



Efeito do uso de óleo na dieta sobre a lipogênese e o perfil lipídico de tilápias-do-nylo

Paula Adriane Perez Ribeiro¹, Priscila Vieira Rosa Logato², Daniella Aparecida de Jesús Paula³, Adriano Carvalho Costa³, Luis David Solis Murgas⁴, Rilke Tadeu Fonseca de Freitas²

¹ Programa de Pós-graduação em Zootecnia pela UFLA, CP 37, CEP: 37200-000, Lavras, MG, Brasil, telefax: (35) 3829-1231.

² Departamento de Zootecnia da UFLA, CP 37, CEP: 37200-000, Lavras, MG, Brasil, telefax: (35) 3829-1231.

³ Curso de Zootecnia da UFLA, CP 37, CEP: 37200-000, Lavras, MG, Brasil, telefax: (35) 3829-1231.

⁴ Departamento de Medicina Veterinária da UFLA, CP 37, CEP: 37200-000, Lavras, MG, Brasil, telefax: (35) 3829-1148.

RESUMO - Trinta e cinco machos de tilápia com peso médio de 205 g foram mantidos em caixas de 250 litros para avaliar o metabolismo lipídico de tilápias-do-nylo (*Oreochromis niloticus*). O experimento foi conduzido durante 30 dias, entre os meses de outubro e novembro de 2006. Foram avaliadas cinco dietas, cada uma contendo óleo de oliva, óleo de milho, óleo de soja, óleo de linhaça ou óleo de peixe. Utilizou-se delineamento inteiramente casualizado, com cinco tratamentos e sete repetições. Avaliaram-se a composição química, o perfil lipídico muscular e a atividade hepática de glicose-6-P desidrogenase (G6PD) e enzima málica. Os dados foram submetidos à análise de variância com médias comparadas pelo teste de Scott-Knott (5%). Não houve diferenças significativas para os teores de umidade e cinzas, porém, foram observadas alterações nos teores de lipídios e proteína nos peixes alimentados com as rações contendo óleo de oliva, milho ou soja. O fornecimento de dietas ricas em ácidos graxos poliinsaturados aumentou a composição desses ácidos graxos nos peixes. A atividade da G6PD foi superior à da enzima málica e foi mais alta nos animais alimentados com rações contendo óleos de oliva, milho ou soja, o que evidencia maior deposição lipídica muscular nesses peixes.

Palavras-chave: lipídio, nutrição, óleos, peixe

Effect of different oils in the diet on lipogenesis and the lipid profile of Nile tilapia

ABSTRACT - A total of 35 males of Nile tilapia, averaging initial weight of 205 g, were maintained in five 250 L metabolism boxes to evaluate the lipid metabolism of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). The experiment lasted 30 days, from October to November 2006. The treatments were: control diet plus olive oil; control diet plus corn oil; control diet plus soybean oil; control diet plus linseed oil; control diet plus fish oil. The experiment was in a completely randomized design with five treatments and seven replicates. The evaluated parameters were: fatty acid profile of the muscle tissue and hepatic activity of glucose-6-phosphate dehydrogenase (G6PD) and malic enzyme (ME). The data were submitted to variance analysis and the means of the treatments were compared by Scott-Knott's test (5% of significance). The fish fed on a diet rich in polyunsaturated fatty acids presented increased contents of such fat acids in their lipid muscle composition. The hepatic activity of G6PD was superior to that of ME, being higher in the specimen fed rations containing olive, corn and soybean oil, thus, evidencing the highest lipid muscle deposition of these fish.

Key Words: fish, lipid, nutrition, oil

Introdução

Os lipídios são importantes componentes da dieta e fornecem de maneira eficiente energia e ácidos graxos essenciais, no entanto, dietas com altos teores de lipídio podem influenciar o metabolismo animal e a composição da carcaça, com acúmulo indesejável de gordura.

Em peixes, assim como em outras espécies de animais monogástricos, a composição lipídica tecidual reflete a

alimentação e pode ser alterada pela manipulação da dieta. As fontes de ácidos graxos mais utilizadas na alimentação animal são as de origem vegetal, encontradas no mercado a preços mais acessíveis. Os óleos vegetais, como os de oliva, milho e soja, representam fontes ricas em ácidos graxos monoinsaturados e poliinsaturados ômega-6 (PUFAs ômega-6) e os de linhaça e de peixe constituem fontes de ácidos graxos poliinsaturados ômega-3 (PUFAs ômega-3).

As fontes de gordura influenciam ainda a ressíntese lipídica no organismo e o perfil de ácidos graxos corporais. Dietas ricas em ácidos graxos poliinsaturados da série ômega-3 podem diminuir a capacidade lipogênica dos tecidos hepático e adiposo, melhorando a composição lipídica da carcaça (Nielsen et al., 2005).

Os processos lipogênicos e lipolíticos em peixes são, em geral, comparáveis aos da maioria dos mamíferos. A taxa lipogênica em espécies teleósteas é regulada principalmente por fatores nutricionais. Sabe-se, por exemplo, que os lipídios da dieta podem suprimir a lipogênese. O aumento na relação gordura/proteína da dieta inibe a lipogênese em carpa comum (*Cyprinus carpio*) e os altos níveis de lipídios dietéticos promovem redução na atividade das enzimas lipogênicas em juvenis de “yellowtail” (*Seriola quinqueradiata*). Entretanto, quando se aumenta a relação carboidrato/proteína da dieta, ocorre aumento proporcional na lipogênese em trutas (Brauge et al., 1995, citados por Tocher, 2003).

O fígado é o principal local onde ocorrem os processos lipogênicos nos peixes e envolve a ação de enzimas específicas que fornecem energia para os processos bioquímicos, como a glicose-6-P desidrogenase e a enzima málica (EM). No entanto, em espécies teleósteas, a atividade destas enzimas é proporcional à qualidade e quantidade de lipídio da dieta (Wang et al., 2005). As diferentes fontes de gordura influenciam os processos lipogênicos no organismo, porém, o grau dessa influência depende da espécie. Dietas com altos níveis de PUFAs ômega-3 diminuem a capacidade lipogênica do fígado e tecido adiposo de ratos e camundongos (Foufelle et al., 1992).

Pesquisas realizadas com carpa comum (*Cyprinus carpio*) comprovam que dietas contendo PUFAs ômega-3 reduzem a lipogênese e o catabolismo de aminoácidos no hepatopâncreas desses peixes. Em estudos com truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*), a atividade dos ácidos graxos saturados nos hepatócitos diminui significativamente com o aumento dos PUFA, especialmente pelo ácido linolênico (C18:3 n-3), EPA (C20:5 n-3) e DHA (C22:6 n-3) (Alvarez et al., 2001).

Dietas com altos teores de gordura ocasionam ainda redução da velocidade máxima das reações enzimáticas, da atividade específica e da eficiência catalítica da glicose-6-fosfato desidrogenase hepática em truta arco-íris (Sanchez-Muros et al., 1996).

Este estudo foi realizado com o objetivo de avaliar a composição química e o perfil de ácidos graxos no músculo, bem como os processos bioquímicos envolvidos na lipogênese hepática em tilápias-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) alimentadas com dietas contendo diferentes ácidos graxos de cadeia longa.

Material e Métodos

O experimento foi realizado no período de outubro a novembro de 2006, totalizando 30 dias, na Estação de Piscicultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA), e as análises, no Laboratório de Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia e na Central de Análise e Prospecção Química do Departamento de Química da UFLA. Foram utilizados 35 machos de tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) sexados, com peso inicial de $205,3 \pm 5,1$ g, alojados em cinco caixas de metabolismo com capacidade de 250 litros. Como tratamentos, avaliaram-se cinco dietas formuladas a partir da dieta controle e acrescidas de óleo de oliva, óleo de milho, óleo de soja, óleo de linhaça ou óleo de peixe (Tabelas 1 e 2).

As dietas foram purificadas utilizando-se dextrina, caseína, gelatina, óleos diversos, antioxidante (BHT) e suplemento mineral e vitamínico. Não houve suplementação de vitamina C às dietas, em virtude do curto período experimental adotado.

O consumo médio diário de ração pré-determinado foi de 2% do peso vivo. Os animais receberam as rações uma vez ao dia, quando foram monitorados os parâmetros limnológicos nas caixas de metabolismo. A temperatura da água e o teor de oxigênio foram medidos utilizando-se oxímetro digital portátil e o pH, com o auxílio do kit comercial Labcon Test®. Os valores foram obtidos por comparação em escala de padrões colorimétricos. As caixas foram sifonadas diariamente para retirada de eventuais sobras de ração e excretas (Sipaúba-Tavares, 1994).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com cinco tratamentos (dietas) e sete repetições, segundo o modelo estatístico:

$$y_{ij} = \mu + t_i + e_{ij},$$

em que y_{ij} = amostragem da parcela referente à dieta i na repetição j ($i = 1, 2, \dots, 5$) e $j = (1, 2, \dots, 7)$; μ = média geral do experimento; t_i = efeito da dieta i ($i = 1, 2, \dots, 5$); e_{ij} = desvio associado a cada observação, que, por hipótese, tem distribuição normal, média zero e variância δ^2 .

Ao final da fase experimental, os animais foram abatidos, eviscerados com separação do fígado para análise, desprovidos de cabeça e nadadeiras e filetados. As amostras dos tecidos hepático e muscular foram analisadas para determinação do perfil de ácidos graxos e da atividade enzimática. Análises do tecido muscular também foram feitas para determinação dos teores de umidade, proteína, cinzas e extrato etéreo, de acordo com metodologia proposta por Silva (1998).

As amostras de tecido muscular foram submetidas à extração e esterificação lipídica pelo método de Folch et al.

Tabela 1 - Composição percentual das rações experimentais

Ingrediente (%)	Dieta				
	Óleo de oliva	Óleo de milho	Óleo de soja	Óleo de linhaça	Óleo de peixe
Caseína	30,4	30,4	30,4	30,4	30,4
Gelatina	6,08	6,08	6,08	6,08	6,08
Dextrina	55,00	55,00	55,00	55,00	55,00
Celulose	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Óleo de oliva	4,00	-	-	-	-
Óleo de milho	-	4,00	-	-	-
Óleo de soja	-	-	4,00	-	-
Óleo de linhaça	-	-	-	4,00	-
Óleo de peixe	-	-	-	-	4,00
Fosfato bicálcico	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Suplemento vitamínico ⁽¹⁾	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
Suplemento mineral ⁽²⁾	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
BHT	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Proteína bruta (%)	30,58	30,93	30,74	30,13	30,22
Energia bruta (kcal/kg)	4.007,36	4.074,33	4.064,18	4.012,44	4.096,89
Extrato etéreo (%)	12,80	12,63	12,13	12,98	12,94
Cálcio (%)	0,42	0,40	0,41	0,42	0,40
Fósforo (%)	0,43	0,41	0,43	0,44	0,41

¹ Composição do suplemento vitamínico (quantidade por quilo de premix): vit. A - 1500 U.I.; vit. B1 - 20 mg; vit. B2 - 15 mg; vit. B3 - 1000 U.I.; vit. B12 - 10 mcg; vit. E - 25 mg; vit. PP - 120 mg; colina - 2.000 mg; pantotenato de cálcio - 80 mg; ácido fólico - 2 mg.

² Composição do suplemento mineral (quantidade por quilo de premix): Mn - 80 mg; Fe - 24 mg; Zn - 50 mg; Cu - 8 mg; I - 3 mg; Se - 0,10 mg.

Tabela 2 - Perfil de ácidos graxos das dietas experimentais

Ácido graxo (%)	Dieta				
	Óleo de oliva	Óleo de milho	Óleo de soja	Óleo de linhaça	Óleo de peixe
C14:0	2,05	2,01	1,86	1,80	5,30
C14:1 n-5	0,10	0,07	0,11	0	0,09
C16:0	17,90	20,28	15,48	12,24	19,35
C16:1 n-7	4,68	3,86	0,04	0,03	0
C17:0	0,32	0,21	0,17	0,10	0,22
C17:1 n-7	0,06	0,10	0,13	0,19	0,88
C18:0	30,98	15,56	20,97	22,93	18,13
C18:1 n-9	17,99	7,79	10,68	8,93	5,42
C18:2 n-6	11,82	22,73	38,38	16,46	10,07
C18:3 n-3	0,70	0,45	6,03	30,13	3,31
C20:0	0	0	0,54	0,44	0
C20:1 n-9	1,25	1,41	0,44	0,40	2,82
C20:2 n-6	1,23	1,28	0,21	0,06	0,72
C20:3 n-6	1,32	1,47	0,10	0,01	0,28
C20:4 n-6	5,14	5,74	0,27	0,04	0,76
C20:5 n-3	1,39	1,87	0,27	0,05	6,69
C22:6 n-3	1,22	1,17	0,17	0,52	9,81
Totais					
n-3	3,31	3,49	6,47	30,70	19,81
n-6	19,51	31,22	38,96	16,57	11,83
n-9	19,24	9,20	11,12	9,33	8,24
Saturados	51,25	38,06	39,02	37,51	43,00
Monoinsaturados	24,08	13,23	11,40	9,55	9,21
Poliinsaturados	22,82	34,71	45,43	47,27	31,64
n-3/n-6	0,17	0,11	0,17	1,85	1,67

(1957). Os metil ésteres de ácidos graxos foram submetidos à cromatografia gasosa utilizando-se equipamento Varian 3800 com detector por ionização em chama, injetor no modo “splitless”, coluna capilar de sílica fundida DB-WAX (30 m × 0,25 mm × 0,25 μm) (J&W Scientific, USA), acoplado

a um *software* (Borwin, JMBS Developpements). As condições cromatográficas foram: gás de arraste nitrogênio em vazão de 2,0 mL/minuto; temperatura inicial da coluna em 75°C, durante 4 minutos, elevando-se 10°C/minuto até 235°C; temperatura do detector em 280°C e do injetor em

250°C e injeção de 1 mL da amostra com tempo de corrida de 30 minutos. A identificação e a quantificação dos ácidos graxos foram feitas por comparação dos tempos de retenção dos padrões de ésteres metílicos (Supelco® 37 FAME Mix) aos da amostra.

As amostras de tecido hepático foram homogeneizadas em tampão HEPES-KOH 25 mM, pH 7,4, centrifugadas a 10.000 rpm (4°C por 30 minutos) e analisadas para determinação das atividades enzimáticas de glicose-6-fosfato desidrogenase (G6PD, E.C.1.1.1.49), de acordo com Graeve (1994), e enzima málica (EM, E.C.1.1.1.40), segundo metodologia descrita por Spina et al. (1966). A cinética enzimática foi monitorada por espectrofotometria ultravioleta com equipamento SpectroUV acoplado a um software UVWin v.5.0.1. O conteúdo de proteína solúvel total do fígado foi determinado pelo método de Bradford (1976) utilizando-se albumina sérica bovina (BSA) como padrão.

As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do programa SISVAR, proposto por Ferreira (2000) e as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott, a 5% de significância.

Resultados e Discussão

Os parâmetros limnológicos mantiveram-se dentro das faixas normais para tilápia-do-nylo. Os valores médios de pH, oxigênio dissolvido (DO₂) e temperatura foram 7,1, 4,77 mg/L e 24,7°C, respectivamente.

O peso final dos peixes foi de 287,2 ± 14,5 g. A suplementação de óleo às dietas não influenciou (P>0,05) os teores de umidade e cinzas do músculo dos animais, no entanto, de acordo com os resultados da análise de variância, é possível observar efeito significativo (P<0,05) das dietas sobre a porcentagem de lipídios e de proteína dos peixes (Tabela 3).

Os animais alimentados com dietas isoprotéicas, isoenergéticas e sem variações nos teores lipídicos totais normalmente não apresentam diferenças na composição química básica (Menoyo et al., 2003). No entanto, neste

estudo, houve alterações significativas nos teores de extrato etéreo e proteína das tilápias (P<0,05). Os animais alimentados com dietas contendo óleo de oliva, milho e soja comprovam a ocorrência de maior deposição lipídica muscular, acompanhada de menores teores protéicos, em comparação aos animais que receberam dietas com óleos de linhaça e de peixe. Esse fato pode estar relacionado à maior atividade de enzimas lipogênicas, favorecida pela composição em ácidos graxos dos lipídios presentes nas dietas, situação que proporciona um processo lipogênico mais acentuado e explica a maior deposição lipídica desses peixes.

Apesar das variações nestes parâmetros, as médias encontradas se aproximam das relatadas em estudos realizados por Aiura (2003), Luzia et al. (2003), Furuya et al. (2000), Araújo (1999), Viegas (1993), Maia & Rodriguez-Amaya (1984), entre outros, desconsiderando as diferenças atribuídas às condições em que as pesquisas foram realizadas.

Os teores de umidade e cinzas nos filés mantiveram-se uniformes entre os peixes e não foram influenciados (P>0,05) pelos tipos de óleo utilizados nas dietas. Os resultados – em média de 78% para umidade e 5,3% para cinzas – estão de acordo com a maioria dos estudos realizados com composição corporal de peixes de água doce, sobretudo tilápias. Os óleos adicionados às dietas alteraram o perfil lipídico muscular da tilápia e afetaram significativamente os teores dos ácidos palmítico (C16:0), palmitoléico (C16:1), α -linolênico (C18:3 n-3), eicosatrienóico (C20:3 n-6), araquidônico (C20:4 n-6) e eicosapentaenóico ou EPA (C20:5 n-3) (P<0,05). Em razão desses efeitos, observaram-se também alterações significativas nas proporções de ácidos graxos saturados e poliinsaturados (PUFAs), além dos teores de compostos da série ômega-6 (P<0,05) (Tabela 4).

Os ácidos graxos que compõem os lipídios musculares de tilápias refletem a variabilidade de ácidos graxos presentes na dieta. Peixes em cativeiro que recebem dietas contendo baixos níveis de PUFAs, por exemplo, apresentam perfil lipídico corporal pobre nestes ácidos graxos, fato constatado por vários pesquisadores em estudos com proporções

Tabela 3 - Composição química do músculo de tilápias-do-nylo (*Oreochromis niloticus*) alimentadas com dietas suplementadas com óleo

Dieta	Nutriente ¹			
	Umidade	Proteína	Extrato etéreo	Cinzas
Óleo de oliva	77,80 ± 0,82a	47,20 ± 2,63c	13,84 ± 1,18b	5,29 ± 0,74a
Óleo de milho	78,29 ± 0,66a	51,84 ± 1,42b	15,05 ± 1,54a	5,73 ± 0,90a
Óleo de soja	75,40 ± 5,62a	53,84 ± 8,87b	15,68 ± 1,15a	5,40 ± 0,50a
Óleo de linhaça	78,04 ± 0,85a	65,50 ± 1,25a	10,27 ± 0,56c	5,77 ± 1,02a
Óleo de peixe	78,46 ± 0,73a	64,31 ± 3,31a	8,30 ± 0,66d	5,29 ± 1,01a

¹ Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem (P>0,05) estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott.

Tabela 4 - Perfil de ácidos graxos do tecido muscular de tilápia nilótica (*O. niloticus*) e efeito dos tratamentos nestes percentuais

Ácido graxo ¹	Dieta				
	Óleo de oliva	Óleo de milho	Óleo de soja	Óleo de linhaça	Óleo de peixe
C16:0	25,96 ± 1,54a	20,84 ± 2,08b	21,11 ± 1,60b	21,69 ± 1,57b	18,43 ± 1,35b
C16:1	3,65 ± 0,99a	2,13 ± 1,23b	2,52 ± 1,01b	4,26 ± 1,25a	4,32 ± 1,53a
C18:3 n3	0,69 ± 0,08b	0,60 ± 0,20b	0,57 ± 0,10b	1,07 ± 0,15a	0,53 ± 0,17b
C20:3 n6	1,40 ± 0,29b	1,74 ± 0,37a	1,74 ± 0,22a	1,39 ± 0,26b	1,17 ± 0,47b
C20:4 n6	6,58 ± 1,48b	8,15 ± 0,95a	9,28 ± 1,15a	6,19 ± 1,71b	5,81 ± 1,16b
C20:5 n3	0,83 ± 0,31b	0,58 ± 0,19b	0,75 ± 0,56b	1,10 ± 0,59b	1,75 ± 0,42a
Totais					
n6	20,87 ± 1,75b	24,04 ± 1,34a	25,33 ± 1,23a	21,42 ± 1,47b	19,71 ± 1,64b
Saturados	38,14 ± 3,37a	30,74 ± 2,71b	31,12 ± 1,73b	35,12 ± 3,09a	27,16 ± 3,39b
Poliinsaturados	26,98 ± 2,28b	30,52 ± 1,87a	33,60 ± 2,05a	29,02 ± 3,85b	29,23 ± 2,95b

¹ Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem (P>0,05) estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott.

diferenciadas de lipídio para espécies de água doce (Henderson & Tocher, 1987; Moreira et al., 2001; Maia, 1992).

O efeito da composição da dieta no perfil lipídico muscular foi observado nos animais deste estudo, no qual os peixes alimentados com dieta contendo óleo de linhaça apresentaram os teores mais elevados de ácido α -linolênico (1,07%); os alimentados com dietas ricas em óleo de milho e soja, os teores mais elevados de ácido araquidônico (8,15 e 9,28%); e os animais que receberam dietas formuladas com óleo de peixe apresentaram teores mais elevados do EPA (1,75%). Justi et al. (2003), avaliando dietas contendo óleo de linhaça para tilápias como forma de enriquecimento em ômega-3, observaram valores semelhantes de ácido α -linolênico nos filés (média de 1,04%). O teor encontrado para o EPA é condizente também com a proporção média, de 1,98%, observada por Andrade et al. (1995) ao avaliarem a influência dos ácidos graxos dietéticos para peixes de água doce, em condições semelhantes.

As fontes de óleo utilizadas nas rações influenciaram (P<0,05) a atividade das enzimas hepáticas avaliadas, glicose-6-P desidrogenase e enzima málica (Tabela 5).

A atividade hepática das enzimas lipogênicas estudadas foi mais elevada nos animais que receberam dietas formuladas com os óleos de oliva, milho e soja, em comparação aos alimentados com dietas contendo óleo de linhaça e peixe. Esse fato está relacionado à proporção diferenciada de ácidos graxos insaturados das fontes de óleo utilizadas. As dietas formuladas com óleo de oliva, milho e soja apresentam altas proporções de ácidos graxos monoinsaturados e poliinsaturados na série ômega-6, o que predispõe a maior atuação das enzimas que participam dos processos de lipogênese e armazenamento lipídico.

Pesquisas realizadas com ratos comprovam que dietas contendo PUFA's ômega-3 reduzem significativamente a lipogênese hepática (Zampelas et al., 1995), o que explica,

em parte, a menor atuação das enzimas lipogênicas nos peixes alimentados com dietas contendo óleo de linhaça e óleo de peixe, ricas em PUFA ômega-3, nos dois experimentos realizados.

Os processos lipogênicos observados em peixes seguem o mesmo padrão que para os animais mamíferos. Na formação dos ácidos graxos, as rotas metabólicas requerem quantidades específicas de energia reduzida, sob a forma de NADPH. Em peixes, a principal fonte metabólica de NADPH é a fase oxidativa da via das pentoses fosfatadas, catalisada, entre outras enzimas, pela glicose-6-P desidrogenase (G6PD). A EM, atuante no ciclo do piruvato/malato, contribui também para o suprimento de NADPH, ainda que em menor proporção (Salway, 1994).

A atividade destas enzimas é normalmente afetada pela temperatura da água e por fatores hormonais, mas principalmente pela composição da dieta e pela frequência de alimentação e podem ser utilizada como indicador do perfil nutricional de algumas espécies (Méton et al., 2003; Sanden et al., 2003; Fritz & Kletzien, 1987, citados por Sanden et al., 2003).

Sabe-se que, em mamíferos, a via das pentoses supre aproximadamente 60% do NADPH requerido nos processos lipogênicos e que somente 40% é proveniente da ação da EM (Salway, 1994), fato verificado também em peixes, nos quais a participação da G6PD no fornecimento de energia para os processos lipogênicos é geralmente maior que a de EM. No entanto, a contribuição da EM é essencial e pode variar de acordo com a espécie, a idade e o perfil fisiológico, entre outros fatores. Estudos com piracanjuba (*B. orbignyanus*) em condições controladas indicam que a atividade da EM representa aproximadamente 50% da atividade da G6PD (Borba et al., 2003). Entretanto, Figueiredo-Silva et al. (2005), reportaram valores muito próximos de atividade de G6PD e de EM para trutas, com médias de 0,110 e 0,100 U/mg de proteína, respectivamente.

Tabela 5 - Efeito dos tratamentos na atividade das enzimas málica e glicose-6-P desidrogenase (em U/mg de proteína) no tecido hepático de tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*)

Dieta	Atividade enzimática ¹	
	Enzima málica	Glicose-6-P desidrogenase
Óleo de oliva	0,048 ± 0,001a	0,290 ± 0,006a
Óleo de milho	0,037 ± 0,006b	0,236 ± 0,026b
Óleo de soja	0,041 ± 0,003b	0,220 ± 0,016b
Óleo de linhaça	0,024 ± 0,003c	0,136 ± 0,008c
Óleo de peixe	0,015 ± 0,002d	0,101 ± 0,006d

¹ Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem (P>0,05) estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott.

Dados da literatura indicam que a atividade destas enzimas em peixes é de 0,109 a 0,920 U/mg de proteína para G6PD e 0,013 a 0,082 U/mg de proteína para EM (Dias et al., 2004; Borba et al., 2003; Metón et al., 2003; Regost et al., 2001; Dias et al., 1998). Esta ampla faixa de variação pode ser atribuída à diversidade, não só de espécies estudadas, mas também das condições experimentais em que estes ensaios são realizados. Regost et al. (2001), por exemplo, encontraram atividades médias de G6PD e de EM de 0,220 e 0,050 U/mg de proteína, respectivamente, para turbot (*Psetta máxima*) alimentados com óleo de peixe na dieta. Estes dados são os que mais se aproximam dos resultados obtidos neste estudo, de 0,101 e 0,015 U/mg de proteína para G6PD e EM, respectivamente.

Conclusões

Nas condições em que o experimento foi realizado, a lipogênese em tilápias nilóticas (*Oreochromis niloticus*) é influenciada pela composição lipídica da dieta, sobretudo as atividades hepáticas da glicose-6-P desidrogenase e da enzima málica, o que reflete na composição química muscular desses animais, evidenciando maior deposição lipídica nos peixes alimentados com dietas ricas em ácidos graxos monoinsaturados e poliinsaturados ômega-6, que favorecem a atividade destas enzimas. A nutrição, portanto, é o principal fator determinante da maior ou menor taxa lipogênica nesta espécie.

Literatura Citada

- AIURA, F.S. **Efeito do tanino sobre a deposição lipídica, composição em ácidos graxos e rendimento de filé de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)**. Jaboticabal: Universidade Estadual de São Paulo, 2003. 55p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Estadual de São Paulo, 2003.
- ALVAREZ, M.J.; DIEZ, A.; LOPEZ-BOTE, C. et al. Short-term modulation of lipogenesis by macronutrients in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) hepatocytes. **British of Journal Nutrition**, v.84, p.619-628, 2001.
- ANDRADE, A.D.; RUBIRA, A.F. MATSUSHITA, M. Omega-3 fatty acids in freshwater fish from south Brazil. **American Oil Chemistry Society**, v.72, p.1207-10, 1995.
- ARAUJO, M.G. **Influência de rações formuladas com milho processado e amido de milho sobre o desempenho e composição corporal da tilápia (*Oreochromis Niloticus* Linnaeus, 1757)**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 1999. 56p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Lavras.
- BORBA, M.R.; FRACALLOSSI, D.M.; PEZZATO, L.E. et al. Growth, lipogenesis and body composition of piracanjuba (*Brycon orbignyanus*) fingerlings fed different dietary protein and lipid concentrations. **Aquatic Living Resources**, v.16, p.362-369, 2003.
- BRADFORD, M.M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analysis Biochemistry**, v.72, p.248-254, 1976.
- DIAS, J.; RUEDA-JASSO, R.; PANSERAT, S. et al. Effect of dietary carbohydrate-to-lipid ratios on growth, lipid deposition and metabolic hepatic enzymes in juvenile Senegalese sole (*Solea senegalensis*, Kaup). **Aquaculture Research**, v.35, p.1122-1130, 2004.
- DIAS, J.; ALVAREZ, M.J.; DIEZ, A. et al. Regulation of hepatic lipogenesis by dietary protein/energy in juvenile European seabass (*Dicentrarchus labrax*). **Aquaculture**, v.161, p.169-186, 1998.
- FERREIRA, D.F. **SISVAR Sistema de análise estatística para dados balanceados**. Lavras: UFLA/DEX, 2000. (CD-ROM).
- FIGUEIREDO-SILVA, A.C.; REMA, P.; BANDARRA, N.M. et al. Effects of dietary conjugated linoleic acid on growth, nutrient utilization, body composition and hepatic lipogenesis in rainbow trout juveniles (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, v.248, p.163-172, 2005.
- FOLCH, J.; LEES, M.; SLOANE-STANLEY, G.H. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. **Journal of Biology and Chemistry**, v.226, p.497-509, 1957.
- FOUFELLE, F.; PERDEREAU, D.; GOUHOT, B. et al. Effect of diets rich in medium-chain and long-chain triglycerides on lipogenic-enzyme gene expression in liver and adipose tissue of the weaned rat. **European Journal of Biochemistry**, v.208, p.381-387, 1992.
- FURUYA, W.M.; HAYASHI, C.; FURUYA, V.R.B. et al. Exigência de proteína para alevino revertido de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.6, p.1912-1917, 2000.
- GRAEVE, K. Purification, characterization and cDNA sequence of glucose-6-phosphate dehydrogenase from potato (*Solanum tuberosum* L.). **Plant Journal**, v.5, n.3, p.353-361, 1994.
- HENDERSON, R.J.; TOCHER, D.R. The lipid composition and biochemistry of freshwater fish. **Progress Lipid Research**, v.26, p.281-347, 1987.
- JUSTI, K.C.; HAYASHI, C.; VISENTAINER, J.V. et al. The influence of feed supply time on the fatty acid profile of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed on a diet enriched with n-3 fatty acids. **Food Chemistry**, v.80, p.489-493, 2003.
- LUZIA, L.A.; SAMPAIO, G.R.; CASTELLUCCI, C.M.N. et al. The influence of season on the lipid profiles of five commercially important species of Brazilian fish. **Food Chemistry**, p.1-5, 2003.
- MAIA, E.L. **Otimização da metodologia para caracterização de constituintes lipídicos e determinação da composição em ácidos graxos e aminoácidos de peixes de água doce**. Campinas: Universidade de Campinas, 1992. 242p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Universidade de Campinas, 1992.

- MAIA, E.L.; RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. Composição em ácidos graxos de peixes de água doce do rio Amazonas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 7., 1984, Fortaleza. **Resumos...** Fortaleza: [s.n.], 1984. p.226-227.
- MENOYO, D.; LOPEZ-BOTE, C.J.; BAUTISTA, J.M. et al. Growth, digestibility and fatty acid utilization in large Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed varying levels of n-3 and saturated fatty acids. **Aquaculture**, v.225, p.295-307, 2003.
- MÉTTON, I.; FERNÁNDEZ, F.; BAANANTE, I.V. Shot- and long-term effects of refeeding on key enzyme activities in glycolysis-gluconeogenesis in the liver of gilthead seabream (*Sparus auratus*). **Aquaculture**, v.225, p.99-107, 2003.
- MOREIRA, A.B.; VISENTAINER, J.V.; SOUZA, N.E. et al. Fatty acids profile and cholesterol contents of three brazilian *Brycon* freshwater fishes. **Journal Food Composition Analysis**, v.14, p.565-574, 2001.
- NIELSEN, N.S.; GOTTSCHKE, J.R.; HOLM, J. et al. Effect of structured lipids based on fish oil on the growth and fatty acid composition in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, v.250, p.411-423, 2005.
- REGOST, C.; ARZEL, J.; CARDINAL, M. et al. Dietary lipid level, hepatic lipogenesis and flesh quality in turbot (*Psetta maxima*). **Aquaculture**, v.193, p.291-309, 2001.
- SALWAY, J.G. **Metabolism at a glance**. London: Balckwell Science, 1994. 95p.
- SANCHEZ-MUROS, M.J.; GARCIA-REJON, L.; LUPIANEZ, J.A. et al. Long-term nutritional effects on the primary liver and kidney metabolism in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). II. Adaptative response of glucose-6-phosphate dehydrogenase activity to high- carbohydrate/low-protein and high-fat/non-carbohydrate diets. **Aquaculture Nutrition**, v.2, p.193-200, 1996.
- SANDEN, M.; FRØYLAND, L.; HEMRE, G.I. Modulation of glucose-6-phosphate dehydrogenase, 6-phosphogluconate dehydrogenase and malic enzyme activity by glucose and alanine in Atlantic salmon, *Salmo salar* L. hepatocytes. **Aquaculture**, v.221, p.469-480, 2003.
- SILVA, D.J. **Análise de alimentos** (Métodos químicos e biológicos). 2.ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 1998. 165p.
- SIPAÚBA-TAVARES, L.H. **Limnologia aplicada à aquíicultura**. Jaboticabal: FUNEP, 1994. 70p.
- SPINA, J.; BRIGHT, H.J.; ROSENBLOOM, J. Purification and properties of L-malic enzyme from *Escherichia coli*. **Biochemistry**, v.9, p.29-39, 1966.
- TOCHER, D.R. Metabolism and functions of lipids and fatty acids in teleost fish. **Fisheries Science**, v.11, n.2, p.107-184, 2003.
- VIEGAS, E.M.M. **Efeito da utilização do destilado da desodorização do óleo de soja e do óleo de palma bruto sobre o crescimento e composição corporal de tambaqui (*Collossoma macropomum*)**. Campinas: Universidade de Campinas, 1993. 128p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade de Campinas, 1993.
- WANG, J.T.; LIU, L.X.; MAI, K.S. et al. Effect of dietary lipid level on growth performance, lipid deposition, hepatic lipogenesis in juvenile cobia (*Rachycentron canadum*). **Aquaculture**, v.249, p.439-447, 2005.
- ZAMPELAS, A.; MORGAN, L.M.; FURLONGER, N. et al. Effects of dietary fatty acid composition on basal and hormonestimulated hepatic lipogenesis and on circulating lipids in the rat. **British Journal of Nutrition**, v.74, p.381-392, 1995.