-563, 2011. DOI: <https://doi.org/10.5216/pat.v41i4.15017>.

HAYLOR, G. S.; BEVERIGDE, M. C. M.; JAUNCEY, K. Phosphorus nutrition of juvenile *Oreochromis niloticus*. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TILAPIA IN AQUACULTURE, 2., 1988, Manila. **Proceedings** [...]. Bangkok: Department of Fisheries; Manila: International Center for Living Aquatic Resources Management, 1988. p. 341-345. (ICLARM Conference Proceedings).

HRUBEC, T. C.; CARDINALE, J. L.; SMITH, S. A. Hematology and plasma chemistry reference intervals for cultured tilapia (*Oreochromis Hybrid*). **Veterinary Clinical Pathology**, v. 29, n. 1, p. 7-12, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1939-165x.2000.tb00389.x>.

JAIN, N. C. **Schalm's veterinary haematology**. 4th. ed. Philadelphia: Lea e Febiger, 1986. 1221 p.

LALL, S. P. The minerals. In: HALVER, J. E.; HARDY, R. W. (org.). **Fish nutrition**. 3rd. ed. Elsevier Science, 2002. p. 259-308.

LIM, C.; WEBSTER, C. D. **Tilapia: biology, culture and nutrition**. New York: Haworth Press, 2006. 705 p.

MARKZENK, Z. **Spectrophotometric determination of elements**. Chichester: Ellis Horwood, 1976.

MIRANDA, E. C.; PEZZATO, A. C.; PEZZATO, L. E.; GRANER, C. F.; ROSA, G. J.; PINTO, L. G. Q. Relação cálcio/fósforo disponível em rações para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, n. 6 (supl. 2), p. 2162-2171, 2000. Disponível em: <http://www.sbz.org.br/revista/artigos/2790.pdf>. Acesso em: 29 jan. 2022.

MUSTIN, W. G.; LOVELL, R. T. Na-L-ascorbyl-2 monophosphate as a source of vitamin C for channel catfish. **Aquaculture**, v. 105, n. 1, p. 95-100, 1992. DOI: [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(92\)90165-H](https://doi.org/10.1016/0044-8486(92)90165-H).

OBIRIKORANG, P. A.; CAMPION, B. B.; EDZIYIE, R. E.; DUODU, C. P.; ADJEI-BOATENG, D. Effects of oilseed meals on pellet characteristics, faecal matter production, postprandial ammonia and phosphorus excretion rates in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Journal of Applied Animal Research**, v. 48, n. 1, p. 525-533, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/09712119.2020.1840382>.

OSTI, J. A. S.; MORAES, M. A. B.; CARMO, C. F.; MERCANTE, C. T. J. Nitrogen and phosphorus flux from the production of Nile tilapia through the application of environmental indicators. **Brazilian Journal of Biology**, v. 78, n. 1, p. 25-31, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.02116>.

PEZZATO, L. E.; SANTA ROSA, M. J.; BARROS, M. M.; GUIMARÃES, I. G. Exigência em fósforo disponível para alevinos de tilápia do Nilo. **Ciência Rural**, v. 36, n. 5, p. 1600-1605, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782006000500041>.

PHROMKUNTHONG, W.; UDOM, U. Available phosphorus requirement of sex-reversed red tilapia fed all-plant diets. **Songklanakarin Journal of Science and Technology**, v. 30, n. 1, p. 7-16, 2008. Disponível em: <https://www.thaiscience.info/Journals/Article/SONG/10617834.pdf>. Acesso em: 29 jan. 2022.

PINTO, L. G. Q.; PEZZATO, L. E.; GAMBOA, B. S. P.; ARAUJO, D. M. Digestibilidade de fontes proteicas e disponibilidade de fosfatos inorgânicos em três fases de desenvolvimento da tilápia-do-nilo. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 43, n. 1, p. 1-13, 2017. DOI: <https://doi.org/10.20950/1678-2305.2017v43n1p1>.

PRABHU, P. A. J.; SCHRAMA, J. W.; KAUSHIK, S. J. Quantifying dietary phosphorus requirement of fish: a meta-analytic approach. **Aquaculture Nutrition**, v. 19, n. 3, p. 233-249, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1111/anu.12042>.

QUINTERO-PINTO, L. G.; PARDO-GAMBOA, B. S.; QUINTERO-PARDO, A. M. C.; PEZZATO, L. E. Exigências e disponibilidade de fontes de fósforo para tilapias. **Veterinaria y Zootecnia**, v. 5, n. 2, p. 30-43, 2011. Disponível em: <http://vip.ucaldas.edu.co/vetzootec/downloads/v5n2a03.pdf>. Acesso em: 29 jan. 2022.

RIBEIRO, F. B.; LANNA, E. A. T.; BOMFIM, M. A. D.; DONZELE, J. L.; FREITAS, A. S.; 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. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982006000600003>.

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, n. 4, p. 267-276, 1987. DOI: [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(87\)90189-X](https://doi.org/10.1016/0044-8486(87)90189-X).

ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, L. F. T.; DONZELE, J. L.; GOMES, P. C.; OLIVEIRA, R. F.; LOPES, D. C.; FERREIRA, A. S.; BARRETO, S. L. T. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 2. ed. Viçosa: UFV/DZO, 2005. 186 p.

SCHAMBER, C. R.; BOSCOLO, W. R.; NATALI, M. R. M.; MICHELATO, M.; FURUYA, V. R. B.; FURUYA, W. M. Growth performance and bone mineralization of large Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed graded levels of available phosphorus. **Aquaculture International**, v. 22, n. 5, p. 1711-1721, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10499-014-9776-4>.

SHIMADZU. **Operation manual**: atomic absorption spectrophotometer. AA-6800. Osaka: Shimadzu, 2002. 157 p.

SUGIURA, S. H.; DONG, F. M.; HARDY, R. W. A new approach to estimating the minimum dietary requirement of phosphorus for large rainbow trout based on nonfecal excretions of phosphorus and nitrogen. **The Journal of Nutrition**, v. 130, n. 4, p. 865-872, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1093/jn/130.4.865>.

SUGIURA, S. H.; HARDY, R. W.; ROBERTS, R. J. The pathology of phosphorus deficiency in fish: a review. **Journal of Fish Diseases**, v. 27, n. 5, p. 255-265, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.2004.00527.x>.

UFV – UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. **SAEG Sistema para Análises Estatísticas**: Versão 9.1. Viçosa: Fundação Arthur Bernardes - UFRV, 2007.

VIOLA, S.; ARIELI, Y.; ZOHAR, G. 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.; SATOH, S.; TAKEUCHI, T. Availability of minerals in fish meal to fish. **Asian Fisheries Science**, v. 1, n. 2, p. 175-195, 1988. Disponível em: <https://www.asianfisheriessociety.org/publication/downloadfile.php?id=688&file=Y0dSbUx6QTFPRGN6T0RJd01ERXpOVFI4TkRreE1EZ3VjR1Jt>. Acesso em: 26 abr. 2022.

WATANABE, T.; TAKEUCHI, T.; MURAKAMI, A.; OGINO, C. The availability to *Tilapia nilotica* of phosphorus in white fish meal. **Nippon Suisan Gakkaishi**, v. 46, n. 7, p. 897-899, 1980. DOI: <https://doi.org/10.2331/suisan.46.897>.

YAO, Y. F.; JIANG, M.; WEN, H.; WU, F.; LIU, W.; TIAN, J.; YANG, C. G. Dietary phosphorus requirement of GIFT strain of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* reared in freshwater. **Aquaculture Nutrition**, v. 20, n. 3, p. 273-280, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1111/anu.12075>.