

RENATO BARBOSA FERRAZ

FONTES DE ÓLEOS EM DIETAS PARA LAMBARI-DO-RABO-AMARELO
(Astyanax altiparanae) **SUBMETIDOS AO DESAFIO PELO FRIO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2015

RENATO BARBOSA FERRAZ

FONTES DE ÓLEOS EM DIETAS PARA LAMBARI-DO-RABO-AMARELO
(Astyanax altiparanae) **SUBMETIDOS AO DESAFIO PELO FRIO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 7 de agosto de 2015

Jener Alexandre Sampaio Zuanon

Daniel Abreu Vasconcelos Campelo

Maria do Carmo Gouveia Peluzio

Ana Lúcia Salaro
(Orientadora)

“O que sabemos é uma gota;
O que ignoramos é um oceano.”

Issac Newton

OFEREÇO E DEDICO AOS MEUS PAIS

Dedico este sonho realizado a minha mãe Aldina Maria Ferraz (in memoria) que me educou e mostrou qual o verdadeiro sentido do amor. Agradeço a Deus por ter me dado ela como tutora por um tempo aqui na terra, e principalmente por ela ter me ensinado qual o sentido da vida, que é amar a Deus acima de todas as coisas e ao próximo como a se mesmo. Dedico também ao meu pai José Barbosa Fialho que sempre estimulou aos estudos em primeiro lugar.

AGRADECIMENTO ESPECIAL

Agradeço a minha orientadora Ana Lúcia Salaro pela oportunidade e momentos de aprendizados propostos. Oportunidade por ter me confiado um projeto de relevância internacional e pelos momentos vividos juntos, de todos os momentos que eu me comportava de modo inadequado e ela sempre mostrando o correto jeito de agir, agradeço pela paciência. E como eu costumo brincar, “pegou para criar, cria até o final”, assim foi durante a graduação e mestrado, pena que não posso fazer o doutorado com sua orientação, mas tenho certeza que continuarei com seus aprendizados pelo resto da vida. Lúcia fica aqui os meus sinceros agradecimentos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a **Deus**, que me deu a oportunidade de realizar um sonho que é ser mestre, se hoje me torno mestre é porque Ele me mostrou o caminho e deixou as portas abertas para isso, sei que continuará me guiando, e, portanto não preciso ter medo do futuro, isso é o meu maior alento;

À **Universidade Federal de Viçosa**, pela estrutura e oportunidade para realização do mestrado em Biologia Animal, possibilitando a conquista do meu título de Mestre;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (**CNPq**) pela concessão da bolsa de estudo; e a Fundação de Amparo à Pesquisa do estado de Minas Gerais (**FAPEMIG**) pelo financiamento do projeto durante o mestrado. E ainda quando graduando em zootecnia, agradeço ao CNPq e a FAPEMIG pela concessão de bolça para o desenvolvimento do projeto de iniciação científica. ;

À **Profa. Dra. Ana Lúcia Salaro** pela orientação e dedicação dispensada a mim durante meu mestrado;

Ao **Prof. Dr. Jener Alexandre Sampaio Zuanon**, pelas inúmeras ajudas e discussões que contribuíram para o atual trabalho;

À **Profa. Dra. Maria do Carmo Gouveia Peluzio**, pela disponibilização do Laboratório de Bioquímica Nutricional (LABIN) para análises e por ajudar na dissertação.

À Professora **Mariella Bontempo Freitas** pela disponibilização do Laboratório de Ecofisiologia de Quirópteros, e a Doutoranda **Jerusa Oliveira** e mestranda **Nicole Fontes Losano** pela ajuda nas análises;

Ao **Prof. Dr. Edênio Detmann** por disponibilizar o Laboratório de Análise de Alimento para análises química das amostras;

Aos Professores membros da banca examinadora, **Ana Lúcia Salaro, Jener Alexandre Sampaio Zuanon, Maria do Carmo Gouveia Peluzio e Daniel Abreu Vasconcelos Campelo** pelas contribuições que muito enriqueceram meu trabalho;

Ao **Dr Daniel Abreu Vasconcelos Campelo** e a doutoranda **Jerusa Oliveira** pelas sugestões e contribuições que enriqueceram este trabalho;

Aos pós-graduados em Biologia Animal **Daniel Abreu Vasconcelos Campelo, Marcelo Duarte Pontes, Alfredo Rubén Palomino Ramos, Frederico Werneck Lima e Uyara Duarte Vieira, Márcio Yoshiyuki Kanashiro, Pollyanna Ferreira e Sedy Moreira Reis** que durante o tempo de convívio na Piscicultura sempre se dispuseram a me

ajudar com seus conhecimentos e também na prática, a vocês que se tornaram mestre antes de mim me baseio para conseguir fazer minha parte com a mesma qualidade e dedicação;

Aos estudantes do programa de Pós-Graduação em Biologia Animal: **Magnus Cossi, Mariana Molica, José Carlos de Oliveira Junior, Willian Chaves, Weliton Emily Oliveira Becker** que se dispuseram a qualquer tipo de ajuda a todo o tempo, ao companheirismo e amizade ao dia a dia, e aos momentos de diversão.

Aos estudantes de Iniciação Científica e Estagiários do Setor de Piscicultura do Departamento de Biologia Animal, **André Luiz Fialho Ladeira, Cristiana Leonor da Silva Carneiro e José Francisco Luciano** pela dedicação e colaboração durante o desenvolvimento do meu experimento;

Aos funcionários do Setor de Piscicultura da UFV, **João Antônio de Oliveira e José Francisco Delfino** por toda a ajuda prestada;

Aos funcionários da Secretaria do Departamento de Biologia Animal **Nilo Souza e Lúcia Helena Campos**, por mostrarem-se sempre dispostos a ajudar, além dos momentos de distração e alegria proporcionados;

Ao ex-funcionário **Helvécio de Freitas** e aos atuais funcionários do Departamento de Biologia Animal e **Geraldo Pereira Filho, Emilia Wakin de Almeida Costa**, por toda ajuda prestada;

Ao secretário do Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal **Adnílson Brasileiro**, pelos vários esclarecimentos e ajudas dadas durante minha formação;

Agradeço também aos meus familiares e amigos

Aos meus irmãos **Alex Barbosa Ferraz e Tiago Barbosa Ferraz**, que por serem mais velhos sempre me ensinaram como deve ser feitas as coisas, uma frase do Alex que eu nunca me esquecerei “*se você for fazer alguma coisa, faça-a bem feita ou não a faça*“, do Tiago lembro me da sua garra e dedicação, mostrando que quando deseja algo e corre atrás, este será seu. A minha nova família que a vida me deu, A **Maria Denise Teixeira** minha madrasta que sempre abriu a porta de sua casa me fazendo sentir à vontade e aos meus irmãos **Gisele Teixeira Gomes, Isabela Teixeira Gomes e Gustavo Teixeira Gomes** pelo companheirismo e momentos felizes juntos.

A minha Tia **Maria Geralda de Paula**, que sempre falou ser minha segunda mãe e na verdade tornou-se a primeira, por todo o carinho e dedicação, a saudade da família seria maior se não fosse suas ligações semanais.

Aos amigos de Viçosa, aos da graduação que se tornaram minha família durante aqueles cinco anos, que me ajudaram a desenvolver cientificamente e pessoalmente, a minha república que sempre foi um lar, onde pude ter grandes amigos, em especial aos atuais integrantes: **Fábio Fernandes Maia, Matheus Valentim Maia e Vander Luis Novaes**, e aos novos amigos que fiz no mestrado, em especial ao grupo dos lolozeiros que foram grandes amigos durante meu mestrado, mostrando que a vida sempre tem potencial de renovo, que o futuro sempre traz coisas inimagináveis. Deixo aqui um agradecimento especial para **Nicole Fontes Losano**, que foi companheira em todas as horas, sem você meu mestrado não teria a mesma graça.

Aos amigos de infância **Thamires Caetano Gonsalves, Joice Pedroso, Georgia Drumond, Carliana Paiva, Maurício Paiva, Guilherme Nunes, Pedro Nunes e Rafael Guerra**, que fomos criados juntos e que apesar da simplicidade sempre soubemos aproveitar nossa infância e adolescência muito bem. Estas lembranças apesar de antigas são muito agradáveis. Vocês eu nunca esquecerei.

Ao meu professor de inglês **Rodrigo Fontes Ferreira**, que além de me ensinar inglês com uma metodologia inovadora, se tornou um amigo proporcionando não apenas momentos de cultura, mas também momentos de lazer.

E por fim, agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste projeto.

BIOGRAFIA

Renato Barbosa Ferraz, filho de Aldina Maria Ferraz e José Barbosa Fialho, nasceu em 21 de Dezembro de 1989 na cidade Ipatinga, Minas Gerais, Brasil.

Graduou-se em Zootecnia, em Maio de 2013 pela Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Ingressou no programa de Pós-Graduação em Biologia Animal, em nível de Mestrado, em julho de 2013, pelo Departamento de Biologia Animal na Universidade Federal de Viçosa (UFV), defendendo a dissertação em 7 de agosto de 2015.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABELAS	xii
RESUMO	xv
ABSTRACT	xviii
INTRODUÇÃO GERAL	1
CONSIDERAÇÕES INICIAIS	3
Principais fontes de lipídios em dietas para peixes.....	7
Ácidos graxos das famílias n-3 e n-6 para a saúde humana	9
Respostas de estresse	10
Lambari-do-rabo-amarelo (<i>Astyanax altiparanae</i>)	14
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	16
CAPITULO 1	25
Resumo	25
Introdução	28
Material e métodos.....	30
Dietas experimentais.....	30
Condições Experimentais	35
Desempenho Produtivo	35
Perfil de ácidos graxos da carcaça dos peixes	36
Respostas de estresse	36
Estresse oxidativo	37
Análise estatística	38
Resultados	38
Desempenho produtivo e composição química da carcaça	38
Perfil de ácidos graxos da carcaça.....	40
Resposta de estresse	54
Estresse oxidativo	56
Discussão	58

Conclusões	61
AGRADECIMENTOS	62
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
ANEXOS	68

LISTA DE FIGURAS

- Figura 01: A biossíntese de ácidos graxos de cadeia longa polinsaturados, araquidônico (ARA), eicosapentaenóico (EPA), e docosa-hexaenóico (DHA), em vertebrados, adaptado de James Henderson, 1987.....5
- Figura 02: Sistema de defesa antioxidante composto por uma série de enzimas antioxidantes para minimizar o estresse oxidativo em peixes, adaptado de Tiwari, 2004.....13

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Perfil de ácidos graxos das diferentes fontes de óleos (óleos de peixe, soja, linhaça, palma e coco), utilizados nas dietas experimentais.....	32
Tabela 02. Composição percentual e química das dietas experientais com as diferentes fontes de óleos: Peixe (OPx), Soja (OSj), Linhaça (OLn), Palma (OPa),Coco (OCc) utilizadas na alimetação do lambari-do-rabo-amarelo (<i>Astyanax altiparanae</i>) em fase de crescimento.....	33
Tabela 03. Perfil de ácidos graxos das dietas experientais com as diferentes fontes de óleos: Peixe (OPx), Soja (OSj), Linhaça (OLn), Palma (OPa),Coco (OCc) utilizadas na alimentação do lambari-do-rabo-amarelo (<i>Astyanax altiparanae</i>) em fase de crescimento.....	34
Tabela 04: Valores médios e coeficiente de variação dos parâmetros de desempenho produtivo de lambari-do-rabo-amarelo (<i>Astyanax altiparanae</i>) em fase de crescimento alimentados com dietas contendo diferentes fontes de lipídios (óleo de peixe, soja, linhaça, palma e coco).....	39
Tabela 05: Valores médios e coeficiente de variação das variáveis da composição química da carcaça de lambari-do-rabo-amarelo (<i>Astyanaxaltiparanae</i>) em fase de crescimento alimentados com dietas contendo diferentes fontes lipídicas (óleo de peixe, soja, linhaça, palma e coco).....	40
Tabela 06: Perfil de ácidos graxos da carcaça de lambari-do-rabo-amarelo (<i>Astyanax altiparanae</i>) em fase de crescimento alimentados com dietas contendo diferentes fontes lipídicas (óleo de peixe, soja, linhaça, palma e coco) submetidos a frio.....	42/43
Tabela 07: Efeito das fontes de óleos antes e após o desafio pelo frio para o ácido graxo 12:0.....	44
Tabela 08: Efeito do desafio pelo frio entre as fontes de óleos para o ácido graxo 12:0.....	44
Tabela 09: Efeito das fontes de óleos antes e após o desafio pelo frio para o ácido graxo 13:0.....	44
Tabela 10: Efeito do desafio pelo frio entre as fontes de óleos para o ácido graxo 13:0.....	44
Tabela 11: Efeito das fontes de óleos antes e após o desafio pelo frio para o ácido graxo 15:0	45
Tabela 12: Efeito do desafio pelo frio entre as fontes de óleos para o ácido graxo 15:0.....	45

Tabela 13: Efeito das fontes de óleos antes e após o desafio pelo frio para o ácido graxo 14:0.....	45
Tabela 14: Efeito do desafio pelo frio entre as fontes de óleos para o ácido graxo 14:0.....	45
Tabela 15: Efeito das fontes de óleos antes e após o desafio pelo frio para o ácido graxo 16:0.....	46
Tabela 16: Efeito do desafio pelo frio entre as fontes de óleos para o ácido graxo 16:0.....	46
Tabela 17: Efeito das fontes de óleos antes e após o desafio pelo frio para o ácido graxo 20:0.....	46
Tabela 18: Efeito do desafio pelo frio entre as fontes de óleos para o ácido graxo 20:0.....	46
Tabela 19: Efeito das fontes de óleos antes e após o desafio pelo frio para o ácido graxo 22:0.....	47
Tabela 20: Efeito do desafio pelo frio entre as fontes de óleos para o ácido graxo 22:0.....	47
Tabela 21: Efeito das fontes de óleos antes e após o desafio pelo frio para o ácido graxo 14:1.....	49
Tabela 22: Efeito do desafio pelo frio entre as fontes de óleos para o ácido graxo 14:1.....	49
Tabela 23: Efeito das fontes de óleos antes e após o desafio pelo frio para o ácido graxo 15:1.....	49
Tabela 24: Efeito do desafio pelo frio entre as fontes de óleos para o ácido graxo 15:1.....	49
Tabela 25: Efeito das fontes de óleos antes e após o desafio pelo frio para o ácido graxo 16:1.....	50
Tabela 26: Efeito do desafio pelo frio entre as fontes de óleos para o ácido graxo 16:1.....	50
Tabela 27: Efeito das fontes de óleos antes e após o desafio pelo frio para o ácido graxo 17:1.....	50
Tabela 28: Efeito do desafio pelo frio entre as fontes de óleos para o ácido graxo 17:1.....	50
Tabela 29: Efeito das fontes de óleos antes e após o desafio pelo frio para o ácido graxo 20:1n-9.....	51
Tabela 30: Efeito do desafio pelo frio entre as fontes de óleos para o ácido graxo 20:1n-9.....	51
Tabela 31: Efeito das fontes de óleos antes e após o desafio pelo frio para o ácido graxo 22:1n-9.....	51
Tabela 32: Efeito do desafio pelo frio entre as fontes de óleos para o ácido graxo 22:1n-9.....	51

Tabela 33: Efeito das fontes de óleos antes e após o desafio pelo frio para o ácido graxo 18:2 n-6.....	52
Tabela 34: Efeito do desafio pelo frio entre as fontes de óleos para o ácido graxo 18:2 n-6.....	53
Tabela 35: Efeito das fontes de óleos antes e após o desafio pelo frio para o ácido graxo 20:3n-3.....	53
Tabela 36: Efeito do desafio pelo frio entre as fontes de óleos para o ácido graxo 20:3n-3.....	53
Tabela 37: Valores médios e coeficiente de variação das respostas de estresse (cortisol, glicose e lactato plasmáticos) de lambari-do-rabo-amarelo (<i>Astyanaxaltiparanae</i>) em fase de crescimento, alimentados com dietas contendo diferentes fontes lipídicas (óleo de peixe, soja, linhaça, palma e coco) submetidos ao desafio pelo frio.....	55
Tabela 38: valores médios do produto da peroxidação lipídica malondialdeído (MDA) e da atividade das enzimas antioxidantes superóxido dismutase (SOD) e glutathione S-transferase (GST) de lambari-do-rabo-amarelo (<i>Astyanaxaltiparanae</i>) submetidos a dietas com diferentes fontes lipídicas (óleo de peixe, soja, linhaça, palma e coco) submetidos a frio.....	57

RESUMO

FERRAZ, Renato Barbosa, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2015. **Fontes de óleos em dietas para lambari-do-rabo-amarelo (*Astyanax altiparanae*) submetidos ao desafio pelo frio.** Orientadora: Ana Lúcia Salaro. Coorientadores: Priscila Vieira Rosa e Camila Rocha da Silva.

A intensificação da produção aquícola ocasionou maior demanda por produtos oriundos de coprodutos dos peixes, como a farinha e óleo. A preocupação socioambiental e o declínio dos estoques pesqueiros, principalmente os de origem marinha, têm restringido a produção destes coprodutos. Vários estudos estão direcionados para a utilização de fontes alternativas a estes coprodutos na confecção de dietas para os peixes, destacando as de origem vegetal. O lambari-do-rabo-amarelo (*Astyanax altiparanae*) apresenta ampla distribuição geográfica, hábito alimentar onívoro, maturidade sexual precoce, alto rendimento de carcaça e nos últimos anos, vem sendo proposto como modelo experimental. Portanto, com este estudo objetivou-se avaliar o efeito de fontes de óleos com diferentes composições de ácidos graxos e do desafio pelo frio em lambari-do-rabo-amarelo (*Astyanax altiparanae*) em fase de crescimento. O experimento foi realizado em duas fases consecutivas, ambas em delineamento inteiramente casualizado com cinco tratamentos (óleos de peixe, soja, linhaça, palma e coco) e oito repetições, na primeira fase e três na segunda. Na primeira fase, peixes em crescimento ($1,44 \pm 0,20$ g e $3,23 \pm 0,20$ cm) foram distribuídos em 40 aquários (20 peixes/aquário), em sistema de recirculação de água (vazão de 1 litro/min), dotados de filtro mecânico, biológico e aeração contínua. A temperatura da água foi mantida em $27,17 \pm 0,92^\circ\text{C}$, o pH permaneceu em $7,6 \pm 0,357$, a amônia em $0,2 \pm 0,11$ mg/Le o oxigênio dissolvido entre 6,5 a 7,5mg/L. Os peixes foram alimentados com as dietas experimentais por 106 dias. Após este período peixes ($2,69 \pm 0,87$ g) de três repetições por tratamento foram transferidos para o Laboratório de Bioclimatologia para a realização da segunda fase experimental (desafio pelo frio). Os peixes foram distribuídos em 15 aquários (13 peixes/aquário) e alimentados com as mesmas dietas experimentais por mais sete dias. A temperatura da água dos aquários foi mantida a $21,12^\circ\text{C} \pm 0,79^\circ\text{C}$, o pH, a amônia e o oxigênio dissolvido permaneceram em 6,85, 0,50mg/Le 7,00mg/L, respectivamente. Ao final da primeira fase experimental peixes de cinco tratamentos foram anestesiados, medidos e pesados para a realização dos seguintes parâmetros zootécnicos: ganho em peso, conversão alimentar, taxas de

crescimento específico, ganho em comprimento e taxa de sobrevivência. Após a biometria dos peixes, os mesmos foram eutanasiados para avaliação do rendimento de carcaça eviscerada, dos índices gonadosossômico e hepatossômico e determinação do perfil de ácidos graxos. Foi coletado sangue dos peixes para a análise de glicose e lactato sanguíneo e cortisol plasmático. Fragmentos de brânquias foram coletados para análises de estresse oxidativo. Ao final da segunda fase experimental (desafio pelo frio) todos os peixes dos diferentes tratamentos também foram eutanasiados para coleta da carcaça para o perfil de ácidos graxos, sangue para as análises de glicose e lactato sanguíneos e cortisol plasmático e fragmentos de brânquias para avaliação do estresse oxidativo. A avaliação do efeito das fontes de óleo na dieta sobre as variáveis de desempenho produtivo, foi realizada por meio de análise de variância (ANOVA OneWay) e em caso de teste F significativo foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Para verificar o pressuposto de normalidade dos erros foi aplicado o teste de Lilliefors. Para verificar a homogeneidade das variâncias dos erros entre os tratamentos foi aplicado o teste de Bartlett. A avaliação do efeito das fontes de óleo na dieta e do desafio pelo frio sobre os as concentrações de cortisol, glicose e lactato plasmáticos, perfil de ácidos graxos das carcaças e Parâmetros bioquímicos do estresse oxidativo foi realizada por meio de análise de variância (ANOVA Two Way). Em caso de teste F significativo foi aplicado o teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade Houve efeito significativo das fontes de óleo apenas para a taxa de sobrevivência dos peixes ($p < 0,05$). Os peixes alimentados com os óleos de palma e coco apresentaram as menores taxas de sobrevivência quando comparadas com as dos peixes alimentados com as demais fontes de óleo, as quais não diferiram entre si. Não houve efeito das fontes de óleos para a taxa de sobrevivência dos peixes submetidos ao desafio pelo frio (segunda fase experimental). Houve efeito significativo das fontes de óleo para os lipídios totais ($p < 0,05$), onde os peixes alimentados com o óleo de coco apresentaram maior valor de lipídios totais quando comparados com aqueles alimentados com óleo de peixe, o qual não diferiu dos demais. Para os ácidos graxos saturados da carcaça dos peixes houve interação entre as fontes de óleo e o desafio pelo frio, para os ácidos graxos 12:0, 13:0, 14:0, 15:0, 16:0, 20:0 e 22:0. Para os ácidos graxos 17:0 e 18:0 houve efeito apenas da fonte de óleo. Para os ácidos graxos monoinsaturados da carcaça dos peixes houve interação entre as fontes de óleos e o desafio pelo frio para os ácidos graxos 14:1, 15:1, 16:1, 17:1, 20:1n-9 e 22:1n-9. Para o ácido graxo 18:1 houve efeito das fontes de óleos e do desafio pelo frio. Para os ácidos graxos polinsaturados houve interação entre as fontes

de óleo e o desafio pelo frio para os ácidos graxos 18:2n-6 e 20:3n-3. Houve efeito do desafio pelo frio para glicose e lactato sanguíneos dos peixes, com os maiores valores observados antes do desafio. Houve efeito das fontes de óleo para a atividade da enzima GST, onde os peixes alimentados com óleo de palma apresentaram maior atividade da enzima da GST do que dos peixes alimentados com os óleos de peixe, soja e linhaça. Houve efeito do desafio pelo frio para a atividade da enzima GST, com maior atividade da enzima observada antes do desafio. Com os dados obtidos conclui-se que os óleos de soja e linhaça promovem crescimento, saúde e qualidade de carcaça, equivalentes aos do óleo de peixe. Os óleos de palma e coco pioram a saúde e a qualidade da carcaça de *Astyanax altiparanae* em fase de crescimento. O desafio pelo frio causou redução do metabolismo e das defesas antioxidantes de *Astyanax altiparanae*.

ABSTRACT

FERRAZ, Renato Barbosa, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August, 2015. **Sources oils in diets for lambari-do-rabo-amarelo (*Astyanax altiparanae*) subject to challenge by the cold.** Advisor: Ana Lucia Salaro. Co-Advisors: Priscila Vieira Rosa and Camila Rocha da Silva.

The intensification of aquaculture production led to increased demand for products from fish co-products, such as flour and oil. The environmental concern and the decline of fish stocks, mainly of marine origin, have restricted the production of these co-products. Several studies are directed to the use of alternatives to these co-products in the production of diets for fish, highlighting of plant origin. The lambari-do-rabo-amarelo (*Astyanax altiparanae*) presents a wide geographical distribution, omnivorous feeding habit, early sexual maturity, high carcass yield and in recent years, the minnows has been proposed as an experimental model. Therefore, this study aimed to evaluate the effect of sources of oils with different compositions of fatty acids and challenge the cold in lambari-do-rabo-amarelo (*Astyanax altiparanae*) in the growth phase. The experiment was carried out in two consecutive phases, both in a completely randomized design with five treatments (fish oils, soy, linseed, palm and coconut) and eight repetitions in the first round and three in the second. In the first phase, growth in fish (1.44 ± 0.20 g and 3.23 ± 0.20 cm) were distributed in 40 tanks (20 fish / aquarium), water recirculation system (flow rate of 1 liter / min), equipped with mechanical filter, biological, and continuous aeration. The water temperature was maintained at 27.17 ± 0.92 ° C, the pH remained at 7.6 ± 0.357 , ammonia 0.2 ± 0.11 mg / l dissolved oxygen between 6.5 to 7, 5mg / L. The fish were fed the experimental diets for 106 days. Thereafter fish (2.69 ± 0.87 g) of three replicates per treatment were transferred to the Bioclimatology Laboratory for the realization of the second experimental phase. The water temperature was kept at aquariums $21,12 \pm 0.79$ ° C for fish challenge to cold. Fish were distributed in 15 tanks (13 fish / aquarium) and fed with the same experimental diets for seven days. The pH, ammonia and dissolved oxygen in the water remained at 6.85, 0.50mg / Le 7,00mg / L, respectively. At the end of the first experimental phase fish five treatments were anesthetized, measured and weighed to achieve the following performance parameters: weight gain, feed conversion, specific growth rates, gains in length and survival rate. After the fish biometrics, we were euthanized for assessment of the eviscerated carcass yield, the gonadosomatic and

hepatosomatic indices and determination of fatty acid profile. Fish blood was collected for glucose analysis and blood lactate and plasma cortisol. Fragmented gills were collected for analysis of oxidative stress. At the end of the second experimental phase all the fishes of the different treatments were also euthanized for housing the collection to the fatty acid profile, blood glucose tests and blood lactate and cortisol plasmatico and gills fragments for evaluation of oxidative stress. The evaluation of the effect of oil sources in the diet on the growth performance variables was performed through analysis of variance (ANOVA OneWay) and significant F test case was applied Tukey test 5% level of probability. To check the errors of assumption of normality Lilliefors the test was applied. The homogeneity of error variances between treatments was applied Bartlett test. The evaluation of the effect of oil sources in the diet and challenge the cold on the concentrations of cortisol, glucose and serum lactate, fatty acid profile of carcasses and biochemical parameters of oxidative stress was performed by analysis of variance (ANOVA Two Way). In case of significant F test was applied the Tukey test at 5% probability There was a significant effect of oil supplies only for fish survival rate ($p < 0.05$). Fish fed the palm and coconut oils had the lowest survival rates when compared to fish fed the other sources of oil, which did not differ. There was no effect of the sources of oils for fish survival rate subject to challenge by the cold (second experimental phase). Significant effect of oil sources for the total lipids ($p < 0.05$), where the fish fed the coconut oil had higher total lipids when compared to those fed fish oil, which did not differ from other. There was a significant challenge for the cold blood glucose and lactate fish, with the highest values observed before the challenge. Was no effect of oil supplies to the activity of GST enzyme, where the fish fed with palm oil had higher GST enzyme activity than fish fed fish oils, soybeans and flaxseed. There was a significant challenge for the cold to the activity of GST enzyme with increased enzyme activity observed before the challenge. The best indices in the survival rate, the lack of differentiation of the animal stress by levels of cortisol, glucose and lactate, and the lowest activity of GST enzyme, indicating that soy and linseed oils promote growth, health and carcass quality equivalent to fish oil. The palm and coconut oils worsen the health and quality of *Astyanax altiparanae* housing in the growth phase. The challenge caused by cold reduction of metabolism and antioxidant defenses *altiparanae* *Astyanax*.

INTRODUÇÃO GERAL

A utilização do óleo de peixe na alimentação dos organismos aquáticos é consagrada pelo fornecimento de energia e de ácidos graxos essenciais das famílias n-3 e n-6, como o eicosapentaenóico (EPA), docosaexaenóico (DHA) e o araquidônico (ARA) (NG, WANG, 2011). Porém com declínio dos estoques pesqueiros, principalmente os de origem marinha, a disponibilidade da farinha e do óleo de peixe vem sendo cada vez mais restrita (PÉRON et al., 2010). Para que se possa atender a crescente demanda do setor aquícola, novos recursos devem ser apontados para substituir tais ingredientes na formulação das dietas dos peixes.

Os óleos vegetais embora não sejam ricos em ácidos graxos de cadeia longa das famílias n-3 e n-6 (TURCHINI, 2005), apresentam seus precursores, os ácidos graxos linoléico (LA, 18: 2 n-6) e linolênico (ALA, 18: 3 n-3) (GLENCROSS, 2009; Y, 2011). A maioria dos peixes de água doce, diferente dos de água salgada e fria, são capazes de sintetizar os ácidos graxos eicosapentaenóico e docosaexaenóico a partir de seu precursor, o ácido graxo linolênico, assim como o ácido graxo araquidônico a partir do ácido graxo linoléico (TAPIEIRO et al., 2002; NORAMBUENA et al., 2013). Na síntese dos ácidos graxos eicosapentaenóico e araquidônico, a partir de seus precursores, pode ocorrer a produção de um ácido graxo em detrimento ao outro, uma vez que, seus precursores são substratos da mesma enzima, a $\Delta 6$ dessaturase (TOCHER, 2003, 2010) e esta tem maior afinidade por ácidos graxos da família n-3 (HENDERSON & TOCHER, 1987). Portanto, na produção do EPA e ARA seus substratos utilizam as mesmas vias enzimáticas de dessaturação e alongamento (BELL et al., 2003; CASTELL et al., 1972; GONÇALVES, 2012), o que torna necessário o fornecimento de uma adequada relação n6/n3 na dieta. A não adequada relação também pode ocasionar alterações nas respostas fisiológicas resultantes da atividade dos eicosanoides produzidos pelo EPA e ARA, uma vez que os derivados do ARA apresentam maior atividade em comparação com aqueles derivados do EPA (Suárez-Mahecha et al., 2002). A capacidade dos peixes de água doce em alongar e desaturar ácidos graxos de cadeia curta em longa, coloca as fontes de óleo vegetais como alternativas promissoras para a substituição do óleo de peixe em dieta dos peixes (LI et al., 2013a).

Os lipídios têm função energética e de fornecimento de ácidos graxos essenciais para peixes, e seu suplemento de forma indevida pode ocasionar em redução no

crescimento e no processo reprodutivo, aumento na taxa de mortalidade, miocardite, esteatose hepática, sangramento nas brânquias e lordose (GLENCROSS, 2009; TOCHER, 2010).

O lambari-do-rabo-amarelo (*Astyanax altiparanae*), também é conhecido como tambuí, piaba e piabinha. É um peixe de pequeno porte, que apresenta dimorfismo sexual aparente (PORTO-FORESTI et al, 2010) reprodução em cativeiro sem a necessidade do uso de hormônios e curto ciclo de produção (COTAN et al, 2006), o que possibilita a obtenção de animais prontos para o abate com cerca de três meses. Estas características permitem tornam esta espécie com potencial zootécnico e econômico para a aquicultura nacional. Portanto, com este estudo objetivou-se avaliar o efeito de fontes de óleos com diferentes composições de ácidos graxos e do desafio pelo frio em lambari-do-rabo-amarelo (*Astyanax altiparanae*) em fase de crescimento.

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Importância e metabolismo dos lipídios e dos ácidos graxos para peixes

Os lipídios são importantes fontes energéticas em dietas para peixes, devido ao alto valor energético (TOCHER, 2003) e boa digestibilidade (OLSEN et al., 1998), possuindo mais que o dobro de energia bruta que as proteínas e os carboidratos (BUREAU et al., 2002).

Os peixes obtêm energia preferencialmente oriunda dos lipídios presentes na dieta, provavelmente pela baixa oferta de carboidratos no ambiente aquático (TOCHER, 2003). A utilização ineficiente de carboidratos pelos peixes está associada à atividade das enzimas envolvidas nos processos digestivos do amido, as quais são influenciadas pelo hábito alimentar das espécies, uma vez que, a composição da dieta influencia a liberação das enzimas digestivas (DE SEIXAS FILHO et al., 2000).

A possibilidade da utilização dos lipídios como fontes energéticas contribui para que a proteína da dieta não seja utilizada como fonte de energia e sim para o crescimento do animal (LI et al., 2013b; MARTINO et al., 2002). Assim, é possível reduzir o uso de ingredientes proteicos nas dietas para peixes, levando a redução no custo de produção, e da excreção de nitrogênio para o meio (MCGOOGAN & GATLIN, 2000).

Os lipídios são fontes de ácidos graxos essenciais, os quais são fundamentais para o crescimento e desenvolvimento normal dos peixes, além de funções específicas, como absorção de substâncias lipossolúveis, liberação de hormônios e redução da velocidade de passagem do alimento pelo trato intestinal (BETERCHINI, 2006).

Os ácidos graxos são denominados saturados ou insaturados, em função da presença ou não de insaturações na sua cadeia carbônica. Os ácidos graxos saturados (AGS) não possuem insaturações na cadeia carbônica. Os insaturados são os ácidos graxos que possuem insaturações na cadeia carbônica e podem ser classificados em monoinsaturados (AGMI) quando apresentam apenas uma insaturação na cadeia carbônica, ou polinsaturados (AGPI) ou PUFAS (Polyunsaturated Fatty Acid) quando apresentam duas ou mais instaurações na cadeia carbônica. Os ácidos graxos polinsaturados são divididos em quatro famílias: as famílias n-3, n-6, n-7 e n-9 (SHAIKH, EDIDIN, 2006).

Os ácidos graxos saturados possuem propriedades benéficas para a saúde, por ser de fácil digestão e a absorção, principalmente os de cadeia curta (MORETTO, 1998). Além do fornecimento de energia, a cadeia carbônica dos ácidos graxos saturados é a base para a produção endógena de outros ácidos graxos, os quais podem variar no comprimento da cadeia e nas saturações de suas cadeias de acordo com a necessidade e limitação do organismo (NETO, 2013).

A síntese “de novo” é uma importante fonte de ácidos graxos (AGs) no organismo animal, ocorrendo pela adição de unidades acetil (2-C) catalisado por um complexo de sete enzimas chamadas de ácidos graxos sintetase. O principal produto da síntese de novo é o ácido graxo palmítico (16:0), o qual pode ser alongado até 30 átomos de carbono, produzindo outros ácidos graxos saturados (CASTRO et al., 2012).

Os ácidos graxos monoinsaturados podem ser sintetizados com uma ligação dupla adicionado pelas enzimas $\Delta 7$ e ou $\Delta 9$ produzindo, por exemplo, o ácido palmitoleico (16:1n-7).

Os ácidos graxos polinsaturados são importantes para o crescimento, fluidez da membrana celular, e sistema imunológico dos peixes (KIRON et al., 2011). São importantes componentes de alguns hormônios, precursores da síntese de prostaglandinas e eicosanóides além de participarem na absorção de vitaminas lipossolúveis (LI et al., 2013). Os ácidos graxos polinsaturados essenciais tais como o 18:2n-6 (ácido linoleico) e o 18:3n-3 (ácido linolênico) não são sintetizados endogenamente pela maioria dos vertebrados, portanto, devem ser incorporados na dieta (BELL et al., 2003). Tais ácidos graxos são fundamentais para que ocorra a produção dos ácidos graxos polinsaturados, como araquidônico (ARA), eicosapentaenóico (EPA), e docosaheptaenóico (DHA). Portanto, as enzimas dessaturases e elongases são responsáveis por sintetizar a partir do linoleico o ARA, e a partir de linolênico o EPA e DHA. Assim, para que ocorra a síntese de ARA (20:4n-6) é necessário seu precursor 18:2n-6, o qual é desaturado pela enzima $\Delta 6$ dessaturase, produzindo o ácido α -linoléico (18:3n-6), que posteriormente é alongado para o ácido eicosatrienóico (20:3n-6) e em seguida, para o ARA pela $\Delta 5$ dessaturase. A síntese de EPA (20:5 -n-3) ocorre a partir do 18:3n-3 e é dependente das mesmas enzimas da síntese do ARA. Após a formação do EPA, este pode sofrer mais um alongamento e uma segunda dessaturação pela enzima $\Delta 4$ dessaturase, formando o DHA(22:6-n-3) (Figura 1). Assim, os ácidos graxos linoléico e linolênico são fundamentais para que ocorra a síntese dos ácidos graxos altamente insaturados (AGPI) (GLENCROSS, 2009).

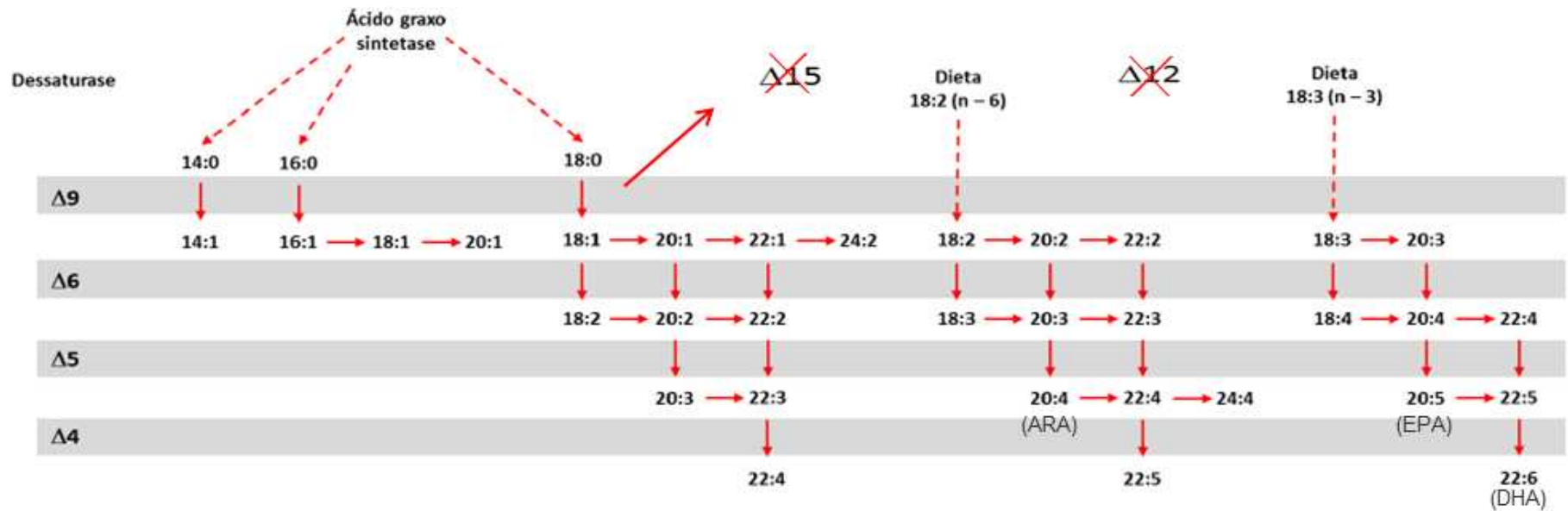


Figura 01: Síntese de ácidos graxos de cadeia longa polinsaturados, araquidônico (ARA), eicosapentaenólico (EPA), e docosa-hexaenólico (DHA), em vertebrados, adaptado de James Henderson e Tocher (1987).

Assim como em mamíferos, nos peixes, a síntese de ARA e EPA a partir de seus precursores (18:2n6 e 18:3n3, respectivamente) os ácidos graxos da série n6 e n3 são substratos da mesma enzima, a qual parece ter maior afinidade pelos ácidos graxos da família n3 (Tocher, 2010), levando ao maior acúmulo de EPA em detrimento de ARA (GLENCROSS, 2009; ZHENG et al., 2009). Este fato pode ser agravado quando a relação n-3/n-6 da dieta não for adequada. A atividade destas enzimas parece ser afetada pela inibição do substrato competitivo, com preferência para cadeias mais longas de ácidos graxos e um nível mais elevado de insaturação, de tal forma que a afinidade do substrato pela enzima tenha preferência para os ácidos graxos altamente insaturados como o DHA, EPA e ARA, posteriormente tendo uma prioridade ao ácido graxo linolênico ao linoléico e por último os ácidos graxos monoinsaturados.

A capacidade de sintetizar AGPI através de seus precursores é extremamente variável entre as espécies de peixe em função da presença e atividade das enzimas dessaturases e elongases no trato digestório (LI, 2010; ZHENG et al., 2009). Assim, nem todas as espécies de peixes de água doce são eficientes na conversão de 18: 3n-3 para ácidos graxos polinsaturados de cadeia longa. As espécies marinhas, na maioria das vezes, são incapazes de fazer esse processo, sendo necessária a suplementação dos ácidos graxos de cadeia longa como C20 e C22 na dieta dos mesmos (TOCHER, 2010) .

Os efeitos dos ácidos graxos da família n-3, como o DHA e EPA, são conhecidos por seus papéis únicos no controle e regulação do crescimento e desenvolvimento normal dos peixes, assim como do metabolismo lipídico, da fluidez da membrana celular, dos sistemas imunológicos e nervosos e além de causar alterações na pigmentação (TRICHET, 2010). Para juvenis de carpa capim (*Ctenopharyngodon idellus*) a suplementação dietética de 0,52% em EPA e DHA aumenta o desempenho produtivo. Os AGPI parecem exercer efeitos na expressão de genes relacionados com as atividades enzimáticas envolvida no metabolismo de lipídico (JI et al, 2011). A suplementação de ARA em peixes têm demonstrado os efeitos sobre o desempenho produtivo, sobrevivência, resistência ao estresse mostrando que o ARA pode afetar a estabilidade física da membrana celular, e a atividades enzimáticas associadas à membrana modificando seu perfil de ácidos graxos. O ARA é precursor para os eicosanóides, tais como prostaglandinas, tromboxanos e leucotrienos, que são liberados a partir de fosfolípidios em resposta à estimulação hormonal e resposta inflamatória, através da modulação da síntese dos eicosanóides, interferindo na liberação de citocinas, que pode afetar ainda mais a resposta imune

(FURNE et al., 2013). A suplementação na dieta de 0,30% de ARA não teve efeito sobre o desempenho do crescimento, porém pode ser adequado para melhorar a imunidade de carpa capim (*Ctenopharyngodon idellus*) (TIAN et al, 2014).

Principais fontes de lipídios em dietas para peixes

O óleo de peixe é a fonte de lipídio mais utilizada na produção aquícola em função do fornecimento de energia e ácidos graxos essenciais (BEEL et al., 2005) como os ácidos graxos eicosapentaenóico (EPA), docosaexaenóico (DHA) e o araquidônico (ARA) (NG & WANG, 2011). Porém, com o declínio dos estoques pesqueiros marinhos e o crescente apelo socioambiental para a diminuição da pesca marinha, torna-se fundamental a busca por fontes alternativas que possam vir a suprir essa demanda, sem acarretar risco a indústria aquícola, que é fortemente dependente dos produtos e coprodutos da pesca. Em consequência, a disponibilidade do óleo de peixe vem sendo cada dia mais restrita tornando a sua utilização, em muitos casos, inviáveis financeiramente (PÉRON et al., 2010). Na tentativa da substituição do óleo de peixes em rações para peixes, os óleos vegetais vêm sendo estudados com o intuito de que o setor aquícola não seja comprometido (TURCHINI, 2005). Alguns óleos vegetais são ricos em ácido graxo linoléico (18: 2 n-6) e outros em linolênico (18: 3 n-3), importantes precursores para a síntese de ácidos graxos de cadeia longa, principalmente os das famílias n-6 e n-3, respectivamente (GLENCROSS, 2009; Y, 2011). Os ácidos graxos das famílias n-3 e n-6, normalmente não são sintetizados pela maioria dos peixes, por estes não possuírem as enzimas $\Delta 12$ e $\Delta 15$ desaturases (TOCHER et al., 2006) e por isso devem ser introduzidos via alimentação. O ácido graxo linoléico é precursor do ARA (20: 4 n-6), enquanto o linolênico dos ácidos graxos DHA (22: 6 n-3) e EPA (20: 5 n-3) (TAPIERO et al., 2002; NORAMBUENA et al., 2013). Diferente dos peixes marinhos, alguns peixes de água doce são capazes de converter o ácido graxo 18: 3 (n-3) em 20: 5n-3 e em 2: 6n-3 e o ácido graxo 18: 2n-6 em 20: 4n-6 (Bell et al., 2003; Castell et al., 1972). Como os óleos vegetais são fontes de ácidos graxos linoléico e linolênico, os mesmos podem ser uma alternativa viável a substituição do óleo de peixe na dieta de peixes de água doce (LI et al., 2013a).

A produção mundial de óleos vegetais em 2010 foi de aproximadamente 120 milhões de toneladas e o óleo de palma representou cerca de 40% da produção total, o mais

produzido entre os óleos vegetais. A segunda maior produção foi o óleo de soja que contribuiu com aproximadamente 38% da produção total, seguido dos óleos de canola e girassol (OIL WORLD, 2010). Já nesta mesma época a produção brasileira foi liderada em pelo óleo de soja, com produção acima de 60 milhões de toneladas. Embora a maior produção em toneladas e em importância seja o óleo de soja, o Brasil produz outras oleaginosas como algodão, girassol, mamona e amendoim (ABIOVE, 2010).

Entre os óleos produzidos no Brasil, óleo de soja além da alta produtividade, apresenta preço competitivo, tornando-o uma das principais fontes de lipídio e de ácidos graxos utilizadas em rações para a aquicultura (NUNES, 2007). O óleo de soja é rico em ácidos graxos polinsaturados da família n-6, principalmente o linoléico, o qual representa cerca de 50% do total de ácidos graxos (TACO, 2011). Outro óleo vegetal importante pela sua composição em ácidos graxos polinsaturados é o óleo de linhaça que apresenta de 50 a 55% de linolênico, 15% de linoléico acrescido de 20% de ácidos graxos monoinsaturados e 16% de saturados (NOVELO, 2012), o que o coloca em destaque entre os demais na utilização em rações para organismos aquáticos, principalmente se considerado que alguns peixes de água doce apresentam habilidade em sintetizar EPA e DHA, a partir de seu precursor, o ácido graxo 18:3 n-3. O óleo de coco é composto por mais de 80% de ácidos graxos saturados, sendo que mais de 40% é do ácido graxo láurico. Também são encontrados os ácidos graxos saturados capríico, caprílico, cáprico, láurico, mirístico, palmítico e esteárico além de 6% dos ácidos graxo monoinsaturado oléico e 1% do polinsaturado linoléico. (MACHADO, 2006). O óleo de palma possui ácidos graxos saturados e insaturados em proporções similares, sendo que os principais são palmítico (16:0) com cerca de 40% e oleico (18:1) com 42%, seguidos do linoleico (18:2) com 10% e por último o ácido graxo esteárico (18:0) com 5 % (GRIMALDI, 2005).

Portanto, a substituição do óleo de peixe por um óleo vegetal deve-se ao fornecer ácidos graxo essenciais, necessários para o crescimento e desenvolvimento normal dos peixes, e ainda que algumas espécies sejam capazes de converter 18: 3n-3 e 18: 2n-6 para a sua cadeia mais longa (BELL et al., 2003).

A substituição do óleo de peixe por óleo de coco na dieta de *Oncorhynchus mykiss* analisando os efeitos dos triglicerídeos dietéticos na mensuração da glicose, ácidos graxos, triglicérides e colesterol plasmático conclui que a os efeitos da fonte de gordura na dieta foram relativamente pequeno (LUO, et al, 2014). E a substituição nas dietas de juvenis *Senegalese sole* de óleo de peixe por óleos de soja e linhaças para testar a taxa de

crescimento e utilização de nutrientes da dieta mostram que os tratamentos dietéticos não afetou o desempenho de crescimento e composição corporal final, os resultados sugerem que os juvenis podem lidar com altos níveis de óleos vegetais sem comprometer o desempenho de crescimento ou a utilização de nutrientes. Apesar das diferenças de perfil de ácidos graxos dos músculos (BORGES, et al. 2014), Estes trabalhos, dentre outros, sugerem que o peixe podem lidar bem com óleos vegetais em substituição ao óleo de peixe na dieta, sem comprometer o desempenho de crescimento ou a utilização dos nutrientes.

Ácidos graxos das famílias n-3 e n-6 para a saúde humana

Os ácidos graxos linolênico e linoleico são principalmente encontrados no miocárdio, retina, cérebro e espermatozoides, sendo constituintes da membrana plasmática (CONNOR, 2000). As interações dos ácidos graxos e suas associações com as proteínas contribuem para alcançar uma adequada fluidez, fazendo com que a célula realize suas funções normais (YOU DIM et al., 2000). Os ácidos graxos participam da transferência do oxigênio atmosférico para o plasma sanguíneo, da síntese da hemoglobina e da divisão celular, além de modular as funções cerebrais e a transmissão de impulsos nervosos (YEHUDA et al., 2002). Portanto, a baixa ingestão de ácidos graxos da família n-3 pode ter consequências sobre a saúde do indivíduo, uma vez que seus representantes trazem benefícios para a saúde humana. Entre os efeitos fisiológicos dos ácidos graxos da família n-3 estão à prevenção e tratamento de doenças cardiovasculares, hipertensão, inflamações em geral, asma, artrite, psoríase e vários tipos de câncer (NOVELLO et al., 2010; GIBSON, MAKRIDES, 2000). Os efeitos de proteção à saúde humana, produzidos pelo consumo de peixe ou do óleo de peixe, são atribuídos à presença de ácidos graxos n-3, principalmente EPA e DHA.

Com a revolução industrial e os avanços tecnológicos houve uma modificação do modelo produtivo e consecutivamente do estilo de vida onde houve um aumento do consumo de dietas processadas (SIMOPOULOS, 2002), fazendo com que a relação de ácidos graxos n-3/n-6 dos seres humanos mudasse nas últimas décadas de 1:1 a 1:2 para 1:17 (NOVELLO et al., 2010; FÜRST, 2002) ocasionando o menor consumo de ácidos graxos da família n-3. Com isso torna-se importante conhecer os níveis de ácidos graxos da família n-3 presentes nos alimentos. Uma boa fonte de ácidos graxos da família n-3 são os

alimentos nutracêuticos ou funcionais, que é “Uma substância que pode ser um alimento ou parte de um alimento que proporciona benefícios medicinais, incluindo prevenção ou tratamento de doenças” (LIRA et al., 2009). Dentre estes alimentos, destaca-se a carne de peixe, por seu conteúdo em EPA e DHA.

Os peixes de ambiente natural de água fria e marinha consomem maior quantidade de n-3 devido ao fato de sua dieta conter níveis mais elevados do mesmo, diferentes dos peixes de cultivo, que recebem n-3 de fontes oleaginosas. Isto ocorre porque os ingredientes das dietas de peixes de cultivo têm sido controlados mais em função de custos, do que em função da importância dos valores nutricionais da carne do peixe para o consumidor (SUÁREZ et al., 2002). Porém, estudos vêm demonstrando que alguns peixes cultivados em viveiro contêm maior quantidade de ácidos graxos n-3 em sua carne, quando comparados a peixes de ambiente natural, o que vem a ser uma vantagem para a piscicultura e um impulso ao desenvolvimento de técnicas para a criação de peixes em cativeiro (SUÁREZ et al., 2002). Tornando assim o peixe enriquecido com ácido graxo da família n-3 um potencial alimento funcional.

Respostas de estresse

Um dos fatores de estresse que o peixe pode passar durante todo o seu ciclo de vida são as flutuações na temperatura da água e para lidar com essas alterações, os peixes respondem com respostas de estresse. O estresse pode ser definido como uma condição na qual o equilíbrio ou homeostase de determinado organismo é alterado por um estímulo, denominado fator estressor, podendo ser externo, como exemplo a temperatura e pH da água ou interno como exemplo alguma patologia (BARTON, 2000).

As respostas ao estresse são divididas em três categorias: primária, secundária e terciária (MAZEAUD et al., 1977; WEDEMEYER, MCLEAY, 1981). As respostas primárias ocorrem quando o animal é exposto a um fator estressor. Correspondem a ações neuroendócrinas tais como a liberação de hormônios do estresse (catecolaminas e corticosteroides) na corrente sanguínea e a estimulação do eixo hipotálamo-hipófise-interrenal (BARTON, 2000), sendo assim as hormonais. As respostas secundárias são as mudanças nos parâmetros fisiológicos e bioquímicos causados pelos ajustes da resposta

primária (BARTON 2000); as terciárias são o comprometimento no crescimento, mudanças no comportamento e aumento da suscetibilidade a doenças.

Os indicadores mais utilizados na avaliação do estresse são o cortisol, a glicose e o lactato plasmáticos (ROBERTSON et al., 1987; BARTON, 2000). O cortisol é utilizado para caracterizar a resposta primária, a glicose e o lactato, a resposta secundária. Sendo um padrão a liberação de adrenalina e cortisol, seguida por alterações secundárias no sangue e no metabolismo, tais como hiperglicemia, hiperlactemia e reduzido teor de glicogênio no fígado (BARTON, 2000).

A ativação do eixo hipotálamo-hipófise contribui para a liberação de corticosteroides na corrente sanguínea, principalmente o cortisol (MOMMSEN et al., 1999). O cortisol é liberado pela glândula adrenal sobre estímulo do hormônio adrenocorticotrófico. A liberação de cortisol é influenciada pela natureza e intensidade do estressor, bem como por fatores genéticos, idade e sexo dos animais, além de fatores ambientais como a temperatura (ROSS, 1999). A elevação plasmática do cortisol corresponde à principal resposta hormonal de estresse em peixes teleósteos e é utilizada como o principal indicador de estresse (BARTON, 2000).

O cortisol é responsável por múltiplos efeitos fisiológicos, sendo o principal o aumento no catabolismo, afetando o metabolismo de carboidratos, proteínas e lipídios (MOMMSEN et al., 1999). O cortisol estimula a gliconeogênese hepática provocando um efeito hiperglicêmico. Esse hormônio também aumenta a lipólise e proteólise, resultando em maior disponibilidade de aminoácidos, ácidos graxos livres e glicerol aos tecidos (MOMMSEN et al., 1999; VIJAYAVEL et al, 2007).

Outro indício de estresse é o estresse oxidativo, que é um estado de desequilíbrio entre a produção de espécies reativas de oxigênio (EROs) e a capacidade antioxidante endógena. As EROs incluem um grande número de moléculas quimicamente reativas oriundas do oxigênio, dentre elas, o radical superóxido (O_2^-), o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e o radical hidroxila ($OH\bullet$) (RILEY, BEHRMAN, 1991). Em concentrações fisiológicas ideais, as EROs têm funções biológicas, porém, quando presentes em quantidades excessivas podem provocar danos no DNA, proteínas e lipídeos ocasionando o estresse oxidativo (BERGER, 2005; SHARMA, AGARWAL, 1996).

A peroxidação lipídica (LPO) é o processo através do qual as EROs atacam os ácidos graxos polinsaturados dos fosfolipídios das membranas das células, desintegrando-as e permitindo, dessa maneira, a entrada, de produtos dessa reação, nas estruturas

intracelulares. A fosfolipase, ativada pelas espécies tóxicas desintegra os fosfolipídios, liberando os ácidos graxos não saturados, resultando na oxidação dos lipídios insaturados e a formação de resíduos como o malondialdeído. O colapso das membranas plasmáticas, a fluidez, e a perda da permeabilidade seletiva e até mesmo a sua ruptura são consequências da LPO. Os derivados das reações envolvidas na LPO podem se difundir em outros compartimentos celulares, agredir proteínas e o DNA e causar a inibição de algumas enzimas (HERMES-LIMA, 2004).

Para minimizar os efeitos negativos de EROs, peixes como outros vertebrados possuem um sistema de defesa antioxidante composto por uma série de enzimas antioxidantes e substâncias não enzimáticas, figura 02 (TIWARI, 2004). Dentre as defesas enzimáticas a primeira linha de defesa antioxidante ocorre pelo sistema citocromo P450 e inclui as enzimas Superóxido Dismutase (SOD) e a Catalase (CAT). Em seguida, as enzimas catalisam a conjugação de xenobióticos para um substrato solúvel endógeno, e inclui a enzima específica Glutathione S-transferase (GST) (SHEEHAN et al., 2001; HERMES-LIMA, 2004). Entre as defesas antioxidantes não enzimáticas, se destaca a Glutathione e vitaminas. Esses mecanismos do sistema de defesa antioxidante vão inibir o estresse oxidativo limitando assim o excesso da síntese de EROs ou então impedindo sua transformação em produtos mais tóxicos para as células (DROGE, 2002).

A superóxido dismutase (SOD) tem papel fundamental na defesa do organismo contra as espécies reativas de oxigênio, pois atua no controle do radical superóxido (O_2^-). A SOD catalisa o radical superóxido, através da reação de dismutação, em peróxido de hidrogênio. O peróxido de hidrogênio é menos reativo e pode ser degradado por outras enzimas como a CAT (HERMES-LIMA, 2004; DROGE, 2002; LIMÓN-PACHECO, GONSEBATT, 2009).

A Catalase (CAT) é uma peroxidase que degrada o peróxido de hidrogênio em oxigênio e água. Esta enzima é encontrada no citoplasma, em grande concentração nos peroxissomos de todos os tecidos animais, porém é mais eficiente quando as concentrações intracelulares de H_2O_2 são mais elevadas (HERMES-LIMA, 2004; DROGE, 2002).

A superfamília da enzima glutathione S-transferase (GST) é a principal enzima de desintoxicação da segunda fase da defesa antioxidante, sendo encontrada principalmente no citoplasma das células e realiza a desintoxicação celular contra diversos tipos de poluentes ambientais e agentes cancerígenos. Essa desintoxicação ocorre através de conjugados de glutathione com xenobióticos e produtos aldeídos produzidos na

peroxidação lipídica (hidroperóxidos), tornando os productos mais solúveis em água (HERMES-LIMA, 2004; LIMÓN-PACHECO, GONSEBATT, 2009).

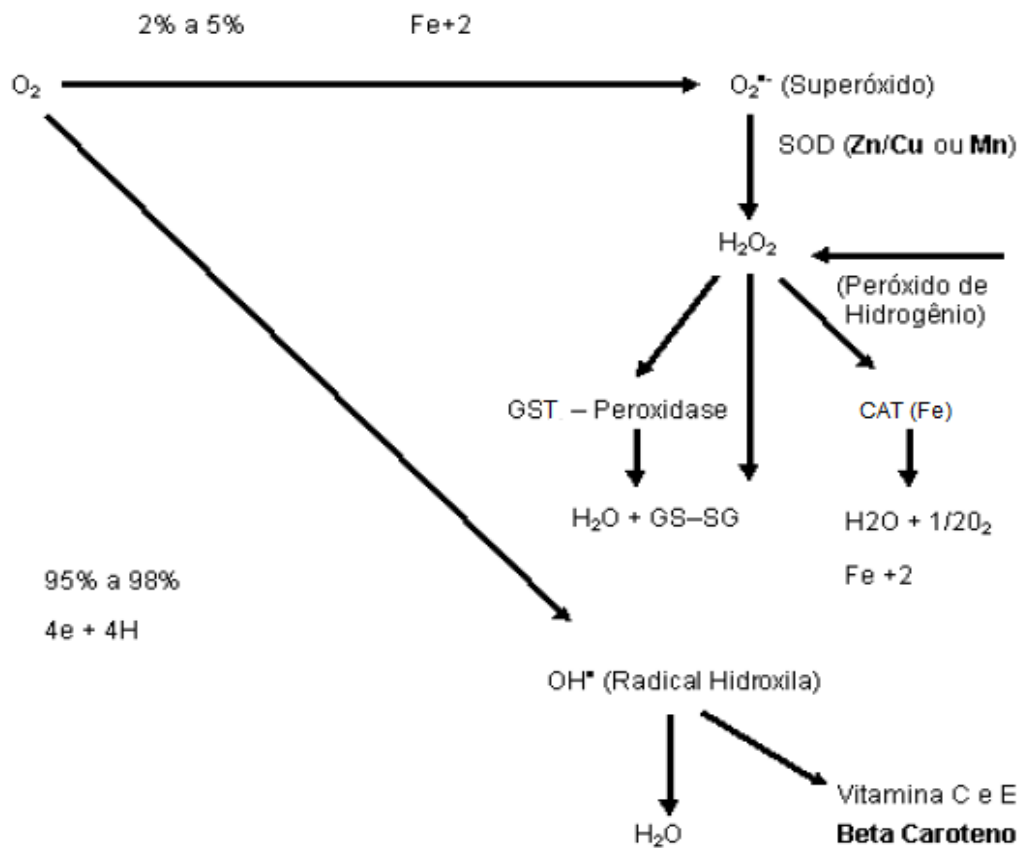


Figura 02: sistema de defesa antioxidante composto por uma série de enzimas antioxidantes para minimizar o estresse oxidativo em peixes, adaptado de Tiwari (2004).

Dentre os ácidos graxos, os altamente insaturados são mais susceptíveis à peroxidação e desencadeiam efeitos deletérios mais intensivamente do que outros ácidos graxos dietéticos. Por exemplo, níveis elevados de AGPIs dietéticas podem causar um menor crescimento e pior conversão alimentação (TAKEUCHI, WATANABE, 1979). Assim, os efeitos adversos de AGPIs devem ser considerados quando estes ácidos graxos forem suplementados em peixes.

Lambari-do-rabo-amarelo (*Astyanax altiparanae*)

O Brasil, apesar de possuir uma riqueza de fauna aquática as espécies mais produzidas são de origem exótica como as tilápias (*Oreochromis ssp*) e as carpas (*Cyprinus carpio*), embora várias espécies nativa apresentam potencial para criação em cativeiro, como pacu (*Piaractus mesopotamicus*), o tambaqui (*Colossoma macropomum*), o piavucu (*Arapaima gigas*) (MPA, 2011), destacando-se os lambaris (*Astyanax ssp*).

O gênero *Astyanax* é conhecido por possuir vasto número de espécies de peixes tropicais de água doce om ampla distribuição geográfica, podendo ser capturado desde a Bacia do Prata até o Panamá, e, ainda, de regiões costeiras até localidades de altitudes elevadas, a cerca de 3.000 metros (BALDISSEROTTO, GOMES, 2013). Dentre as espécies do gênero *Astyanax*, o *A. altiparanae* (GARUTTI, BRITSKI, 2000), anteriormente classificado como *A. bimaculatus* distribui-se da bacia do Prata até o Nordeste brasileiro e são facilmente encontrados nas bacias hidrográficas brasileiras (VILELA, HAYASHI, 2001; GARUTTI, BRITSKI, 2000).

Esta espécie é conhecida como lambari-do-rabo-amarelo, lambari, tabuão, tambuí, piaba, piabinha, matupiris, mojarra ou ainda como sardinha de água doce. É uma espécie de pequeno porte, podendo atingir de 10 a 15 cm e 60 g e maturidade sexual com cerca de quatro meses de idade, quando na natureza. A fecundação é externa, a desova é parcelada e não ocorre cuidado parental (BALDISSEROTTO, GOMES, 2013).

A espécie *A. altiparanae* possui ampla versatilidade de habitats sendo considerada uma espécie oportunista por se adaptar facilmente às condições do meio em que se encontra (CASSEMIRO et al., 2002). Esta espécie pode ser considerada de hábito alimentar onívoro, com preferência por insetos e plantas (ANDRIAN et al, 2001), porém, dependendo da disponibilidade sua dieta torna-se flexível. Acrescido a isso, é uma espécie muito apreciada como petisco, além de ser muito utilizado como isca para a pesca esportiva (MEURER et al., 2005).

Nos últimos anos essa espécie vem chamando a atenção da comunidade científica e, portanto, várias pesquisas envolvendo o *A. atiparana* estão descritas na literatura, quer relacionadas a produção comercial ou na utilização como modelo experimental . Com relação à nutrição desta espécie, juvenis de *A. altiparanae* apresentam exigência de proteína bruta de 32 a 38% e energia digestível de 2900 kcal/kg (COTAN et al., 2006), apresentando boa eficiência tanto na utilização da proteína origem animal como vegetal

(SIGNOR, et al., 2008; BOSCOLO, et al., 2012). Diferentes fontes de óleos vêm sendo incorporados na dieta desta espécie com o objetivo de obter melhorias na saúde dos peixes e na qualidade da carcaça para o consumo humano (CAMPELO et al, 2014; PONTES, 2013; TAVARES, 2011). A suplementação de CLA em dietas para o *A. altiparanae* e sua incorporação na carcaça dos animais, indicam que pode ser utilizado como um alimento funcional, porque o CLA está relacionado com a prevenção de várias doenças, tais como arteriosclerose, câncer e diabetes em humanos (CAMPELO et al, 2014). Tem se estudado o óleo de orégano como fator de crescimento por atua como um promotor de crescimento de *A. altiparanae* e melhorar o desempenho do crescimento e composição da carcaça (FERREIRA, 2014).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANJO, D. F. C. Alimentos funcionais em angiologia e cirurgia vascular. **Jornal Vascular Brasileiro**, v.3, p.145-154, 2004.

ABIOVE. **Estatística**. Disponível em: <<http://www.abiove.org.br>>. Acesso em: 20 maio 2015.

ANDRIAN, I. F.; SILVA, H. B. R.; PERETTI, D. Dieta de *Astyanax bimaculatus* (Linnaeus, 1758) (Characiformes, Characidae), da área de influência do reservatório de Corumbá, Estado de Goiás, Brasil. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 23, n. 2, p.a 435-440, 2001.

ATALAH, E. et al. Importance of the relative levels of dietary arachidonic acid and eicosapentaenoic acid for culture performance of gilthead seabream (*Sparus aurata*) larvae. **Aquaculture Research**, v. 42, n. 9, p. 1279-1288, 2011.

BALDISSEROLTTO, B.; GOMES, L. C. **Espécies nativas para piscicultura no Brasil**. Santa Maria: Editora da UFSM, 2013. 608 p.

BARTON, B. A. Salmonid fishes differ in their cortisol and glucose responses to handling and transport stress. **North American Journal of Aquaculture**, Bethesda, v. 62, n. 1, p. 12-18, 2000.

BELL, J. G. et al. Rapeseed oil as an alternative to marine fish oil in diets of post-smolt Atlantic salmon (*Salmo salar*): changes in flesh fatty acid composition and effectiveness of subsequent fish oil “wash out”. **Aquaculture**, v.218, p.515-528, 2003.

BELL, J. G. et al. Dioxin and dioxin-like polychlorinated biphenyls (PCBs) in Scottish farmed salmon (*Salmo salar*): effects of replacement of dietary marine fish oil with vegetable oils. **Aquaculture**, v.243, p.305-314, 2005.

BENITEZ-SANTANA, T. et al. Dietary n-3 HUFA deficiency induces a reduced visual response in gilthead seabream *Sparus aurata* larvae. **Aquaculture**, v. 264, n. 1, p. 408-417, 2007.

BENNEMANN, S. T. et al. Ocorrência e ecologia trófica de quatro espécies de *Astyanax* (Characidae) em diferentes rios da bacia do rio Tibagi, Paraná, Brasil. **Iheringia, Série Zoológica**, Porto Alegre, v.95, p.247-254, 2005.

BERGER, M. M. Can oxidative damage be treated nutritionally. **Clinical nutrition**, v. 24, n. 2, p. 172-183, 2005.

BERTECHINI, A.G. **Nutrição de Monogátricos**. Lavras: Editora UFLA, ISBN 85-87692-34-8, 2006

BLAZER, V. S. Nutrition and disease resistance in fish. **Annual Review of Fish Diseases**, v.2, p.309-323, 1992.

BORGES, P. et al. Senegalese sole juveniles can cope with diets devoid of supplemental fish oil while preserving flesh nutritional value. **Aquaculture**, v. 418, p. 116-125, 2014.

BOSCOLO, W. R. et al. Resíduos da indústria de filetagem de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) na forma de farinhas e silagem para a alimentação de lambari (*Astyanax bimaculatus*). **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 10, p. 189-195, 2012.

BUREAU D. P. et al. Bioenergetics. In: HALVER J.E., HARDY R.W. (Ogrs.) **Fish Nutrition**. 3. ed. USA: Elsevier Science, 2002. p. 2–61.

BUZZI, M.; HENDERSON, R.; SARGENT, J. Biosynthesis of docosahexaenoic acid in trout hepatocytes proceeds via 24-carbon intermediates. **Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology**, v.116, n. 2, p.263-267, 1997.

CALDER, P. C. n- 3 polyunsaturated fatty acids, inflammation, and inflammatory diseases. **The American journal of clinical nutrition**, v.83, n. 6, p. S1505-1519S, 2006.

CAMPELO, D. A. V. et al. Conjugated linoleic acid in diets for lambari (*Astyanax altiparanae*)(Garutti & Britski, 2000). **Aquaculture Nutrition**, 2014.

CARMO, M.; CORREIA, M. A importância dos ácidos graxos ômega-3 no câncer. **Revista Brasileira de Cancerologia**, v.55, p.279-287, 2009.

CASSEMIRO, F. A. S.; HAHN, N. S.; FUGI, R. Avaliação da dieta de *Astyanaxaltiparanae*Garutti&Britski, 2000 (Osteichthyes, Tettragonoptterriinae) antes e após a formação do reservatório de Salto Caxias, Estado do Paraná, Brasil. **Acta Scientiarum, Biological Sciences**, v.24, p.419-425, 2002.

CASTELL, J.; LEE, D.; SINNHUBER, R. Essential fatty acids in the diet of rainbow trout (*Salmo gairdneri*): lipid metabolism and fatty acid composition. **The Journal of Nutrition**, v.102, p.93-99, 1972.

CASTRO, L. F. C. et al. Functional desaturase Fads1 ($\Delta 5$) and Fads2 ($\Delta 6$) orthologues evolved before the origin of jawed vertebrates. **PLoS one**, v. 7, n. 2, p. e31950, 2012.

CHEN, J. et al. Effect of dietary n-3 HUFA on growth performance and tissue fatty acid composition of gibel carp *Carassius auratus gibelio*. **Aquaculture Nutrition**, v. 17, n. 2, p. e476-e485, 2011.

CONNOR, W. E. Importance of n- 3 fatty acids in health and disease. **The American journal of clinical nutrition**, v.71, p. 171S-175S, 2000.

COTAN, J. L. V. et al. Níveis de energia digestível e proteína bruta em rações para alevinos de lambari tambuí. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, p.634-640, 2006.

DE SEIXAS FILHO, J.T. et al. Atividade de Tripsina em Quimo de Três Espécies Neotropicais de Peixes Teleostei de Água Doce. **Revista brasileira de zootecnia**, v. 29, p. 2172-2180, 2000.

DROGE, W. Free radicals in the physiological control of cell function. **Physiological reviews**, v. 82, n. 1, p. 47-95, 2002.

LIMÓN-PACHECO, J.; GONSEBATT, M. E. The role of antioxidants and antioxidant-related enzymes in protective responses to environmentally induced oxidative stress. **Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis**, v. 674, n. 1, p. 137-147, 2009.

FERREIRA P. M. F. et al. Essential Oregano Oil As A Growth Promoter for the Yellowtail Tetra, *Astyanax altiparanae*. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 45, n. 1, p. 28-34, 2014.

FURNE, M. et al. Cytokine gene expression and prostaglandin production in head kidney leukocytes isolated from Atlantic cod (*Gadus morhua*) added different levels of arachidonic acid and eicosapentaenoic acid. **Fish & shellfish immunology**, v. 34, n. 3, p. 770-777, 2013.

FUST, P. The striking diet of the island of Crete: lipid nutrition from the palaeolithic to the affluent modern society. **Clinical nutrition**, v.21, p. 9-14, 2002.

GARUTTI & BRITSKI. (Osteichthyes, Tettragonoptterriinae) antes e após a formação do reservatório de Salto Caxias, Estado do Paraná, Brasil. **Acta Scientiarum**, v. 24, p. 419-425, 2002.

GIBSON, R. A.; MAKRIDES, M. n- 3 Polyunsaturated fatty acid requirements of term infants. **The American journal of clinical nutrition**, v.71, p.251s-255s, 2000.

GIOIELLI, L.A. Óleos e gorduras vegetais: composição e tecnologia. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v.5, p.211-232, 1996.

GLENCROSS, B. D. Exploring the nutritional demand for essential fatty acids by aquaculture species. **Reviews in Aquaculture**, v.1, p.71-124, 2009.

GONÇALVES, L. U. et al. The fatty acid compositions of total, neutral and polar lipids in wild and farmed lambari (*Astyanax altiparanae*) (Garutti & Britski, 2000) broodstock. **Aquaculture Research**, v. 45, n. 2, p. 195-203, 2014.

PORTO-FORESTI, F.; CASTILHO-ALMEIDA, R. B.; FORESTI, F. Biologia e criação do lambari-do-rabo-amarelo (*Astyanax altiparanae*). In: BALDISSEROTO, B.; GOMES, L. C. (Orgs.) **Espécies nativas para piscicultura no Brasil**. 2 ed. Santa Maria: Editora da UFSM, 2013. p. 101-116.

GRIMALDI, R.; GONÇALVES, L. A. G.; ANDO, M. Y. Otimização da reação de interesterificação química do óleo de palma. **Química Nova**, v. 28, n. 4, p. 633, 2005

HARRIS, W.S.; VON SCHACKY, C. The Omega-3 Index: a new risk factor for death from coronary heart disease? **Preventive medicine**, v.39, p.212-220, 2004.

HERMES-LIMA, M. Oxygen in Biology and Biochemistry: Role of Free Radicals. In: Kenneth B. Storey (Ed). **Functional Metabolism: Regulation and Adaptation**. Wiley-Liss, NY: John Wiley & Sons, Inc. 2004, 319-368 pp.

HIGGS, D. A.; DONG, F. M. Lipids and fatty acids. **Encyclopedia of aquaculture. Wiley-Interscience, London**, p. 476-496, 2000.

HENDERSON, R. J.; TOCHER, D. R. The lipid composition and biochemistry of freshwater fish. **Progress in lipid research**, v.26, n. 4, p.281-347, 1987.

JI, H.; LI, J.; LIU, P. Regulation of growth performance and lipid metabolism by dietary n-3 highly unsaturated fatty acids in juvenile grass carp, *Ctenopharyngodon idellus*. **Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology**, v. 159, n. 1, p. 49-56, 2011.

KHAOIAN, P. et al. Taurine supplementation and palm oil substitution in low-fish meal diets for young yellowtail *Seriola quinqueradiata*. **Aquaculture**, v. 420, p. 219-224, 2014.

KIRON, V. et al. Antioxidant and immune defences of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) offered plant oils differing in fatty acid profiles from early stages. **Aquaculture Nutrition**, v. 17, n. 2, p. 130-140, 2011.

LEE, K. W.; LIP, G. Y. W. The role of omega-3 fatty acids in the secondary prevention of cardiovascular disease. **QJM: An International Journal of Medicine**, v. 96, n. 7, p. 465-480, 2003.

LI, M. et al. Effects of dietary grape seed oil and linseed oil on growth, muscle fatty acid composition and expression of putative $\Delta 5$ fatty acyl desaturase in abalone *Haliotis discus hannai* Ino. **Aquaculture**, v. 406, p. 105-114, 2013a.

LI, X.-F. et al. Molecular characterization of lipoprotein lipase from blunt snout bream *Megalobrama amblycephala* and the regulation of its activity and expression by dietary lipid levels. **Aquaculture**, v.416, p.23-32, 2013b.

LI, Y. et al. Vertebrate fatty acyl desaturase with $\Delta 4$ activity. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 107, n. 39, p. 16840-16845, 2010.

LIRA, C.R.G. et al. Nutracêuticos: aspectos sobre segurança, controle de qualidade e legislação. **Rev. Bras. Farm**, v.90, p.45-49, 2009.

LUND, I.; STEENFELDT, S. J.; HANSEN, B. W. Influence of dietary arachidonic acid combined with light intensity and tank colour on pigmentation of common sole (*Solea solea* L.) larvae. **Aquaculture**, v. 308, n. 3, p. 159-165, 2010.

LUO, L. et al. Dietary medium chain fatty acids from coconut oil have little effects on postprandial plasma metabolite profiles in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, v. 420. p. 24-31, 2014.

MA, J. et al. Effect of Dietary n-3 highly unsaturated fatty acids on Growth, Body Composition and Fatty Acid Profiles of Juvenile Black Seabream, *Acanthopagrus schlegelii* (Bleeker). **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 44, n. 3, p. 311-325, 2013.

MARTIN, C. A. et al. Ácidos graxos polinsaturados ômega-3 e ômega-6: importância e ocorrência em alimentos. **Rev. Nutr.**, v.19, p.761-770, 2006.

MARTINO, R. C. et al. Performance and fatty acid composition of surubim (*Pseudoplatystoma coruscans*) fed diets with animal and plant lipids. **Aquaculture**, v.209, p.233-246, 2002.

MARTINS, D. A, et al. Teleost fish larvae adapt to dietary arachidonic acid supply through modulation of the expression of lipid metabolism and stress response genes. **British Journal of Nutrition**, v. 108, n. 05, p. 864-874, 2012.

MAZEAUD, M. M.; MAZEAUD, F.; DONALDSON, E. M. Primary and secondary effects of stress in fish: some new data with a general review. **Transactions of the American Fisheries Society**, v. 106, n. 3, p. 201-212, 1977.

MCGOOGAN, B. B.; GATLIN, D. M. Dietary manipulations affecting growth and nitrogenous waste production of red drum, *Sciaenops ocellatus* I. Effects of dietary protein and energy levels. **Aquaculture**, v. 178, n. 3, p. 333-348, 1999.

MCGOOGAN, B. B.; GATLIN, D. M. Dietary manipulations affecting growth and nitrogenous waste production of red drum, *Sciaenops ocellatus*: II. Effects of energy level and nutrient density at various feeding rates. **Aquaculture**, v. 182, n. 3, p. 271-285, 2000.

MEURER, F. et al. Nível de arraçoamento para alevinos de lambari-do-rabo-amarelo (*Astyanax bimaculatus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 6, p. 1835-1840, 2005.

MOHRHAUER, H.; HOLMAN, R. T. Effect of linolenic acid upon the metabolism of linoleic acid. **The Journal of nutrition**, v.81, p.67-74, 1963.

MOMMSEN, T. P.; VIJAYAN, M. M.; MOON, T. W. Cortisol in teleosts: dynamics, mechanisms of action, and metabolic regulation. **Reviews in Fish Biology and Fisheries, Dordrecht**, v. 9, n. 3, p. 211-268, 1999.

MORETTO, E. F. R. **Tecnologia dos óleos e gorduras vegetais na indústria de alimento**. São Paulo: Livrarias Varela, 1998, 150p.

NG, W.-K.; WANG, Y. Inclusion of crude palm oil in the broodstock diets of female Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, resulted in enhanced reproductive performance compared to broodfish fed diets with added fish oil or linseed oil. **Aquaculture**, v.314, p.122-131, 2011.

NORAMBUENA, F. et al. Self-selection of diets with different contents of arachidonic acid by Senegalese sole (*Solea senegalensis*) broodstock. **Aquaculture**, v. 364, p. 198-205, 2012.

NORAMBUENA, F. et al. Dietary modulation of arachidonic acid metabolism in senegalese sole (*Solea Senegalensis*) broodstock reared in captivity. **Aquaculture**, v. 372, p. 80-88, 2013.

NOVELLO, D.; FRANCESCHINI, P.; QUINTILIANO, D. A. A importância dos ácidos graxos ω -3 e ω -6 para a prevenção de doenças e na saúde humana. **Revista Salus**, v.2, 2010.

NUNES, S. P. Produção e consumo de óleos vegetais no Brasil. **Boletim Eletrônico do Departamento de Estudos Sócio-Econômicos Rurais**, n. 159, p. 1-10, 2007.

OIL WORLD. **Statistics**. Disponível em: <<http://www.oilworld.biz/app.php>>. Acesso em: 20 maio 2015.

OLSEN, R.; HENDERSON, R.; RINGO, E. The digestion and selective absorption of dietary fatty acids in Arctic charr, *Salvelinus alpinus*. **Aquaculture Nutrition**, v.4, p.13-22, 1998.

PÉRON, G.; MITTAINE, J. François; LE GALLIC, B. Where do fishmeal and fish oil products come from? An analysis of the conversion ratios in the global fishmeal industry. **Marine policy**, v.34, p.815-820, 2010.

PONTES, M. D. Relação **ácido graxo n6/n3 para lambaris-do-rabo-amarelo (*Astyanax altiparanae*)**. 2013. 57 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2013.

REZEK, T. C. et al. Effects of dietary docosahexaenoic acid (22: 6n-3) and arachidonic acid (20: 4n-6) on the growth, survival, stress resistance and fatty acid composition in black sea bass *Centropristis striata* (Linnaeus 1758) larvae. **Aquaculture Research**, v. 41, n. 9, p. 1302-1314, 2010.

ROBERTSON, L. et al. Plasma cortisol and secondary stress responses of red drum to handling, transport, rearing density, and a disease outbreak. **The Progressive Fish-Culturist**, v. 49, n. 1, p. 1-12, 1987.

ROSS, L. G.; ROSS, B. **Anaesthetic and sedative techniques for aquatic animals**. Oxford: Blackwell Science, 1999. 159 p.

SARGENT, J. R., TOCHER, D. R., BELL, J. G. The lipids. In: Halver, J.E., Hardy, R.W. (Orgs.), **Fish Nutrition**. 3. ed. San Diego: Academic Inc. Press, 2002. p. 181-257.

SIGNOR, A. A. et all. Farinha de vísceras de aves na alimentação de alevinos de lambari. **Ciência Rural**, v. 38, p. 2339-2344, 2008.

SHAIKH, S. R.; EDIDIN, M. Polyunsaturated fatty acids, membrane organization, T cells, and antigen presentation. **The American journal of clinical nutrition**, v.84, p.1277-1289, 2006.

SHEEHAN, D. et al. Structure, function and evolution of glutathione transferases: implications for classification of non-mammalian members of an ancient enzyme superfamily. **Biochem. J**, v. 360, p. 1-16, 2001.

SHERIDAN, M. A. Lipid dynamics in fish: aspects of absorption, transportation, deposition and mobilization. **Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry**, v. 90, n. 4, p. 679-690, 1988.

SIMOPOULOS, A. P. Omega-3 fatty acids in inflammation and autoimmune diseases. **Journal of the American College of Nutrition**, v.21, p. 495-505, 2002.

SIMOPOULOS, A. P. Essential fatty acids in health and chronic disease. **The American journal of clinical nutrition**, v.70, p. 560s-569s, 1999.

SORBERA, L. A. et al. Effects of polyunsaturated fatty acids and prostaglandins on oocyte maturation in a marine teleost, the European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). **Biology of reproduction**, v.64, p.382-389, 2001.

SUÁREZ, H. et al. Importância de ácidos graxos poliinsaturados presentes em peixes de cultivo e de ambiente natural para a nutrição humana. **Boletim do Instituto de Pesca**, São Paulo, v.28, p.101-110, 2002.

TACO - **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos**. 4ª ed. Revisada e Ampliada. Campinas. SP, 2011.

TALON, L. D. C. **Suplementação de ácidos graxos poli-insaturados ômega 3 em pacientes submetidos a programa de mudança do estilo de vida**. 2011. 44 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Medicina de Botucatu, 2011.

TAPIERO, H. et al. Polyunsaturated fatty acids (PUFA) and eicosanoids in human health and pathologies. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, v. 56, n. 5, p. 215-222, 2002.

TAVARES, M. M. **Fontes de óleos vegetais em dietas para lambaris-do-raboamarelo (*Astyanax altiparanae*): desempenho produtivo e perfil de ácidos graxos**. 2011. 49 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2011.

TAKEUCHI, T.; WATANABE, T. Effect of excess amounts of essential fatty acids on growth of rainbow trout. **Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries**, v. 45, p. 1517-1519, 1979.

TIAN, J. et al. Effects of dietary arachidonic acid (ARA) on lipid metabolism and health status of juvenile grass carp, *Ctenopharyngodon idellus*. **Aquaculture**, v. 430, p. 57-65, 2014.

Tiwari, A.K. Antioxidants: New-Generation Therapeutic Base For Treatment Of Polygenic Disorders. *Curr Sci*;86:1092–103. 2004.

ASHOKKUMAR, T. Antioxidants: New-generation therapeutic base for treatment of polygenic disorders. **Current science**, v. 86, p. 1092-1103, 2004.

TOCHER, D. R. Fatty acid requirements in ontogeny of marine and freshwater fish. **Aquaculture Research**, v.41, p.717-732, 2010.

TOCHER, D. R. Metabolism and functions of lipids and fatty acids in teleost fish. **Reviews in Fisheries Science**, v.11, p.107-184, 2003.

Turchini, G. M., Mentasti, T., Caprino, F., Giani, I., Panseri, S., Bellagamba, F., Moretti, V. M., Valfré, F., 2005. Italian journal of animal science, 4: 241-252.

TRICHET, V. V. Nutrition and immunity: an update. **Aquaculture Research**, v. 41, p. 356–372, 2010.

ULIANA, O.; SILVA, J. H. S. D.; RADUNZ NETO, J. Diferentes fontes de lipídios testadas na criação de larvas de jundiá (*Rhamdia quelen*), Pisces, Pimelodidae. **Ciênc. rural**, v.31, p.129-133, 2001.

Y, O. Resources for fish feed in future mariculture. **Aquaculture Environment Interactions**, v.1, p.187-200, 2011.

VAN ANHOLT, R. D. et al. Dietary supplementation with arachidonic acid in tilapia (*Oreochromis mossambicus*) reveals physiological effects not mediated by prostaglandins. **General and comparative endocrinology**, v. 139, n. 3, p. 215-226, 2004.

VIJAYAVEL, K.; GOPALAKRISHNAN, S.; BALASUBRAMANIAN, M. P. Sublethal effect of silver and chromium in the green mussel *Perna viridis* with reference to alterations in oxygen uptake, filtration rate and membrane bound ATPase system as biomarkers. **Chemosphere**, v. 69, n. 6, p. 979-986, 2007.

VILELA, C.; HAYASHI, C. Desenvolvimento de juvenis de lambari *Astyanax bimaculatus* (Linnaeus, 1758), sob diferentes densidades de estocagem em tanques-rede. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 23, p. 491-496, 2008.

WEDEMEYER, G. A.; MCLEAY, D. J. Methods for determining the tolerance of fishes to environmental stressors. In: PICKERING, A. D. (Og.). **Stress and fish**. London: Academic, 1981. p. 247-275.

YEHUDAS, S. et al. The role of polyunsaturated fatty acids in restoring the aging neuronal membrane. **Neurobiology of aging**, v.23, p.843-853, 2002.

YOUDIM, K. A.; MARTIN, A.; JOSEPH, J. A. Essential fatty acids and the brain: possible health implications. **International Journal of Developmental Neuroscience**, v.18, p.383-399, 2000.

ZHENG, X.; LEAVER, M. J.; TOCHER, D. R. Long-chain polyunsaturated fatty acid synthesis in fish: Comparative analysis of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and *Atlantic cod* (*Gadus morhua* L.) Δ 6 fatty acyl desaturase gene promoters. **Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology**, v.154, p.255-263, 2009.

ZUO, R. et al. Effects of dietary n-3 highly unsaturated fatty acids on growth, nonspecific immunity, expression of some immune related genes and disease resistance of large yellow croaker (*Larmichthys crocea*) following natural infestation of parasites (*Cryptocaryon irritans*). **Fish Shellfish Immunol**, v. 32, n. 2, p. 249–258, 2012.

CAPITULO 1

Fontes de óleos em dietas para lambaris-do-rabo-amarelo (*Astyanax altiparanae*) submetidos ao desafio pelo frio

Resumo: Com este estudo objetivou-se avaliar o efeito de fontes de óleos com diferentes composições de ácidos graxos e do desafio pelo frio em lambari-do-rabo-amarelo (*Astyanax altiparanae*) em fase de crescimento. O experimento foi realizado em duas fases consecutivas, ambas em delineamento inteiramente casualizado com cinco tratamentos (óleos de peixe, soja, linhaça, palma e coco), sendo a primeira com oito e a segunda com três repetições. Na primeira fase, peixes em crescimento ($1,44 \pm 0,20$ g e $3,23 \pm 0,20$ cm) foram distribuídos na densidade de 20 peixes/aquário e alimentados por 106 dias com as rações experimentais. Após este período, peixes de cinco repetições foram anestesiados, medidos e pesados para a realização dos seguintes parâmetros zootécnicos: ganho em peso, conversão alimentar, taxas de crescimento específico, ganho em comprimento e taxa de sobrevivência. Após a biometria dos peixes, os mesmos foram eutanasiados para avaliação do rendimento de carcaça eviscerada, dos índices gonadossomático e hepatossomático e determinação do perfil de ácidos graxos. Foi coletado sangue dos peixes para a análise de glicose e lactato sanguíneo e cortisol plasmático. Fragmentos de brânquias foram coletados para análises de estresse oxidativo. Em seguida, peixes ($2,69 \pm 0,87$ g) das três repetições restantes foram redistribuídos na densidade de estocagem de 13 peixes/aquário e submetidos ao desafio pelo frio por mais sete dias. Após este período os peixes foram eutanasiados para coleta da carcaça para o perfil de ácidos graxos, sangue para as análises de glicose e lactato sanguíneos e cortisol plasmático e fragmentos de brânquias para avaliação do estresse oxidativo. Houve efeito significativo das fontes de óleo para a taxa de sobrevivência dos peixes ($p < 0,05$), onde os peixes alimentados com os óleos de palma e coco apresentaram as menores taxas de sobrevivência. Não houve efeito significativo das fontes de óleo para a taxa de sobrevivência dos peixes submetidos ao desafio pelo frio. Houve efeito significativo das fontes de óleo para os lipídios totais ($p < 0,05$), onde os peixes alimentados com o óleo de coco apresentaram maior valor de lipídios totais quando comparados com aqueles alimentados com óleo de peixe. Para os ácidos graxos saturados da carcaça dos peixes houve interação entre as fontes de óleo e o desafio pelo frio, para os

ácidos graxos 12:0, 13:0, 14:0, 15:0, 16:0, 20:0 e 22:0. Para os ácidos graxos 17:0 e 18:0 houve efeito apenas da fonte de óleo. Para os ácidos graxos monoinsaturados da carcaça dos peixes houve interação entre as fontes de óleos e o desafio pelo frio para os ácidos graxos 14:1, 15:1, 16:1, 17:1, 20:1n-9 e 22:1n-9. Para o ácido graxo 18:1 houve efeito das fontes de óleos e do desafio pelo frio. Para os ácidos graxos polinsaturados houve interação entre as fontes de óleo e o desafio pelo frio para os ácidos graxos 18:2n-6 e 20:3n-3. Houve efeito do desafio pelo frio para glicose e lactato sanguíneos dos peixes, com os maiores valores observados antes do desafio. Houve efeito das fontes de óleo para a atividade da enzima GST, onde os peixes alimentados com óleo de palma apresentaram maior atividade da enzima da GST do que dos peixes alimentados com os óleos de peixe, soja e linhaça. Houve efeito do desafio pelo frio para a atividade da enzima GST, com maior atividade da enzima observada antes do desafio. Conclui-se que os óleos de soja e linhaça promovem crescimento, saúde e qualidade de carcaça equivalentes aos do óleo de peixe. Os óleos de palma e coco pioram a saúde e a qualidade da carcaça de *Astyanax altiparanae* em fase de crescimento. O desafio pelo frio causou redução do metabolismo e das defesas antioxidantes de *Astyanax altiparanae*.

Palavras-chave: Desempenho produtivo, glutathione S-transferase, óleo de peixe, óleos vegetais, produto da peroxidação lipídica, superóxido dismutase.

Sources oils in diets for lambari-do-rabo-amarelo (*Astyanax altiparanae*) subject to challenge by the cold

Abstract: This study aimed to evaluate the effect of sources of oils with different compositions of fatty acids and challenge the cold in lambari-do-rabo-amarelo (*Astyanax altiparanae*) in the growth phase. The experiment was carried out in two consecutive phases, both in a completely randomized design with five treatments (fish oils, soy, linseed, palm and coconut), the first eight and the second with three replications. In the first phase, growth in fish (1.44 ± 0.20 g and 3.23 ± 0.20 cm) were distributed at a density of 20 fish / aquarium and fed for 106 days with the experimental diets. After this period of five repetitions fish were anesthetized, measured and weighed to achieve the following performance parameters: weight gain, feed conversion, specific growth rates, gains in length and survival rate. After the fish biometrics, we were euthanized for assessment of the eviscerated carcass yield, the gonadosomatic and hepatosomatic indices and determination of fatty acid profile. Fish blood was collected for glucose analysis and blood lactate and plasma cortisol. Gills fragments were collected for analysis of oxidative stress. Then fish (2.69 ± 0.87 g) of the remaining three repetitions were redistributed in 13 fish stocking density / aquarium and submitted to challenge the cold for another seven days. After this period the fish were euthanized for housing the collection to the fatty acid profile, blood glucose tests and blood lactate and cortisol palsmatico and gills fragments for evaluation of oxidative stress. There was a significant effect of oil supplies for fish survival rate ($p < 0.05$), where the fish fed with palm and coconut oils had the lowest survival rates. Significant effect of oil sources for the total lipids ($p < 0.05$), where the fish fed the coconut oil had higher total amount of lipids when compared to those fed fish oil. The soy and linseed oils promote growth, health and carcass quality equivalent to the fish oil. The palm and coconut oils worsen the health and quality of *Astyanax altiparanae* housing in the growth phase. The challenge caused by cold reduction of metabolism and antioxidant defenses *Altiparanae astyanax*.

Keywords: Fish oil, glutathione S-transferase, lipid peroxidation product, performance production, superoxide dismutase, vegetable oils.

Introdução

Os lipídios fornecem mais energia que as proteínas e carboidratos (BUREAU et al., 2002) e são importantes fontes de ácidos graxos essenciais, apresentando papel primordial no crescimento, sobrevivência e reprodução dos peixes (GLENCROSS, 2009; TOCHER, 2010). Os lipídios participam na manutenção da estrutura das membranas celulares, na composição de alguns hormônios, na absorção de vitaminas solúveis em gordura, além de serem precursores da síntese de prostaglandinas e eicosanóides e importantes poupadores de proteína da dieta (LI et al., 2013b).

A fluidez da membrana pode ser afetada pelo perfil de ácidos graxos e por fatores externos como temperatura, pressão e salinidade (HAZEL, 1995). Com a diminuição da temperatura da água a membrana torna-se gel, enquanto que em temperaturas mais elevadas torna-se mais fluida (SNYDER, 2003; HAZEL, 1995). A aclimação da membrana plasmática a tais situações leva a maior tolerância dos peixes ao estresse (SNYDER, 2003). A aclimação da membrana é dependente do tipo, da quantidade de ácidos graxos insaturados, do tamanho da cadeia carbônica, da hidrofobicidade e carga dos grupos dos fosfolipídios, da proporção de colesterol e de lipídios polares (HAZEL, JEFFREY, 1995). Caso não ocorra esta aclimação, os peixes podem entrar em situação de estresse, e em consequência ocorrerão alterações nas concentrações de cortisol, glicose e lactato sanguíneos, os quais são indicadores mais utilizados na avaliação do estresse (ROBERTSON et al., 1987; BARTON, 2000). O cortisol é utilizado para caracterizar a resposta primária, a glicose e o lactato, a resposta secundária. A resposta primária é caracterizada pelo aumento dos níveis de adrenalina e cortisol, seguida por alterações secundárias no sangue e no metabolismo, tais como hiperglicemia, hiperlactemia e reduzido teor de glicogênio no fígado (BARTON, 2000).

Outro indício de estresse é o estresse oxidativo, que é um estado de desequilíbrio entre a produção de espécies reativas de oxigênio (EROs) e a capacidade antioxidante endógena (RILEY, BEHRMAN, 1991). Em concentrações fisiológicas ideais, as EROs têm funções biológicas, porém, quando presentes em quantidades excessivas podem provocar danos no DNA, proteínas e lipídios ocasionando o estresse oxidativo (BERGER, 2005; SHARMA, AGARWAL, 1996). Para minimizar os efeitos negativos de EROs, peixes como outros vertebrados possuem um sistema de defesa antioxidante composto por

uma série de enzimas antioxidantes dentre elas as enzimas Superóxido Dismutase (SOD) e a Glutathione S-transferase (GST) (SHEEHAN et al., 2001; HERMES-LIMA, 2004).

O óleo de peixe é a principal fonte de lipídios em dietas para peixes (TURCHINI et al., 2005). Entretanto, o aumento na produção mundial de peixes, a preocupação socioambiental e o declínio dos estoques dos peixes marinhos, matéria prima para a confecção do óleo de peixe, vem tornando a disponibilidade do mesmo cada vez menor (PÉRON et al., 2010). Os óleos vegetais embora não sejam ricos em ácidos graxos de cadeia longa das famílias n-3 e n-6 como o ácido araquidônico (ARA, 20: 4 n-6), eicosapentaenóico (EPA, 20: 5 n-3) e docosaexaenóico (DHA, 22: 6 n-3) (TURCHINI, 2005), apresentam seus precursores, os ácidos graxos linoléico (LA, 18: 2 n-6) e linolênico (ALA, 18: 3 n-3) (GLENCROSS, 2009; Y, 2011; CASTRO et al., 2012). Entretanto, a maioria dos peixes não apresenta habilidade para sintetizar os ácidos graxos linoléico e linolênico, sendo necessária a incorporação dos mesmos na dieta. Os óleos vegetais têm sido alternativa para a substituição do óleo de peixe nas dietas dos peixes. Porém, para que se possa fazer esta substituição, torna-se necessário o conhecimento do perfil de ácidos graxos dos diferentes óleos vegetais, assim como sua atuação no metabolismo dos peixes, para que se possam indicar níveis seguros da substituição do óleo de peixe por óleos vegetais, sem que ocorra prejuízo aos peixes.

O lambari-do-rabo-amarelo (*Astyanax altiparanae*) é um peixe tropical de água doce, de pequeno porte, reprodução natural, ciclo de produção curto (COTAN et al, 2006), o que possibilita a obtenção de peixes para o abate com cerca de quatro meses. Os lambaris apresentam alta flexibilidade alimentar (ABILHOA, 2007) sendo possível a formulação de rações a base de ingredientes de origem animal e vegetal (SALARO et al., 2008).

Portanto, com este estudo objetivou-se avaliar o efeito de fontes de óleos com diferentes composições de ácidos graxos e do desafio pelo frio em lambari-do-rabo-amarelo (*Astyanax altiparanae*) em fase de crescimento.

Material e métodos

Esta pesquisa foi realizada nos Laboratórios de Nutrição de Peixes II e de Bioclimatologia, ambos do Setor de Piscicultura do Departamento de Biologia Animal da Universidade Federal de Viçosa – UFV, – Viçosa – MG, sendo aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais de Produção (CEUAP/UFV), processo nº 21/2013, estando de acordo com os princípios éticos da experimentação animal, estabelecido pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal - CONCEA e com a legislação vigente (Anexo 1).

O experimento foi realizado em duas fases consecutivas, ambas em delineamento inteiramente casualizado com cinco tratamentos (óleos de peixe, soja, linhaça, palma e coco) e oito repetições, na primeira fase e três na segunda.

Dietas experimentais

Foram confeccionadas cinco dietas práticas isoproteicas (32% de PB) e isoenergéticas (4300kcal de EB/Kg de ração) contendo cinco fontes de lipídios (óleos de peixe, soja, linhaça, palma e coco). As fontes de lipídios foram escolhidas em função da sua utilização em rações comerciais e ou da composição de ácidos graxos.

Para confecção das dietas, todos os macros ingredientes foram moídos em moinhos do tipo martelo com peneira de 0,5 milímetros de diâmetro. Após a moagem, os macros e micros ingredientes foram pesados em balança de precisão (SHIMADZU BL 3200S, Shimadzu do Brasil comercio LTDA, e = 0.1g) e misturados manualmente, peletizados em maquina de moer carne (Filizola, P-22, São Paulo, SP, Brasil), secas em estufa de ventilação forçada (Marconi equipamentos para laboratórios, MA 035, Brasil) a 50°C, trituradas em moinho manual (Botimental, Brasil) e passadas em peneiras de diversas malhas para obter peletes entre 0,5 a 1,5mm.

Amostras das dietas experimentais foram analisadas quanto à proteína bruta (PB), lipídios totais (LT), e cinzas (CZ) de acordo com protocolo descrito por Detmann et al. (2012). As análises da composição química das rações foram realizadas no Laboratório de Análises de Alimento (DZO, UFV). As determinações do perfil de ácidos graxos dos óleos

e das dietas experimentais foram realizadas no Laboratório de Bioquímica Nutricional (DNS, UFV). O perfil de ácidos graxos das diferentes fontes de óleos, composição percentual e química das dietas experimentais e o perfil de ácidos graxos das dietas experimentais estão apresentados nas tabelas 1, 2 e 3, respectivamente.

Tabela 1: Perfil de ácidos graxos das diferentes fontes de óleos (óleos de peixe, soja, linhaça, palma e coco), utilizados nas dietas experimentais.

Perfil de ácidos graxos dos óleos					
	Peixe	Soja	Linhaça	Palma	Coco
Ácidos graxos saturados					
10:0	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00
11:0	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02
12:0	0,09	0,08	0,03	44,36	53,57
13:0	0,00	0,02	0,04	0,03	0,03
14:0	5,10	0,07	0,06	16,30	23,66
15:0	0,81	0,00	0,01	0,01	0,00
16:0	28,74	10,61	9,67	10,39	9,80
17:0	0,27	0,03	0,03	0,02	0,00
18:0	6,21	23,73	1,80	2,73	2,74
20:0	0,21	0,00	0,01	0,00	0,00
21:0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22:0	0,47	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣAGS	41,9	34,59	11,65	73,86	89,82
Ácidos graxos monoinsaturados					
14:1	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00
15:1	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00
16:1	8,39	0,05	0,03	0,03	0,02
17:1	0,17	0,48	0,02	0,00	0,00
18:1	22,54	0,00	26,94	21,76	7,86
20:1n-9	0,00	0,00	0,01	0,00	0,03
22:1n-9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣAGMI	31,38	0,53	27,00	21,79	7,91
Ácidos graxos poli-insaturados					
18:2n-6	5,58	56,23	44,34	4,04	2,02
18:3n-3	2,13	6,65	15,51	0,00	0,00
20:2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20:3n-6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20:3n-3	0,00	0,34	0,38	0,00	0,00
20:4n-6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22:2	0,47	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣAGPI	8,18	63,22	60,23	4,04	2,02
Ácidos graxos insaturados de cadeia longa					
20:5n3 (EPA)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Σn-6	5,58	56,23	44,34	4,04	2,02
Σn-3	2,13	6,99	15,89	0,00	0,00

ΣAGS =Somatório de ácidos graxos saturados

ΣAGMI=Somatório de ácidos graxos monoinsaturados

ΣAGPI=Somatório de ácidos graxos polinsaturados

Tabela 02. Composição percentual e química das dietas experimentais utilizadas na alimetação do lambari-do-rabo-amarelo (*Astyanax altiparanae*) em fase de crescimento.

Ingredientes	Fontes de lipídios				
	Peixe	Soja	Linhaça	Palma	Coco
Farelo Soja	53,5	53,5	53,5	53,5	53,5
Glúten de Milho	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00
Fubá Milho	14,05	14,05	14,05	14,05	14,05
Farelo Trigo	14,5	14,5	14,5	14,5	14,50
L – Lisina	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
DL – Metionina	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
FosfBicálcico	3,80	3,80	3,80	3,80	3,80
Sal comum	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Premix vit ¹ .	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Premix min ² .	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
BHT ³	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Óleo Peixe	6,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Óleo Soja	0,00	6,00	0,00	0,00	0,00
Óleo Linhaça	0,00	0,00	6,00	0,00	0,00
Óleo Coco	0,00	0,00	0,00	0,00	6,00
Óleo Palma	0,00	0,00	0,00	6,00	0,00
Composição química*					
Prot Bruta	35,46	33,27	35,48	35,58	35,57
Lipídios Totais	8,48	9,32	8,58	8,95	8,61
Cinza	8,02	7,96	8,05	7,89	7,91

¹Níveis de garantia por quilograma do produto: Vit. A, 1.200.000UI ; Vit. D3 ; 200.000UI ; Vit. E, 12.000mg ; Vit. K3, 2.400mg ; Vit. B1, 4.800mg ; Vit. B2, 4.800mg ; Vit. B6, 4.000mg; Vit. B12, 4.800mg; Ac. Fólico, 1.200mg; Pantotenato Ca, 12.000mg; Vit. C, 48.000mg; Biotina, 48mg; Colina, 65.000mg; Niacina, 24.000mg;

²Ferro, 10.000mg; Cobre, 6.000mg; Manganês, 4.000mg; Zinco, 6.000mg; Iodo, 20mg; Cobalto, 2mg; Selênio, 20mg.

³Butilhidroxi tolueno (antioxidante)

*composição química por meio de análises laboratoriais (g/kg).

Tabela 03. Perfil de ácidos graxos das dietas experimentais utilizadas na alimentação do lambari-do-rabo-amarelo (*Astyanax altiparanae*) em fase de crescimento.

Perfil de ácidos graxos dietas experimentais					
	Peixe	Soja	Linhaça	Palma	Coco
Ácidos graxos saturados					
10:0	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00
11:0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12:0	0,00	0,06	0,05	29,51	34,94
13:0	0,00	0,04	0,05	0,17	0,07
14:0	3,05	0,06	0,06	10,22	14,63
15:0	0,50	0,00	0,00	0,04	0,00
16:0	24,28	11,84	11,24	12,62	11,99
17:0	0,18	0,03	0,03	0,02	0,04
18:0	4,85	2,96	3,06	3,36	2,73
20:0	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00
21:0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22:0	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣAGS	33,23	14,99	14,49	56,03	64,4
Ácidos graxos monoinsaturados					
14:1	0,10	0,00	0,00	0,04	0,00
15:1	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00
16:1	5,15	0,04	0,05	0,05	0,03
17:1	0,10	0,02	0,00	0,06	0,00
18:1	26,84	23,33	25,22	22,81	14,48
20:1n-9	0,89	0,00	0,00	0,00	0,00
22:1n-9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣAGMI	33,14	23,39	25,27	22,96	14,51
Ácidos graxos poliinsaturados					
18:2n6	23,36	55,22	47,77	19,23	19,46
18:3n3	2,68	5,39	11,57	1,19	1,24
20:2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20:3n-6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20:3n-3	0,17	0,43	0,38	0,19	0,00
20:4n-6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22:2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣAGPI	26,21	61,04	59,72	20,61	20,7
Ácidos graxos insaturados de cadeia longa					
20:5n3 (EPA)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Σn-6	23,36	55,22	47,77	19,23	19,46
Σn-3	2,85	5,82	11,95	1,38	1,24

ΣAGS =Somatório de ácidos graxos saturados
ΣAGMI=Somatório de ácidos graxos monoinsaturados
ΣAGPI=Somatório de ácidos graxos polinsaturados

Condições Experimentais

Na primeira fase experimental, peixes em crescimento ($1,44 \pm 0,20\text{g}$ e $3,23 \pm 0,20\text{cm}$) foram distribuídos em 40 aquários (20 peixes por aquário), em sistema de recirculação de água (vazão de 1 litro/min), dotados de filtro mecânico, biológico e aeração contínua. A temperatura da água foi mantida em $27,17 \pm 0,92^\circ\text{C}$, o pH permaneceu em $7,6 \pm 0,357$, a amônia em $0,2 \pm 0,11 \text{ mg/Le}$ o oxigênio dissolvido entre 6,5 a 7,5mg/L. Em cada aquário foi colocado um refúgio confeccionados com 30 fios de lã de cor marrom com 20 cm de comprimento, amarrados em esfera de isopor de 3 cm de diâmetro, para manter o bem estar dos peixes. Os aquários foram cobertos com tela de nylon branca (2 mm) para evitar a fuga dos peixes. O laboratório foi mantido em fotoperíodo de 12 horas, controlado por um timer analógico. Semanalmente os aquários foram sifonados com troca de 30% do volume total de água total. Os peixes foram alimentados nos horários de 8:00, 11:00, 14:00 e 17:00, por um período de 106 dias.

Após este período, peixes ($2,69 \pm 0,87\text{g}$) de três repetições por tratamento foram transferidos para o Laboratório de Bioclimatologia para a realização da segunda fase experimental (desafio pelo frio). Os peixes foram distribuídos em 15 aquários na densidade de estocagem de 13 peixes/aquário e alimentados com as mesmas dietas experimentais por mais sete dias. A temperatura da água dos aquários foi mantida a $21,12^\circ\text{C} \pm 0,79^\circ\text{C}$ e o pH, a amônia e o oxigênio dissolvido da água permaneceram em 6,85, 0,50mg/Le 7,00mg/L, respectivamente.

Desempenho Produtivo

O desempenho produtivo dos peixes foi avaliado apenas no final da primeira fase experimental. Para tal, os peixes de cinco unidades experimentais, foram anestesiados com óleo de cravo (50mg/L), quantificados, pesados e medidos individualmente (Shimadzu BL 3200S, Shimadzu do Brasil comercio LTDA, $e=0.1\text{g}$) para determinação dos parâmetros de ganho em peso ($\text{GP} = \text{peso médio final}/\text{peso médio inicial}$), conversão alimentar ($\text{CA} = \text{consumo de ração}/\text{ganho de peso}$), taxas de crescimento específico $\{\text{TCE} = 100 * (\text{peso final} - \text{peso inicial})/\text{tempo de experimento}\}$, ganho em comprimento (comprimento final – comprimento inicial) e taxa sobrevivência $\{\text{TS} = 100 * (\text{n}^\circ \text{ de peixes final})/(\text{n}^\circ \text{ de peixes$

inicial)). Após a biometria dos peixes, os mesmos foram eutanasiados para avaliação do rendimento de carcaça eviscerada e dos índices gonadossomático e hepatossomático.

Perfil de ácidos graxos da carcaça dos peixes

Ao final das duas fases experimentais, as carcaças dos peixes dos diferentes tratamentos foram liofilizadas e maceradas para a determinação do perfil de ácidos graxos no Laboratório de Bioquímica Nutricional (LABIN) do Departamento de Nutrição da Universidade Federal de Viçosa.

As análises de perfil de ácidos graxos foram realizadas em cromatógrafo a gás modelo CG – 17 A Detector de Chama (FID), marca SHIMADZU. Para registro e análise dos cromatogramas, o aparelho foi acoplado a um microcomputador, utilizando-se o programa GC Solution. Os compostos foram separados e identificados em uma coluna capilar SupelcoWax (30 m x 0,25 mm). Para a separação cromatográfica, 1 µL de amostra foi injetado com auxílio de seringa de 10 µL (Hamilton®) em sistema Split = 10. O gás Nitrogênio foi utilizado como carreador. As temperaturas do injetor e do detector foram controladas isotérmicas em 220°C e 240°C. A temperatura inicial da coluna foi de 140°C (mantida por 5 minutos), aumentando em 4°C por minuto até atingir 240°C com parada de 50 minutos, totalizando 80 minutos de análise. O Fluxo do gás de arraste na coluna foi de 0,8mL/minuto. A identificação dos compostos foi realizada por meio do tempo de retenção do padrão correspondente.

Respostas de estresse

Ao final das duas fases experimentais, para a realização das análises sanguíneas de glicose e lactato, os peixes foram previamente anestesiados com óleo de cravo (50mg/L) e posteriormente foram realizados cortes com bisturi na região do pedúnculo da nadadeira caudal e o sangue foi depositado diretamente nas tiras reagentes. Utilizou-se tiras reagentes do monitor digital Accu-ChekActive®Roche para análise da glicose sanguínea e tiras reagentes do monitor digital Accutrend® PlusRoche para o lactato sanguíneo. Para a

análise do cortisol plasmático coletou-se um pool de três peixes por tratamento em seringa 1mL heparinizada, também por corte no pedúnculo da nadadeira caudal. Em seguida as amostras foram centrifugadas (Centrífuga Fresco 17 HeraeusThermoScientific, Laboratório de Biologia Estrutural – Biologia Geral – UFV) por 15 minutos a 3.000 rpm, para coleta do plasma. O plasma foi analisado em aparelho Beckman Coulter, por imunoenensaioquimioluminescente no Laboratório de Fisiologia e Reprodução Animal – Departamento de Zootecnia – UFV.

Estresse oxidativo

Ao final das duas fases experimentais, amostras de tecido branquial (50 mg/peixe) dos peixes dos diferentes tratamentos, foram homogeneizadas em tampão fosfato 50 mmol L⁻¹ (pH 7,0) e a suspensão centrifugada (11,269 x g à 4°C por 10 minutos). Com o sobrenadante foram realizadas as análises das enzimas SOD, GST e o produto da peroxidação lipídica malondialdeído (MDA). Para a enzima superóxido dismutase, a atividade enzimática foi determinada em leitor de Elisa em 570 nm (DIETERICH et al., 2000) baseado na capacidade desta enzima em catalisar a reação do superóxido O₂⁻ e o peróxido de hidrogênio e, assim, diminuir a razão de auto-oxidação do pirogalol. Para glutathione S-transferase, a atividade enzimática foi mensurada através da formação do conjugado glutathione-2,4-dinitrobenzeno e estimada pela variação da absorvância em 340 nm por 60s. A formação do conjugado ocorreu espontaneamente no substrato 1-cloro-2,4-dinitrobenzeno (CDNB) em reação não enzimática, sendo acelerada pela atividade da enzima GST. Uma unidade (U) de GST equivale à quantidade de enzima que forma 1mol do conjugado glutathione-2,4-dinitrobenzeno por minuto. O coeficiente de extinção molar do CDNB 340 = 9,6 mM⁻¹ cm⁻¹ foi utilizado para os cálculos (HABIG et al., 1974). Para a determinação do malondialdeído foi adicionado ao sobrenadante a solução de TBARS (ácido tricloroacético 15%, 0,375% de ácido tiobarbitúrico, e HCL 0,25 N), os tubos foram mantidos em banho maria por 15 minutos, resfriados e centrifugados a 1,957 x g por 5 minutos. Em seguida a concentração de malondialdeído foi mensurada em espectrofotometria a 535 nm (BUEGE, AUST, 1978). As análises de estresse oxidativo das brânquias dos peixes foram realizadas no Laboratório de Ecofisiologia de Quirópteros do

Departamento de Biologia Animal da UFV, para análise das enzimas, superóxido dismutase (SOD), glutathione S-transferase (GST) e o produto da peroxidação lipídica malondialdeído (MDA).

Análise estatística

A avaliação do efeito das fontes de óleo na dieta sobre as variáveis de desempenho produtivo, foi realizada por meio de análise de variância (ANOVA OneWay) e em caso de teste F significativo foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Para verificar o pressuposto de normalidade dos erros foi aplicado o teste de Lilliefors. Para verificar a homogeneidade das variâncias dos erros entre os tratamentos foi aplicado o teste de Bartlett. A avaliação do efeito das fontes de óleo na dieta e do desafio pelo frio sobre os níveis de cortisol, glicose e lactato plasmáticos, perfil de ácidos graxos das carcaças e Parâmetros bioquímicos do estresse oxidativo foi realizada por meio de análise de variância (ANOVA Two Way). Em caso de teste F significativo foi aplicado o teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Resultados

Desempenho produtivo e composição química da carcaça

Houve efeito significativo das fontes de óleo apenas para a taxa de sobrevivência dos peixes ($p < 0,05$). Os peixes alimentados com os óleos de palma e coco apresentaram as menores taxas de sobrevivência quando comparadas com as dos peixes alimentados com as demais fontes de óleo, as quais não diferiram entre si (Tabela 4). Não houve efeito significativo das fontes de óleo para a taxa de sobrevivência dos peixes submetidos ao desafio pelo frio (segunda fase experimental), com valores médios de 92,31%; 84,61; 71,79; 82,05 e 92,31, respectivamente para os peixes alimentados com os óleos de peixe, soja, linhaça, palma e coco (CV = 11,25%).

Tabela 04: Valores médios e coeficiente de variação dos parâmetros de desempenho produtivo de lambari-do-rabo-amarelo (*Astyanax altiparanae*) em fase de crescimento alimentados com dietas contendo diferentes fontes de lipídios (óleo de peixe, soja, linhaça, palma e coco).

Parâmetros	Fontes de lipídios					CV
	Peixe	Soja	Linhaça	Palma	Coco	
GP	1,86 ^a	2,08 ^a	2,29 ^a	1,86 ^a	1,78 ^a	18,77
CA	2,51 ^a	2,70 ^a	2,33 ^a	2,24 ^a	2,16 ^a	19,84
RC	83,18 ^a	81,78 ^a	81,36 ^a	83,67 ^a	83,40 ^a	4,55
IVS	11,59 ^a	13,79 ^a	13,83 ^a	12,23 ^a	11,11 ^a	22,21
IHS	0,64 ^a	0,63 ^a	0,62 ^a	0,85 ^a	0,62 ^a	28,67
TCE	0,74 ^a	0,80 ^a	0,88 ^a	0,75 ^a	0,74 ^a	13,11
GC	1,22 ^a	1,12 ^a	1,23 ^a	1,11 ^a	1,10 ^a	14,00
TS	85,00 ^a	94,00 ^a	91,00 ^a	46,00 ^b	49,00 ^b	25,78

Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença significativa para o teste de tukey a 5%.

GP = Ganho de peso ((Peso medio final)/(Peso medio inicial))

CA= Conversão alimentar (Consumo de ração /Ganho de peso)

RC= Rendimento de carcaça (Peso medio da carcaça/ Peso medio final)

IVS=índice viscerossomático (%) (PVc/PV) X 100, onde PVc = peso da vísceras (g), e PV é peso vivo (g),

IHS=índice hepatossomático (%) (PF/PV) X 100, onde PF = peso do fígado (g), e PV é peso vivo (g)

TCE=taxas de crescimento específico (100*(peso final - peso inicial)/tempo de experimento)

GC=Ganho de comprimento = Comprimento final – comprimento inicial;

TS = taxa de sobrevivência (100*(n de peixes final)/(n de peixes inicial))

Houve efeito significativo das fontes de óleo apenas para os lipídios totais ($p < 0,05$), onde os peixes alimentados com o óleo de coco apresentaram maior valor de lipídios totais quando comparados com aqueles alimentados com óleo de peixe. Entretanto, o valor de lipídios totais obtidos para os peixes alimentados com óleo de peixe não diferiram daqueles obtidos para os peixes alimentados com os óleos de soja, linhaça e palma. O valor de lipídios totais dos peixes alimentados com óleo de coco também não diferiu daqueles obtidos para os peixes alimentados com os óleos de soja, linhaça e palma (Tabela 5).

Tabela 05: Valores médios e coeficiente de variação das variáveis da composição química da carcaça de lambari-do-rabo-amarelo (*Astyanaxaltiparanae*) em fase de crescimento alimentados com dietas contendo diferentes fontes lipídicas (óleo de peixe, soja, linhaça, palma e coco).

Composição química da carcaça dos peixes						
Parâmetros	Peixe	Soja	Linhaça	Palma	Coco	CV
LT	18,88 ^b	20,42 ^{ab}	21,16 ^{ab}	19,62 ^{ab}	22,38 ^a	8.23
CNZ	18,20 ^a	16,71 ^a	18,45 ^a	18,05 ^a	18,43 ^a	8.21
PB	62,92 ^a	62,85 ^a	60,38 ^a	62,32 ^a	59,18 ^a	4.34

Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença significativa para o teste de tukey a 5%..

PB = proteína bruta (g kg-1)¹

LT = Lipídios Totais (g kg-1)¹

CNZ= Cinzas (g kg-1)¹

valores expressos com base na matéria seca.

Perfil de ácidos graxos da carcaça

Para os ácidos graxos saturados da carcaça dos peixes houve interação entre as fontes de óleo e o desafio pelo frio, para os ácidos graxos 12:0, 13:0, 14:0, 15:0, 16:0, 20:0 e 22:0 (Tabela 06). Com relação aos efeitos das fontes de óleos, observou-se maior concentração para o ácido graxo 12:0, antes do desafio pelo frio, na carcaça dos peixes alimentados com óleo de coco. Os menores valores foram observados na carcaça dos peixes que receberam os óleos de peixe, soja e linhaça, os quais não diferiram entre si. Após o desafio pelo frio a maior concentração deste ácido graxo foi encontrada nos peixes que receberam óleo de palma (Tabela 07). Com relação aos efeitos do desafio pelo frio, os peixes alimentados com óleo de coco apresentaram redução significativa do 12:0 na carcaça (Tabela 08). Para o ácido graxo 13:0, com relação aos efeitos das fontes de óleos, não foram observadas diferenças significativas antes e após o desafio pelo frio (Tabela 09). Com relação aos efeitos do desafio pelo frio houve redução significativa deste ácido na carcaça dos peixes alimentados com óleo de linhaça (Tabela 10). Comportamento semelhante foi observado para o ácido graxo 15:0 (Tabelas 11 e 12). Com relação aos efeitos das fontes de óleos, observaram-se maiores concentrações do ácido graxo 14:0, antes do desafio pelo frio, na carcaça dos peixes alimentados com os óleos de palma e

coco. Após o desafio pelo frio os peixes alimentados com óleo de palma apresentaram maior concentração deste ácido quando comparada com as dos peixes alimentados com óleos de soja e linhaça, porém não diferiu dos peixes alimentados com os óleos de peixe e coco (Tabela 13). Com relação aos efeitos do desafio pelo frio houve aumento deste ácido graxo na carcaça dos peixes alimentados com o óleo de peixe enquanto que redução significativa foi observada na carcaça dos peixes que receberam óleo coco (Tabela 14). Para o ácido graxo 16:0, com relação ao efeito das fontes de óleos, não foram observadas diferenças significativas antes e após o desafio pelo frio (Tabela 15). Com relação aos efeitos do desafio pelo frio houve redução da concentração deste ácido graxo nos peixes alimentados com óleo de peixe, enquanto que para os peixes alimentados com óleo de coco houve aumento na concentração deste ácido (Tabela 16). Com relação aos efeitos das diferentes fontes de óleos, observou-se menor concentração do ácido graxo 20:0, antes do desafio pelo frio, na carcaça dos peixes alimentados com óleo de peixe. Após o desafio pelo frio a maior concentração deste ácido graxo foi observada na carcaça dos peixes alimentados com óleo de peixe e a menor nos peixes alimentados com óleo de coco (Tabela 17). Com relação aos efeitos do desafio pelo frio observou-se aumento nas concentrações deste ácido graxo na carcaça dos peixes alimentados com os óleos de peixe, linhaça e palma, enquanto que para os peixes alimentados com óleo de coco houve redução (Tabela 18). Com relação aos efeitos das diferentes fontes de óleos, observaram-se as maiores concentrações do ácido graxo 22:0, antes do desafio pelo frio, na carcaça dos peixes alimentados com os óleos de palma e coco quando comparadas com as dos demais peixes, as quais não diferiram entre si. Após o desafio pelo frio não houve diferença significativa para este ácido na carcaça dos peixes (Tabela 19). Com relação aos efeitos do desafio pelo frio houve redução deste ácido graxo na carcaça dos peixes alimentados com óleo coco (Tabela 20).

Tabela 06: Perfil de ácidos graxos da carcaça de lambari-do-rabo-amarelo (*Astyanax altiparanae*) em fase de crescimento alimentados com dietas contendo diferentes fontes lipídicas (óleo de peixe, soja, linhaça, palma e coco) submetidos a frio.

Variáveis	Efeito da interação óleo e frio	Efeito do óleo	Óleos					Efeito do frio	Frio		CV (%)
			Peixe	Soja	Linhaça	Palma	Coco		Antes	Após	
Ácidos graxos saturados											
12:0	<0.01	<0.01	3.10c	0.09c	0.06c	11.56a	7.08b	<0.01	5.24a	3.51b	10.78
13:0	0.04	0.03	0.03ab	0.08a	0.03ab	0.03b	0.03ab	ns	0.04	0.04	56.08
14:0	<0.01	<0.01	4.21b	0.67c	0.62c	8.93a	6.72ab	0.02	4.95a	3.51b	31.17
15:0	0.03	<0.01	0.92b	2.48a	1.43ab	0.19b	0.75b	0.23	1.32a	0.99b	53.82
16:0	<0.01	<0.01	30.96a	29.30a	27.99a	22.73b	28.53a	ns	27.53	27.86	9.16
17:0	ns	0.01	0.18ab	0.34a	0.15ab	0.06b	0.14ab	ns	0.16	0.19	60.49
18:0	ns	<0.01	9.26ab	10.53a	10.06a	6.99b	8.83ab	ns	9.05	9.23	12.74
20:0	<0.01	ns	0.32	0.29	0.26	0.34	0.22	<0.01	0.21b	0.36a	22.05
22:0	<0.01	<0.01	0.06b	0.00b	0.05b	0.19a	0.12ab	ns	0.09	0.08	75.53

continua

continuação

Variáveis	Efeito da interação óleo e frio	Efeito do óleo	Óleos					Efeito do frio	Frio		CV (%)
			Peixe	Soja	Linhaça	Palma	Coco		Antes	Depois	
Ácidos graxos monoinsaturados											
14:1	<0.01	<0.01	0.11a	0.10a	0.09a	0.01b	0.07ab	ns	0.08	0.08	45.76
15:1	<0.01	<0.01	0.06a	0.00b	0.00b	0.00b	0.04a	ns	0.02	0.03	79.31
16:1	<0.01	<0.01	2.95a	0.27c	0.92bc	0.59c	2.04ab	ns	1.10	1.61	52.37
17:1	<0.01	<0.01	0.03ab	0.00b	0.00b	0.00b	0.05a	ns	0.01	0.02	128.91
18:1	ns	<0.01	36.84bc	40.48ab	43.12a	38.02bc	35.78c	0.04	37.99b	39.71a	4.96
20:1n-9	0.04	ns	0.42	0.61	0.46	0.63	0.52	ns	0.47	0.59	29.06
22:1n-9	0.03	0.03	0.00b	0.00b	0.00b	0.04ab	0.12a	0.01	0.06a	0.00b	154.29
Ácidos graxos polinsaturados											
18:2n-6	<0.01	<0.01	2.26b	8.01a	7.62a	6.51a	4.14b	ns	5.57	5.84	21.24
18:3n-3	ns	ns	2.21	1.58	2.73	0.71	1.74	ns	1.94	1.64	60.99
20:3n-6	ns	ns	0.02	0.00	0.04	0.01	0.00	ns	0.01	0.01	302.28
20:3n-3	0.02	<0.01	0.06b	0.56a	0.31ab	0.09b	0.34ab	0.02	0.36a	0.18b	60.46
20:4n-6	ns	ns	0.00	0.10	0.34	0.00	0.00	ns	0.04	0.01	460.81

Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença significativa para o teste de tukey a 5%.

Tabela 07: Efeito das fontes de óleos antes e após o desafio pelo frio para o ácido graxo 12:0.

Fontes de óleos					
Frio	Peixe	Soja	Linhaça	Palma	Coco
Antes	0,06c	0,11c	0,06c	11,93b	14,09a
Após	0,08b	0,07b	0,06b	11,21a	0,08b

Tabela 08: Efeito do desafio pelo frio entre as fontes de óleos para o ácido graxo 12:0.

Fontes de óleos	Frio	
	Antes	Após
Peixe	0,06a	0,08a
Soja	0,11a	0,07a
Linhaça	0,06a	0,06a
Palma	11,93a	11,21a
Coco	14,09a	0,08b

Tabela 09: Efeito das fontes de óleos antes e após o desafio pelo frio para o ácido graxo 13:0.

Fontes de óleos					
Frio	Peixe	Soja	Linhaça	Palma	Coco
Antes	0,02b	0,08ab	0,07ab	0,03ab	0,04ab
Após	0,06ab	0,08ab	0,00b	0,03ab	0,03ab

Tabela 10: Efeito do desafio pelo frio entre as fontes de óleos para o ácido graxo 13:0.

Fontes de óleos	Frio	
	Antes	Após
Peixe	0,02a	0,06a
Soja	0,08a	0,08a
Linhaça	0,07a	0,00b
Palma	0,03a	0,03a
Coco	0,04a	0,03a

Tabela 11: Efeito das fontes de óleos antes e após o desafio pelo frio para o ácido graxo 15:0.

Frio	Fontes de óleos				
	Peixe	Soja	Linhaça	Palma	Coco
Antes	1,26ab	2,68ab	2,30ab	0,22b	0,15b
Após	0,60ab	2,29ab	0,57ab	0,17b	1,36ab

Tabela 12: Efeito do desafio pelo frio entre as fontes de óleos para o ácido graxo 15:0.

Fontes de óleos	Frio	
	Antes	Após
Peixe	1,26a	0,60a
Soja	2,68a	2,29a
Linhaça	2,30a	0,57b
Palma	0,22a	0,17a
Coco	0,15a	1,36a

Tabela 13: Efeito das fontes de óleos antes e após o desafio pelo frio para o ácido graxo 14:0.

Frio	Fontes de óleos				
	Peixe	Soja	Linhaça	Palma	Coco
Antes	2,62b	0,73b	0,63b	9,54a	11,22a
Após	5,79abc	0,62c	0,63c	8,33ab	2,22bc

Tabela 14: Efeito do desafio pelo frio entre as fontes de óleos para o ácido graxo 14:0.

Fontes de óleos	Frio	
	Antes	Após
Peixe	2,65b	5,79a
Soja	0,73a	0,62a
Linhaça	0,63a	0,63a
Palma	9,54a	8,33a
Coco	11,22a	2,22b

Tabela 15: Efeito das fontes de óleos antes e após o desafio pelo frio para o ácido graxo 16:0.

Fontes de óleos					
Frio	Peixe	Soja	Linhaça	Palma	Coco
Antes	34,33ab	29,27ab	28,95ab	23,03b	24,17b
Após	27,60ab	29,33ab	27,04ab	22,43b	32,90ab

Tabela 16: Efeito do desafio pelo frio entre as fontes de óleos para o ácido graxo 16:0.

Fontes de óleos	Frio	
	Antes	Após
Peixe	34,33a	27,60b
Soja	29,27a	29,33a
Linhaça	28,95a	27,04a
Palma	23,03a	22,43a
Coco	24,17b	32,90a

Tabela 17: Efeito das fontes de óleos antes e após o desafio pelo frio para o ácido graxo 20:0.

Fontes de óleos					
Frio	Peixe	Soja	Linhaça	Palma	Coco
Antes	0,04b	0,25a	0,19a	0,27a	0,33a
Após	0,61a	0,34b	0,34b	0,41b	0,12c

Tabela 18: Efeito do desafio pelo frio entre as fontes de óleos para o ácido graxo 20:0.

Fontes de óleos	Frio	
	Antes	Após
Peixe	0,04b	0,61a
Soja	0,25a	0,34a
Linhaça	0,19b	0,34a
Palma	0,27b	0,41a
Coco	0,33a	0,12b

Tabela 19: Efeito das fontes de óleos antes e após o desafio pelo frio para o ácido graxo 22:0.

Frio	Fontes de óleos				
	Peixe	Soja	Linhaça	Palma	Coco
Antes	0,00b	0,00b	0,00b	0,19a	0,25a
Após	0,12ab	0,00b	0,09ab	0,20ab	0,00b

Tabela 20: Efeito do desafio pelo frio entre as fontes de óleos para o ácido graxo 22:0.

Fontes de óleos	Frio	
	Antes	Após
Peixe	0,00a	0,12a
Soja	0,00a	0,00a
Linhaça	0,00a	0,09a
Palma	0,19a	0,20a
Coco	0,25a	0,00b

Para os ácidos graxos 17:0 e 18:0 houve efeito apenas da fonte de óleo. Os peixes alimentados com óleo de soja apresentaram maior concentração do ácido graxo 17:00 na carcaça quando comparado com a carcaça dos peixes que receberam óleo de palma, porém estes não diferiram dos peixes alimentados com os óleos de peixe, linha e coco. Para o ácido graxo 18:0 os peixes alimentados com os óleos de soja e linhaça apresentaram maiores concentrações quando comparados com aqueles alimentados com óleo de palma, porém estes não diferiram dos demais (Tabela 06).

Para os ácidos graxos monoinsaturados da carcaça dos peixes houve interação entre as fontes de óleos e o desafio pelo frio para os ácidos graxos 14:1, 15:1, 16:1, 17:1, 20:1n-9 e 22:1n-9 (Tabela 06). Para o ácido graxo 14:1, com relação aos efeitos das fontes de óleos, não foram observadas diferenças significativas antes e após o desafio pelo frio (Tabela 21). Com relação aos efeitos do desafio pelo frio houve redução significativa deste ácido na carcaça dos peixes que receberam o óleo de linhaça enquanto que aumento foi observado na carcaça dos peixes alimentados com óleo de coco (Tabela 22). Com relação aos efeitos das fontes de óleos, observou-se maior concentração do ácido graxo 15:1, antes

do desafio pelo frio, na carcaça dos peixes alimentados com óleo de peixe. Após o desafio pelo frio não houve efeito dos óleos na concentração deste ácido na carcaça dos peixes (Tabela 23). Com relação aos efeitos do desafio pelo frio houve redução significativa deste ácido na carcaça dos peixes alimentados com óleo de peixe enquanto que aumento foi observado na carcaça dos peixes alimentados com óleo de coco (Tabela 24). Com relação aos efeitos das fontes de óleos, observou-se maior concentração do ácido graxo 16:1, antes do desafio pelo frio, na carcaça dos peixes alimentados com óleo de peixe. Após o desafio pelo frio não houve efeito dos óleos na concentração deste ácido na carcaça dos peixes (Tabela 25). Com relação aos efeitos do desafio pelo frio houve redução significativa deste ácido na carcaça dos peixes alimentados com óleo de peixe enquanto que aumento foi observado nas carcaças dos peixes alimentados com os óleos de linhaça e de coco (Tabela 26). Com relação aos efeitos das diferentes fontes de óleos, observou-se maior concentração do ácido graxo 17:1, antes do desafio pelo frio, na carcaça dos peixes alimentados com óleo de peixe. Após o desafio pelo frio foi observada maior concentração na carcaça dos peixes alimentados com óleo de coco (Tabela 27). Com relação aos efeitos do desafio pelo frio houve redução significativa deste ácido graxo na carcaça dos peixes alimentados com óleo de peixe enquanto que aumento foi observado na carcaça dos peixes alimentados com óleo de coco (Tabela 28). Com relação aos efeitos das fontes de óleos não foram observadas diferenças significativas antes e após o desafio pelo frio na carcaça dos peixes para o ácido graxo 20:1n-9 (Tabela 29). Com relação aos efeitos do desafio pelo frio houve aumento significativo deste ácido na carcaça dos peixes alimentados com óleo de soja enquanto que redução foi observada na carcaça dos peixes alimentados com óleo de coco (Tabela 30). Com relação aos efeitos das fontes de óleos não foram observadas diferenças significativas antes e após o desafio pelo frio na carcaça dos peixes para o ácido graxo 22:1n-9 (Tabela 31). Com relação aos efeitos do desafio pelo frio houve redução significativa deste ácido na carcaça dos peixes alimentados com óleo de coco (Tabela 32).

Tabela 21: Efeito das fontes de óleos antes e após o desafio pelo frio para o ácido graxo 14:1.

Frio	Fontes de óleos				
	Peixe	Soja	Linhaça	Palma	Coco
Antes	0,13ab	0,07ab	0,15ab	0,01b	0,03b
Após	0,09ab	0,14ab	0,03ab	0,01b	0,11ab

Tabela 22: Efeito do desafio pelo frio entre as fontes de óleos para o ácido graxo 14:1.

Fontes de óleos	Frio	
	Antes	Após
Peixe	0,13a	0,09a
Soja	0,07a	0,14a
Linhaça	0,15a	0,03b
Palma	0,01a	0,01a
Coco	0,03b	0,11a

Tabela 23: Efeito das fontes de óleos antes e após o desafio pelo frio para o ácido graxo 15:1.

Frio	Fontes de óleos				
	Peixe	Soja	Linhaça	Palma	Coco
Antes	0,08a	0,00b	0,00b	0,00b	0,00b
Após	0,05ab	0,00b	0,01b	0,00b	0,09ab

Tabela 24: Efeito do desafio pelo frio entre as fontes de óleos para o ácido graxo 15:1.

Fontes de óleos	Frio	
	Antes	Após
Peixe	0,08a	0,05b
Soja	0,00a	0,00a
Linhaça	0,00a	0,01a
Palma	0,00a	0,00a
Coco	0,00b	0,09a

Tabela 25: Efeito das fontes de óleos antes e após o desafio pelo frio para o ácido graxo 16:1.

Frio	Fontes de óleos				
	Peixe	Soja	Linhaça	Palma	Coco
Antes	3,85a	0,31b	0,21b	0,58b	0,56b
Após	2,07ab	0,23b	1,63ab	0,60b	3,52ab

Tabela 26: Efeito do desafio pelo frio entre as fontes de óleos para o ácido graxo 16:1.

Fontes de óleos	Frio	
	Antes	Após
Peixe	3,85a	2,07b
Soja	0,31a	0,23a
Linhaça	0,21b	1,63a
Palma	0,58a	0,60a
Coco	0,56b	3,52a

Tabela 27: Efeito das fontes de óleos antes e após o desafio pelo frio para o ácido graxo 17:1.

Frio	Fontes de óleos				
	Peixe	Soja	Linhaça	Palma	Coco
Antes	0,06a	0,00b	0,00b	0,00b	0,00b
Após	0,00b	0,00b	0,00b	0,00b	0,10a

Tabela 28: Efeito do desafio pelo frio entre as fontes de óleos para o ácido graxo 17:1.

Fontes de óleos	Frio	
	Antes	Após
Peixe	0,06a	0,00b
Soja	0,00a	0,00a
Linhaça	0,00a	0,00a
Palma	0,00a	0,00a
Coco	0,00b	0,10a

Tabela 29: Efeito das fontes de óleos antes e após o desafio pelo frio para o ácido graxo 20:1n-9.

Frio	Fontes de óleos				
	Peixe	Soja	Linhaça	Palma	Coco
Antes	0,35a	0,46a	0,33a	0,56a	0,67a
Após	0,51a	0,77a	0,60a	0,71a	0,37a

Tabela 30: Efeito do desafio pelo frio entre as fontes de óleos para o ácido graxo 20:1n-9.

Fontes de óleos	Frio	
	Antes	Após
Peixe	0,35a	0,51a
Soja	0,46b	0,77a
Linhaça	0,33a	0,60a
Palma	0,56a	0,71a
Coco	0,67a	0,37b

Tabela 31: Efeito das fontes de óleos antes e após o desafio pelo frio para o ácido graxo 22:1n-9.

Frio	Fontes de óleos				
	Peixe	Soja	Linhaça	Palma	Coco
Antes	0,00b	0,00b	0,00b	0,09ab	0,24ab
Após	0,00a	0,00a	0,00a	0,00a	0,00a

Tabela 32: Efeito do desafio pelo frio entre as fontes de óleos para o ácido graxo 22:1n-9.

Fontes de óleos	Frio	
	Antes	Após
Peixe	0,00a	0,00a
Soja	0,00a	0,00a
Linhaça	0,00a	0,00a
Palma	0,09a	0,00a
Coco	0,24a	0,00b

Para o ácido graxo 18:1 houve efeito das fontes de óleos e do desafio pelo frio. Maior concentração do ácido graxo 18:1 foi observada na carcaça dos peixes que receberam óleo de linhaça quando comparada com a carcaça dos peixes que receberam óleo de coco, porém os peixes alimentados com óleo de linhaça não diferiram dos peixes alimentados com óleo de soja. A concentração deste ácido graxo foi maior na carcaça dos peixes após o desafio pelo frio (Tabela 06).

Para os ácidos graxos polinsaturados houve interação entre as fontes de óleo e o desafio pelo frio para os ácidos graxos 18:2n-6 e 20:3n-3. Com relação aos efeitos das fontes de óleos não foram observadas diferenças significativas antes do desafio pelo frio para o ácido graxo 18:2n-6 na carcaça dos peixes. Após o desafio pelo frio as maiores concentrações foram observadas nos peixes alimentados com os óleos de soja, linhaça e palma (Tabela 33). Com relação aos efeitos do desafio pelo frio houve aumento significativo deste ácido na carcaça dos peixes alimentados com óleo de linhaça enquanto que redução foi observada na carcaça dos peixes alimentados com óleo de coco (Tabela 34). Com relação aos efeitos das fontes de óleos antes do desafio pelo frio para o ácido graxo 20:3n-3 observou-se maior concentração deste ácido na carcaça dos peixes que receberam óleo de soja quando comparada com as dos peixes alimentados com óleo de peixe, porém estes não diferiram dos demais tratamentos. Após o desafio pelo frio não houve efeito da fonte de óleo para este ácido graxo (Tabela 35). Com relação aos efeitos do desafio pelo frio houve diminuição significativa deste ácido na carcaça dos peixes alimentados com óleo de linhaça (Tabela 36).

Tabela 33: Efeito das fontes de óleos antes e após o desafio pelo frio para o ácido graxo 18:2 n-6.

Frio	Fontes de óleos				
	Peixe	Soja	Linhaça	Palma	Coco
Antes	2,91b	8,29ab	5,61ab	5,65ab	5,41ab
Após	1,61b	7,72a	9,64a	7,38a	2,89b

Tabela 34: Efeito do desafio pelo frio entre as fontes de óleos para o ácido graxo 18:2 n-6.

Fontes de óleos	Frio	
	Antes	Após
Peixe	2,91a	1,61a
Soja	8,29a	7,72a
Linhaça	5,61b	9,64a
Palma	5,65a	7,38a
Coco	5,41a	2,89b

Tabela 35: Efeito das fontes de óleos antes e após o desafio pelo frio para o ácido graxo 20:3n-3.

Frio	Fontes de óleos				
	Peixe	Soja	Linhaça	Palma	Coco
Antes	0,10c	0,69ab	0,62abc	0,19bc	0,21bc
Após	0,03a	0,44a	0,00a	0,00a	0,47a

Tabela 36: Efeito do desafio pelo frio entre as fontes de óleos para o ácido graxo 20:3n-3.

Fontes de óleos	Frio	
	Antes	Após
Peixe	0,10a	0,03a
Soja	0,69a	0,44a
Linhaça	0,62a	0,00b
Palma	0,19a	0,00a
Coco	0,21a	0,47a

Resposta de estresse

Não houve interação significativa entre as fontes de óleo e o desafio pelo frio para glicose e lactato sanguíneos e cortisol plasmático. Houve efeito significativo do desafio pelo frio para glicose e lactato sanguíneos dos peixes com os menores valores observados após o desafio (Tabela 37).

Tabela 37: Valores médios e coeficiente de variação das respostas de estresse (cortisol, glicose e lactato plasmáticos) de lambari-do-rabo-amarelo (*Astyanaxaltiparanae*) em fase de crescimento, alimentados com dietas contendo diferentes fontes lipídicas (óleo de peixe, soja, linhaça, palma e coco) submetidos ao desafio pelo frio.

	Efeito da interação óleo e frio	Efeito do óleo	Óleos					Efeito do frio	Frio		CV (%)
			Peixe	Soja	Linhaça	Palma	Coco		Antes	Após	
Cortisol	ns	ns	560,00	356,34	442,90	385,92	524,03	ns	504,02	403,61	42,87
Glicose	ns	ns	47,00	46,86	54,41	50,43	61,21	<0,01	58,52a	45,46b	22,31
Lactato	ns	ns	2,33	2,58	2,86	1,95	2,13	<0,01	3,04a	1,70b	36,80

Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença significativa para o teste de tukey a 5%.

Estresse oxidativo

Não houve interação significativa entre as fontes de óleos e o desafio pelo frio para o produto da peroxidação lipídica malondialdeído (MDA), para a atividade das enzimas antioxidantes superóxido dismutase (SOD) e glutathione S-transferase (GST) dos peixes. Houve efeito das fontes de óleos e do desafio pelo frio para a atividade da enzima glutathione S-transferase (GST). Os peixes alimentados com óleo de palma apresentaram maior atividade desta enzima quando comparados com as enzimas dos peixes alimentados com os óleos de peixe, soja e linhaça. Entretanto, não houve diferença para a atividade da GST dos peixes alimentados com óleo de palma e coco. Porém, a atividade da GST dos peixes alimentados com óleo de coco também não diferiu daquela encontrada nos peixes alimentados com óleos de peixe e soja. (Tabela 38). Houve efeito do desafio pelo frio para a atividade da enzima GST com a maior atividade antes do desafio pelo frio (tabela 38).

Tabela 38: valores médios do produto da peroxidação lipídica malondialdeído (MDA) e da atividade das enzimas antioxidantes superóxido dismutase (SOD) e glutathione S-transferase (GST) de lambari-do-rabo-amarelo (*Astyanaxaltiparanae*) submetidos a dietas com diferentes fontes lipídicas (óleo de peixe, soja, linhaça, palma e coco) submetidos a frio.

Variáveis	Efeito da interação óleo e frio	Efeito do óleo	Óleos					Efeito do frio	Frio		CV (%)
			Peixe	Soja	Linhaça	Palma	Coco		Antes	Após	
MDA	ns	ns	3.314.29 ^a	3.215.28 ^a	3.164.77 ^a	3.317.55 ^a	3.372.46 ^a	ns	3.224.05	3.329.68	8,00
SOD	ns	ns	0,0119 ^a	0,0106 ^a	0,0106 ^a	0,0103 ^a	0,0093 ^a	ns	0,0114	0,0097	39,18
GST	ns	0.01	1.1133 ^{bc}	1.2110 ^{bc}	0.8985 ^c	1.8344 ^a	1.5479 ^{ab}	<0.01	1,4928a	1,0348b	35.27

Malon: malondialdeído (nmol/g)

SOD: superóxido dismutase(nmol g-1)

GST:glutathione S-transferase (umol/min/g)

Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença significativa para o teste de tukey a 5%.

Discussão

As menores taxas de sobrevivência obtidas nos peixes alimentados com os óleos de coco e palma podem ser explicadas pelas baixas concentrações de ácidos graxos polinsaturados, principalmente os da série n-3. Isso provavelmente refletiu na capacidade imunológica dos peixes. Dietas deficientes em ácidos graxos das famílias n-3 e n-6 afetam diretamente a saúde dos peixes, por alterarem a síntese de eicosanóides (SARGENT et al., 2002). A não adequada relação entre os ácidos graxos das famílias n-3 e n-6 ocasionam alterações nas respostas fisiológicas resultantes da atividade dos eicosanóides produzidos pelo EPA e ARA, uma vez que os derivados do ARA apresentam maior atividade em comparação com aqueles derivados do EPA (Suárez-Mahecha et al., 2002). Na produção do EPA e ARA seus substratos utilizam as mesmas vias enzimáticas de dessaturação e alongamento (BELL et al., 2003; CASTELL et al., 1972; GONÇALVES, 2012). Os eicosanóides, juntamente com as prostaglandinas e os leucotrienos (MONTERO et al., 2003), estão envolvidos em atividades imunes e respostas inflamatórias (SARGENT et al., 2002; TOCHER, 2003; LING et al., 2006). Provavelmente, as dietas contendo os óleos de coco e palma, ocasionaram o desequilíbrio na formação de eicosanóides, levando as menores taxas de sobrevivência dos peixes. Nas espécies robalo (*Dicentrarchus labrax*) e bagre do canal (*Ictalurus punctatus*) concentrações de tromboxanos e leucotrienos no plasma de reprodutores variaram em função do perfil de ácidos graxos da série n-3 e n-6 na dieta (KLINGER et al., 1996; FARNDAL et al., 1999), mostrando que o perfil lipídico das dietas dos peixes refletem na resposta imune e antiinflamatória dos animais.

Para os demais óleos utilizados na alimentação do lambari-do-rabo-amarelo, a não diferença na taxa de mortalidade e nos demais parâmetros de desempenho indica a possibilidade da substituição do óleo de peixe pelos óleos de soja e linhaça e evidencia a eficiência de tais fontes em suprir às exigências energéticas e de ácidos graxos essenciais dos peixes. Dietas contendo diferentes fontes de óleos vegetais para juvenis de *Tinca tinca* (ZAKÉS et al., 2009), *Rhandia quelen* (LOSEKANN et al., 2008), *Oncorhynchus mykiss* (SHAFAEIPOUR et al., 2008), *Pseudoplatystoma coruscans* (MARTINO et al., 2002) e para alevinos de *Oreochromis niloticus* (VARGAS et al., 2007) também não resultaram em diferenças no desempenho produtivo dos peixes. Entretanto, larvas de *O. niloticus* apresentaram diferenças no crescimento em função da alimentação com os óleos de linhaça, milho e soja ou diferentes proporções dos mesmos (EL-HUSSEINY et al., 2010).

Tais autores observaram que o óleo de milho e as misturas de óleos de milho e soja proporcionaram os menores ganhos de peso e taxa de crescimento específico das larvas. É provável que, as diferenças encontradas estejam relacionadas a fase de desenvolvimento em que se encontravam os peixes.

A maior concentração de lipídios totais na carcaça dos peixes alimentados com o óleo de coco em relação aos alimentados com óleo de peixe, provavelmente está relacionada com este óleo apresentar baixa concentração de AGPI. 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 (TOCHER, 2003). Pesquisas realizadas com carpa comum (*Cyprinus carpio*) comprovam que dietas contendo ácidos graxos polinsaturados da família n-3 reduzem a lipogênese. Em estudos com truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*), a atividade dos ácidos graxos saturados nos hepatócitos diminuiu significativamente com o aumento dos ácidos graxos polinsaturados, especialmente pelo ácido linolênico (ALVAREZ et al., 2001). Como os AGPI estimulam a β -oxidação e inibem a lipogênese, a baixa concentração destes ácidos na dieta com óleo de coco favoreceu a lipogênese nos peixes. Para *O. niloticus*, as atividades das enzimas hepáticas glicose-6-P desidrogenase e da enzima málica foi influenciada pela composição lipídica da dieta, acarretando maior deposição de lipídios na musculatura evidenciando maior deposição lipídica nos peixes alimentados com dietas ricas em ácidos graxos monoinsaturados e polinsaturados da família n-6, que favorecem a atividade destas enzimas (RIBEIRO, et al., 2008).

O perfil de ácidos graxos da carcaça dos peixes tem alta correlação com o perfil de ácidos graxos da dieta que foram alimentados (SARGENT et al., 2002; REGOST et al., 2003; TOCHER, 2010; ASDARI et al., 2011; ZAKERI et al., 2011), o que corrobora com os resultados obtidos neste experimento.

Dentre as adaptações das membranas celulares ao frio, o aumento da quantidade dos ácidos graxos monoinsaturados e polinsaturados, assim como a diminuição dos ácidos graxos saturados permitem reestabelecer a fluidez da membrana (HAZEL, JEFFREY R., 1998) tornando-a aclimatada à nova condição térmica (SNYDER, 2003; JAMES, 2000). Tais adaptações dependem da capacidade de síntese e do suprimento de ácidos graxos insaturados pela dieta. Os peixes alimentados com os óleos de linhaça e coco foram o que apresentaram maiores variações na concentração dos ácidos graxos saturados e

monoinsaturados. Entretanto, as altas taxas de sobrevivência dos peixes após o desafio pelo frio podem estar relacionadas à baixa intensidade do frio a que os peixes foram expostos, permitindo que os mesmos restabelecessem a fluidez das membranas. Porém, em função das baixas concentrações de ácidos graxos polisaturados no óleo de coco, não era esperado que os peixes alimentados com este óleo apresentassem boa adaptação ao frio.

A menor concentração do ácido graxo 20:3n-3 na carcaça dos peixes que receberam dieta com óleo de linhaça após o desafio pelo frio indica que baixas temperaturas da água provavelmente estimulam a atividade das enzimas envolvidas na síntese do EPA e DHA, pois o ácido graxo 20:3n-3 é intermediário na síntese desses ácidos graxos. Entretanto, os ácidos graxos EPA e DHA não foram encontrados na carcaça dos peixes.

Os menores valores de glicose e lactato sanguíneos dos peixes após o desafio pelo frio podem ser decorrentes da ectotermia dos peixes. Em temperaturas baixas, ocorrem à diminuição da atividade de algumas enzimas (MORAES, ALMEIDA, 2014), entre elas, aquelas envolvidas na quebra do glicogênio e na formação da glicose na gliconeogênese no fígado. A diminuição do metabolismo leva a uma menor necessidade de aporte energético para manter as atividades dos peixes, conseqüentemente menor necessidade de mobilização das reservas energéticas, como o glicogênio, o que, neste estudo provavelmente contribuiu para a menor concentração de glicose dos animais após o desafio pelo frio. A diminuição do metabolismo também pode ter levado aos menores valores de lactato sanguíneo dos peixes após o desafio pelo frio, pois o aumento dos níveis de lactato no plasma é devido principalmente a glicólise anaeróbica no músculo branco, chamada de atividade-tipo explosão (RUANE, 2001), o que provavelmente não foi necessário neste caso pela baixa necessidade energética devido à diminuição do metabolismo no frio.

A ausência de efeito da atividade da SOD indica que o processo de estresse oxidativo pode não ter sido ativado, pelas diferentes fontes de óleo e o desafio pelo frio. A avaliação da enzima SOD é frequentemente utilizada em peixes para indicar a neutralização da geração das espécies reativas de oxigênio (EROs) em decorrência da exposição a algum agente estressor (REGOLI et al., 2003; VAN DER OOST et al, 2003). Em ecossistemas aquáticos, mudanças sazonais e diárias em oxigênio dissolvido e temperatura são variáveis ambientais que são susceptíveis de influenciar os processos oxidativos (PARIHAR et al., 1997; BASTOS et al., 2007).

A ausência de diferença para o malondialdeído sugere que os ácidos graxos polinsaturados parece não ter induzido a liberação de metabólitos tóxicos e aldeído

reativos, tais como o malondialdeído. Porém houve efeito das fontes de óleo para a atividade da enzima glutathione S-transferase (GST), onde os peixes alimentados com óleo de palma apresentaram maior atividade desta enzima, quando comparados com aqueles alimentados com os óleos de peixe, soja e linhaça, indicando que este óleo estimulou a ação da enzima GST provavelmente pelos seus metabólitos lipídicos, pois a enzima GST se conjuga a xenobióticos e aldeídos, produtos da peroxidação de lipídios (HERMES-LIMA, 2004). A maior atividade da GST indica a maior quantidade de EROs e metabólitos tóxicos, como aldeído reativo, nesses peixes, podendo ser provindo também da peroxidação de proteínas e do ácido málico.

Assim a maior atividade da GST nos peixes alimentados com óleo de palma indicaram maior suscetibilidade a ação da EROs. Provavelmente a menor concentração de ácidos graxos polinsaturados no óleo de palma promoveu menor proteção contra as espécies reativas de oxigênio e, portanto, requerendo maior atividade da enzima GST. O óleo de palma não é adequado para substituir o óleo de peixe em dietas para *A. altiparanae*.

Conclusões

Os óleos de soja e linhaça promovem crescimento, saúde e qualidade de carcaça equivalentes aos do óleo de peixe.

Os óleos de palma e coco pioram a saúde e a qualidade da carcaça de *Astyanax altiparanae* em fase de crescimento.

O desafio pelo frio causou redução do metabolismo e das defesas antioxidantes de *Astyanax altiparanae*.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado. À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio ao projeto e concessão de bolsa de Iniciação Científica e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsas de Iniciação Científica e produtividade em pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABILHOA, V. Aspectos da história natural de *Astyanax scabripinnis* Jenyns (Teleostei, Characidae) em um riacho de floresta com araucária no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 24, p. 997-1005, 2007.
- 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.
- ARGYROPOULOU, V.; KALOGEROPOULOS, N.; ALEXIS, M. N. Effect of dietary lipids on growth and tissue fatty acid composition of grey mullet (*Mugil cephalus*). **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology**, v. 101, n. 1, p. 129-135, 1992.
- DETMANN, E. et al. **Métodos para análise de alimentos** - Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Ciência Animal, INCT. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2014. 214 p.
- ASDARI, R. et al. Effects of different dietary lipid sources in the diet for *Pangasius hypophthalmus* (Sauvage, 1878) juvenile on growth performance, nutrient utilization, body indices and muscle and liver fatty acid composition. **Aquaculture Nutrition**, v. 17, n. 1, p. 44-53, 2011.
- BARTON, B. A. Salmonid fishes differ in their cortisol and glucose responses to handling and transport stress. **North American Journal of Aquaculture, Bethesda**, v. 62, n. 1, p. 12-18, 2000.
- BARTON, B.A.; MORGAN, J.D.; VIJAYAN, M.M. Physiological and condition-related indicators of environmental stress in fish. In: Adams S. M. (ed.). **Biological indicator of aquatic ecosystem stress**. Bethesda, Maryland, American Fisheries Society, p.289-320, 2002.
- BASTOS, V. L. F. C. et al. Cytosolic glutathione peroxidase from liver of pacu (*Piaractus mesopotamicus*), a hypoxia-tolerant fish of the Pantanal. **Biochimie**, v. 89, n. 11, p. 1332-1342, 2007.
- BECKER, A. G. et al. Dissolved oxygen and ammonia levels in water that affect plasma ionic content and gallbladder bile in silver catfish. **Ciência Rural**, v.39, n.6, p.1768-1773, 2009.
- BELL, J. G. et al. Altered fatty acid compositions in Atlantic salmon (*Salmosalar*) fed diets containing linseed and rapeseed oils can be partially restored by a subsequent fish oil finishing diet. **Journal of Nutrition**, v. 133, n. 4, p. 2793–2801, 2003.
- BLAZER, V. S. Nutrition and disease resistance in fish. **Annual Review of Fish Diseases**, v.2, p.309-323, 1992.

BUEGE, J. A.; AUST, S. D. Microsomal lipid peroxidation methods. **Methods in enzymology**, v. 52, p. 302 - 310, 1978

CARMO, M.; CORREIA, M. A importância dos ácidos graxos ômega-3 no câncer. **Revista Brasileira de Cancerologia**, v.55, p.279-287, 2009.

CARRIER, J.K. et al. Effects of dietary arachidonic acid on larval performance, fatty acid profiles, stress resistance, and expression of Na⁺/K⁺ ATPase mRNA in black sea bass *Centropristis striata*. **Aquaculture**, v. 319, p. 111–121, 2011.

CASTRO, L. F. C. et al. Functional desaturase Fads1 ($\Delta 5$) and Fads2 ($\Delta 6$) orthologues evolved before the origin of jawed vertebrates. **PLoS one**, v. 7, n. 2, p. e31950, 2012.

COTAN, J. L. V. et al. Níveis de energia digestível e proteína bruta em rações para alevinos de lambari tambuí. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, p.634-640, 2006.

DIETERICH, S. et al. Gene expression of antioxidative enzymes in the human heart: increased expression of catalase in the end-stage failing heart. **Circulation**, v. 101, n. 1, p. 33-39, 2000.

EVANS, D. H.; CLAIBORNE, J. B. **The physiology of Fishes**. 3rd ed. Taylor & Francis Group, 2005.

GIBSON, R. A.; MAKRIDES, M. n-3 Polyunsaturated fatty acid requirements of term infants. **The American journal of clinical nutrition**, v.71, p. 251s-255s, 2000.

GIOIELLI, L. A. Óleos e gorduras vegetais: composição e tecnologia. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v.5, p.211-232, 1996.

GLENCROSS, B. D. Exploring the nutritional demand for essential fatty acids by aquaculture species. **Reviews in Aquaculture**, v.1, p.71-124, 2009.

HABIG, W. H., PABST, M. J., JAKOBY, W.B. Glutathione S- Transferases: the first enzymatic step in mercapturic acid formation. **The Journal of Biological Chemistry**, v. 249, n. 22, p. 7130-7139, 1974.

HAZEL, J. R. Thermal adaptation in biological membranes: is homeoviscous adaptation the explanation?. **Annual Review of Physiology**, v. 57, n. 1, p. 19-42, 1995.

HAZEL, J. R.; MCKINLEY, S. J.; GERRITS, M. F. Thermal acclimation of phase behavior in plasma membrane lipids of rainbow trout hepatocytes. **American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology**, v. 275, n. 3, p. R861-R869, 1998.

HERNÁNDEZ CRUZ, C. M. et al.. Importance of the relative levels of dietary arachidonic acid and eicosapentaenoic acid for culture performance of gilthead seabream (*Sparus aurata*) larvae. **Aquac. Res.**, v. 42, p. 1279–1288, 2011

LOGUE, JAMES A. et al. Lipid compositional correlates of temperature-adaptive interspecific differences in membrane physical structure. **Journal of Experimental Biology**, v. 203, n. 14, p. 2105-2115, 2000.

KHAOIAN, P. et al. Taurine supplementation and palm oil substitution in low-fish meal diets for young yellowtail *Seriola quinqueradiata*. **Aquaculture**, v. 420, p. 219-224, 2014.

LI, M. et al. Effects of dietary grape seed oil and linseed oil on growth, muscle fatty acid composition and expression of putative $\Delta 5$ fatty acyl desaturase in abalone *Haliotis discus hannai* Ino. **Aquaculture**, v. 406, p. 105-114, 2013a.

LI, X.-F. et al. Molecular characterization of lipoprotein lipase from blunt snout bream *Megalobrama amblycephala* and the regulation of its activity and expression by dietary lipid levels. **Aquaculture**, v.416, p.23-32, 2013b.

MARTINS, D. A, et al. Teleost fish larvae adapt to dietary arachidonic acid supply through modulation of the expression of lipid metabolism and stress response genes. **British Journal of Nutrition**, v. 108, n. 05, p. 864-874, 2012.

MORAES, G.; ALMEIDA, L. C. Nutrição e Aspectos Funcionais da Digestão de Peixes. In: BALDISSETTO, B.; CYRINO, J. E. P.; URBINATI, E. C. (Orgs.). **Biologia e fisiologia de peixes neotropicais de água doce**. Jaboticabal: FUNEP, p.233-252. 2014.

NAVARRO, F. K. S. P. et al. Efeito do fotoperíodo na avaliação do estresse e na atividade locomotora em fêmeas de lambari (*Astyanax bimaculatus*). **Ciênc. Agrotec.**, v.38, n. 2, p.173-180, 2014.

NG, W.-K.; WANG, Y. Inclusion of crude palm oil in the broodstock diets of female Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, resulted in enhanced reproductive performance compared to broodfish fed diets with added fish oil or linseed oil. **Aquaculture**, v.314, p.122-131, 2011.

MONTERO, D.; KALINOWSKI, T.; OBACH, A. et al. Vegetable lipid sources for gilthead seabream (*Sparus aurata*): effects on fish health. **Aquaculture**, v.225, p.353-370, 2003.

NORAMBUENA, F. et al. Dietary modulation of arachidonic acid metabolism in senegalese sole (*Solea Senegalensis*) broodstock reared in captivity. **Aquaculture**, v. 372, p. 80-88, 2013.

NOVELLO, D.; FRANCESCHINI, P.; QUINTILIANO, D. A. A importância dos ácidos graxos ω -3 e ω -6 para a prevenção de doenças e na saúde humana. **Revista Salus**, v.2, 2010.

OLSEN, R. et al. The digestion and selective absorption of dietary fatty acids in Arctic charr, *Salvelinus alpinus*. **Aquaculture Nutrition**, v.4, p.13-22, 1998.

PANDEY, S. et al. Effect of endosulfan on antioxidants of freshwater fish *Channa punctatus* Bloch: 1. Protection AGPIst lipid peroxidation in liver by copper

preexposure. **Archives of environmental contamination and toxicology**, v. 41, n. 3, p. 345-352, 2001.

PÉRON, G.; MITTAINE, J. François; LE GALLIC, B. Where do fishmeal and fish oil products come from? An analysis of the conversion ratios in the global fishmeal industry. **Marine policy**, v.34, p.815-820, 2010.

PONTES, M. D. Relação **ácido graxo n6/n3 para lambaris-do-rabo-amarelo (Astyanax altiparanae)**. 2013. 57 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2013.

REGOLI, Francesco et al. Application of biomarkers for assessing the biological impact of dredged materials in the Mediterranean: the relationship between antioxidant responses and susceptibility to oxidative stress in the red mullet (*Mullus barbatus*). **Marine Pollution Bulletin**, v. 44, n. 9, p. 912-922, 2002.

REGOST, C. et al. Total replacement of fish oil by soybean or linseed oil with a return to fish oil in turbot (*Psetta maxima*): Growth performance, flesh fatty acid profile, and lipid metabolism. **Aquaculture**, v. 217, p. 465-482, 2003.

REZEK, T. C. et al. Effects of dietary docosahexaenoic acid (22: 6n-3) and arachidonic acid (20: 4n-6) on the growth, survival, stress resistance and fatty acid composition in black sea bass *Centropristis striata* (Linnaeus 1758) larvae. **Aquaculture Research**, v. 41, n. 9, p. 1302-1314, 2010.

RIBEIRO, P. A. P. et al. Efeito do uso de óleo na dieta sobre a lipogênese e o perfil lipídico de tilápias-do-nilo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 8, p. 1331-1337, 2008.

RUANE, N. M.; HUISMAN, E. A.; KOMEN, J. Plasma cortisol and metabolite level profiles in two isogenic strains of common carp during confinement. **Journal of Fish Biology**, v. 59, n. 1, p. 1-12, 2001.

SARGENT, J. R., TOCHER, D. R., BELL, J. G. The lipids. In: Halver, J.E., Hardy, R.W. (Orgs.), **Fish Nutrition**. 3. ed. San Diego: Academic Inc. Press, 2002. p. 181-257.

SHIMIZU, Norihide; KOBAYASHI, K.; HAYASHI, Koichiro. The reaction of superoxide radical with catalase. Mechanism of the inhibition of catalase by superoxide radical. **Journal of Biological Chemistry**, v. 259, n. 7, p. 4414-4418, 1984.

SNYDER, Randal J.; HENNESSEY, Todd M. Cold tolerance and homeoviscous adaptation in freshwater alewives (*Alosa pseudoharengus*). **Fish Physiology and Biochemistry**, v. 29, n. 2, p. 117-126, 2003.

SORBERA, L.A.; ASTURIANO, J.F.; CARRILLO, M. et al. Effects of polyunsaturated fatty acids and prostaglandins on oocyte maturation in a marine teleost, the European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). **Biology of reproduction**, v.64, p.382-389, 2001

TACO - **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos**. 4^a ed. Revisada e Ampliada. Campinas. SP, 2011.

TAVARES, M. M. **Fontes de óleos vegetais em dietas para lambaris-do-raboamarelo (*Astyanax altiparanae*): desempenho produtivo e perfil de ácidos graxos**. 2011. 49 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2011.

TOCHER, D. R. Fatty acid requirements in ontogeny of marine and freshwater fish. **Aquaculture Research**, v.41, p.717-732, 2010.

TOCHER, D. R. Metabolism and functions of lipids and fatty acids in teleost fish. **Reviews in Fisheries Science**, v.11, p.107-184, 2003.

TURCHINI, G. M., et al. **Italian journal of animal science**, v. 4, p. 241-252, 2005.

VIJAYAVEL, K.; GOPALAKRISHNAN, S.; BALASUBRAMANIAN, M. P. Sublethal effect of silver and chromium in the green mussel *Perna viridis* with reference to alterations in oxygen uptake, filtration rate and membrane bound ATPase system as biomarkers. **Chemosphere**, v. 69, n. 6, p. 979-986, 2007.

WILLIAMS, E. E. Membrane Lipids: What Membrane Physical Properties are Conserve during Physiochemically-Induced Membrane Restructuring?. **American zoologist**, v. 38, n. 2, p. 280-290, 1998.

WINSTON, G. W.; DI GIULIO, R. T. Prooxidant and antioxidant mechanisms in aquatic organisms. **Aquatic toxicology**, v. 19, n. 2, p. 137-161, 1991.

Y, O. Resources for fish feed in future mariculture. **Aquaculture Environment Interactions**, v.1, p.187-200, 2011.

ZAKERI, M. et al. Effects of dietary n-3 HUFA concentrations on spawning performance and fatty acids composition of broodstock, eggs and larvae in yellowfin sea bream, *Acanthopagrus latus*. **Aquaculture**, v. 310, n. 3, p. 388-394, 2011.

ANEXOS

Anexo 1: Certificado do uso de animais de produção CEUAP/UFV



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS DE PRODUÇÃO
CEUAP/UFV

Campus Universitário – Viçosa, MG – 36570-900 – Telefone: (31) 3899.3275 – e-mail: ceuap@ufv.br – site: www.ceuap.ufv.br

Viçosa, 20/12/13

CERTIFICADO

A Comissão de Ética no Uso de Animais de Produção da Universidade Federal de Viçosa certifica que o **processo nº 21/2013**, intitulado “**Desempenho produtivo, ação enzimática, perfil de ácidos graxos e tolerância ao estresse térmico de lambaris (*Astyanax altiparanae*) alimentados com dietas contendo diferentes fontes de lipídios**”, coordenado pelo **Prof(a). Ana Lúcia Salaro**, está de acordo com os princípios éticos da experimentação animal, estabelecido pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal - CONCEA e com a legislação vigente, tendo sido aprovado por esta Comissão em **18/Dez/2013**.

CERTIFICATE

The Ethic Commission in Use of Production Animals of Universidade Federal de Viçosa certifies that the **process number 21/2013**, named “**Productive performance, enzyme activity, fatty acid profile and thermal stress tolerance of *Astyanax altiparanae* fed diets with different lipid sources**”, coordinated by **Prof(a). Ana Lúcia Salaro**, is in agreement with the Ethical Principles for Animal Research established by the National Council of Animal Experimentation Control (CONCEA) and with actual Brazilian legislation, and was approved by this commission on **Dec, 18th, 2013**.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Mário Luiz Chizzotti'.

Mário Luiz Chizzotti
Coordenador da CEUAP/UFV