

JOSÉ CARLOS DE OLIVEIRA JUNIOR

**RELAÇÃO PROTEÍNA BRUTA/CARBOIDRATOS NÃO FIBROSOS EM
DIETAS DE JUVENIS DE PACAMÃ (*Lophiosilurus alexandri*)**

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
2017

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

O48r
2017

Oliveira Junior, José Carlos de, 1989-

Relação proteína bruta/carboidratos não fibrosos em dietas de juvenis de pacamã (*Lophiosilurus alexandri*) / José Carlos de Oliveira Junior. – Viçosa, MG, 2017.

xvi, 76f. : il. ; 29 cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Ana Lúcia Salaro.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Peixe carnívoro. 2. *Lophiosilurus alexandri*. 3. Proteína bruta na nutrição de peixes. 4. Carboidratos na nutrição de peixes. 5. Digestibilidade. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Biologia Animal. Programa de Pós-graduação Biologia Animal. II. Título.

CDD 22. ed. 597.49

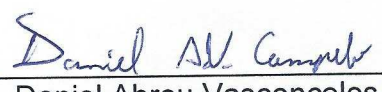
JOSÉ CARLOS DE OLIVEIRA JUNIOR

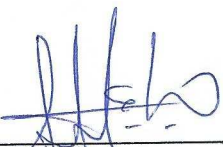
**RELAÇÃO PROTEÍNA BRUTA/CARBOIDRATOS NÃO FIBROSOS EM
DIETAS DE JUVENIS DE PACAMÃ (*Lophiosilurus alexandri*)**

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: 20 de julho de 2017


Pollyanna de Moraes França Ferreira


Daniel Abreu Vasconcelos Campelo
(Coorientador)


Ana Lúcia Salaro
(Orientadora)

À minha mãe Márcia Tartágua Moreira, que é a grande responsável por mais essa conquista, com muito amor e carinho, sempre me ensinou a diferença entre o certo e o errado, me apoiou e incentivou nas horas boas e foi companheira nas horas mais difíceis, as quais sempre eram oportunidades para novos aprendizados e para mostrar todo o seu amor incondicional.

Ao meu pai José Carlos de Oliveira, pelo grande esforço dispendido para que eu pudesse alcançar mais esta vitória, por todo apoio dedicado aos meus estudos, e pelo exemplo de perseverança que é para mim.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A **Deus** por prover a força, a fé e a perseverança necessárias para execução deste trabalho, só **Ele** sabe quantas bênçãos foram providas e quantas pedras tiveram que ser removidas do nosso caminho.

À **Universidade Federal de Viçosa**, especialmente ao **Departamento de Biologia Animal**, pela infraestrutura e oportunidade para realização da minha Pós-Graduação em Biologia Animal, possibilitando a conquista do meu título de Mestre;

À **CAPES** pela concessão de bolsa de Mestrado, sem a qual seria impossível a continuação dos meus estudos.

Ao **Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)** e **Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG)** pelo apoio financeiro para execução dos trabalhos realizados no Setor de Piscicultura do Departamento de Biologia Animal da UFV.

À **Profa. Dra. Ana Lúcia Salaro**, pela oportunidade, orientação e confiança. Durante os dez anos que trabalhamos juntos, tornou-se além de orientadora uma grande amiga, me ajudou transpor diversos desafios, me ensinou muito sobre a ciência e também sobre relações humanas. Obrigado também por disponibilizar a o Setor de Piscicultura do Departamento de Biologia Animal da UFV, e toda sua infraestrutura de laboratórios.

Ao **Prof. Dr. Jener Alexandre Sampaio Zuanon**, pelos ensinamentos, preocupação e amizade dispendidos durante o tempo de graduação e pós-graduação, o que contribui muito para meu aperfeiçoamento profissional, crescimento pessoal e capacidade de argumentação. Obrigado também por disponibilizar o Laboratório de Fisiologia Aplicada à Piscicultura (LAFAP) do Departamento de Biologia Animal da UFV para a preparação das lâminas histológicas.

Ao **Prof. Dr. Daniel Abreu Vasconcelos Campelo**, da Universidade Federal do Pará (UFPA) por toda amizade, coorientação e auxílios dispendidos

na realização deste trabalho e por ter aceitado fazer parte da banca examinadora.

À **Dra. Pollyanna de Moraes França Ferreira**, por toda amizade, atenção, ajuda e orientação durante a realização das análises histológicas e por ter aceitado fazer parte da banca examinadora.

Ao **Prof. Dr. Ronald Kennedy Luz** pela coorientação e ao Laboratório de Aquacultura (LAQUA) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) pela doação dos peixes utilizados na elaboração deste trabalho.

Ao **Prof. Dr. Juarez Lopes Donzele** por todo o aprendizado, discussões e incentivos concedidos ao longo da minha vida acadêmica, foi através do senhor que aprendi a questionar toda a verdade científica que está estabelecida até o momento.

Ao **Prof. Dr. Edenio Detmann** por todas as lições e ensinamentos, por disponibilizar o Laboratório de Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia da UFV para realização das análises bromatológicas.

Ao **Prof. Dr. Wilson Massamitu Furuya**, da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) pela colaboração no balanceamento das dietas experimentais.

Ao **Prof. Dr. Antônio Policarpo Souza Carneiro** do Departamento de Estatística da UFV, por toda ajuda e esclarecimentos durante a elaboração e análise estatística deste trabalho.

Ao **Prof. Dr. Sérgio Luis Pinto da Matta** pela atenção, por compartilhar conhecimentos e disponibilizar o Laboratório de Biologia Celular e Estrutural do Departamento de Biologia Geral da UFV para finalização das lâminas histológicas.

Ao **Prof. Dr. Jorge Abdala Dergam dos Santos** pela atenção e por disponibilizar o Laboratório de Sistemática Molecular (BEAGLE) do

Departamento de Biologia Animal da UFV para o preparo e armazenamento do material biológico.

À **Profa. Dra. Mariella Freitas** pelo fornecimento de materiais e por disponibilizar o Laboratório de Ecofisiologia de Quirópteros do Departamento de Biologia Animal da UFV para realização as análises de glicogênio, proteína total e lipídeo total nos tecidos hepático e muscular.

À **Profa. Dra. Reggiani Vilela Gonçalves** pela atenção, fornecimento de materiais e por disponibilizar equipamentos do Laboratório de Patologia Experimental do Departamento de Biologia Animal da UFV para realizar as análises de glicogênio, proteína total e lipídeo total nos tecidos hepático e muscular.

À **Profa. Dra. Josefina Bressan** por disponibilizar o Laboratório de Análises Clínicas do Departamento de Nutrição e Saúde da UFV para a mensuração das variáveis plasmáticas.

Ao **Prof. Dr. Raphael de Souza Vasconcellos** do Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular da UFV, por toda ajuda e esclarecimentos concedidos durante avaliação dos parâmetros bioquímicos plasmáticos.

À **Doutoranda Jerusa Oliveira** por toda a atenção, ajuda e orientação durante a realização das difíceis e intermináveis análises de glicogênio, proteína total e lipídeo total nos tecidos hepático e muscular.

Ao Mestrando **André Luís Fialho Ladeira** e ao Bolsista de Iniciação Científica **Gustavo Augusto de Carvalho**, pela imensa ajuda na realização deste trabalho, pela parceria durante os intermináveis tratos e análises laboratoriais, que eram sempre realizados com muito cuidado, e movidos por brincadeiras e boas risadas.

À **Bioclin®** (Quibasa - Química Básica, Belo Horizonte, MG, Brasil) e à **Gabriela Macieira**, pela doação dos Kits utilizados para a avaliação dos das variáveis plasmáticas, pela gentileza e pela confiança no nosso trabalho.

Aos funcionários do Setor de Piscicultura do Departamento de Biologia Animal da UFV, **João Antônio de Oliveira** e **José Francisco Delfino** por toda a ajuda prestada, amizade e aprendizado.

Aos técnicos do Laboratório de Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia da UFV, **Aline Sales**, **Faustino Monteiro**, **Mario Julião**, **Plínio Magalhães Madureira** e **Fernando Afonso Mendes**, por toda atenção e ajuda prestada.

À técnica do Laboratório de Análises Clínicas do Departamento de Nutrição e Saúde da UFV, **Solange Mara Bigonha**, pela ajuda durante a avaliação das variáveis plasmáticas.

Ao técnico do Laboratório de Biologia Estrutural da UFV, **Matheus Rangel da Silva**, pela ajuda durante a preparação do material histológico.

Aos funcionários do Departamento de Biologia Animal da UFV **Helvécio de Freitas** e **Geraldo Pereira Filho**, por toda ajuda prestada ao longo de toda minha vida acadêmica.

Aos funcionários da Secretaria do Departamento de Biologia Animal da UFV **Nilo Souza**, **Lúcia Helena Campos** e **Adnilson Antônio Brasileiro**, por mostrarem-se sempre dispostos a ajudar.

Aos mestres em Biologia Animal **Marcelo Duarte Pontes**, **Magnus Augusto Coutinho Cossi**, **Alfredo Rubens Palomino Ramos**, **Frederico Werneck Lima**, **Sendy Moreira Reis** e **Mariana Molica Silveira**, ao doutorando em Zootecnia **Fabício Eugênio Araújo**, aos pós-graduandos em Biologia Animal, **Willian Chaves**, **Alex Júnio da Silva Cardoso**, **André Luiz Souza Modesto** e **Cristiana Leonor da Silva Carneiro** e aos estagiários do Setor de Piscicultura do Departamento de Biologia Animal, **José Francisco Luciano**, **Verônica Elaine Costa Batista**, **Vitor Hugo Penariol Morante**, **Targo Augusto Fonseca Pereira**, **Rafael Hust Costa Teixeira** e **Eferson Duarte Sena**, pela dedicação e colaboração durante o desenvolvimento do meu experimento, além da grande amizade, pela oportunidade de poder

participar deste grupo e pelos bons momentos vividos. Foi um prazer conhecer, conviver e trabalhar com vocês.

Aos meus pais, **José Carlos de Oliveira e Márcia Tartágia Moreira**, pelo amor incondicional, apoio emocional e financeiro, e por nunca medirem esforços para a realização desse sonho.

Aos meus avós pelos conselhos e orações. Aos meus tios e tias, primos e primas, e a todos os demais familiares pelo constante apoio e incentivo.

À minha namorada, **Jéssica Luíza Ripani Rodrigues**, por todo amor, compreensão, companheirismo, amizade e muita paciência.

Aos companheiros das **Repúblicas Xoxota da Índia e Mukifo**, pelos anos de amizade e companheirismo ao longo desta jornada.

A todos que, de forma direta ou indireta contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

Muito Obrigado!

BIOGRAFIA

José Carlos de Oliveira Junior, filho de Márcia Tartáglio Moreira e José Carlos de Oliveira, nasceu em 26 de Janeiro de 1989 na cidade São Paulo, São Paulo, Brasil.

Graduou-se em Zootecnia, em Maio de 2013 e em Agronomia, em abril de 2015, ambos pela Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Ingressou no programa de Pós-Graduação em Biologia Animal, em nível de Mestrado, em Maio de 2015, pelo Departamento de Biologia Animal na Universidade Federal de Viçosa (UFV), realizando estudos na área de nutrição de peixes, defendendo a dissertação em 20 de julho de 2017.

“Por isso mesmo empenhe-se para acrescentar à sua fé a virtude, à virtude o conhecimento, ao conhecimento o domínio próprio, ao domínio próprio a perseverança, à perseverança a piedade, à piedade a fraternidade e à fraternidade, o amor. Por que se essas qualidades existirem e estiverem crescendo dentro de suas vidas, elas impediram que vocês, no pleno conhecimento do nosso Senhor Jesus Cristo, sejam inoperantes e improdutivos”.

(2 Pedro 1; 5-8)

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	xi
LISTA DE FIGURAS.....	xii
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xv
I – INTRODUÇÃO GERAL	1
II – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
Situação Atual da Aquicultura Brasileira.....	2
Pacamã (<i>Lophiosilurus alexandri</i>)	3
Proteína	6
Carboidratos	11
Estimativa do conteúdo de carboidratos das dietas	15
Relação PB/CNF para Carnívoros.....	17
Crescimento muscular em Peixes	18
Creatinina	19
Glicose plasmática.....	20
Colesterol, triglicerídeos e Lipoproteínas plasmáticas.....	21
Proteínas totais Plasmáticas	23
γ –Glutamilttransferase.....	24
III- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25
IV – CRESCENTES RELAÇÕES PROTEÍNA BRUTA/CARBOIDRATOS NÃO FIBROSOS EM DIETAS PARA JUVENIS DE PACAMÃ (<i>Lophiosilurus alexandri</i>).....	38
RESUMO	38
ABSTRACT	39
INTRODUÇÃO	40
MATERIAL E MÉTODOS	41
Primeiro ensaio:.....	42
Segundo ensaio:.....	49
RESULTADOS	51
DISCUSSÃO	59
CONCLUSÕES	65
V- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65
FIGURAS.....	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 01. Composição percentual e bromatológica das dietas contendo crescentes relações PB/CNF utilizadas na alimentação de juvenis de pacamã (<i>Lophiosilurus alexandri</i>).....	43
Tabela 02. Valores médios, coeficiente de variação (CV) e p-valor do desempenho produtivo dos juvenis de pacamã (<i>Lophiosilurus alexandri</i>) alimentados com dietas contendo crescentes relações PB/CNF.....	52
Tabela 03. Valores médios, coeficiente de variação (CV) e p-valor da composição corporal, com base na matéria natural, dos juvenis de pacamã (<i>Lophiosilurus alexandri</i>) alimentados com dietas contendo crescentes relações PB/CNF.....	53
Tabela 04. Valores médios, coeficiente de variação (CV) e p-valor das variáveis metabólicas dos tecidos hepáticos e muscular dos juvenis de pacamã (<i>Lophiosilurus alexandri</i>) alimentados com dietas contendo crescentes relações PB/CNF.....	54
Tabela 05. Valores médios, coeficiente de variação (CV) e p-valor da histomorfometria do tecido hepático dos juvenis de pacamã (<i>Lophiosilurus alexandri</i>) alimentados com dietas contendo crescentes relações PB/CNF	55
Tabela 06. Valores médios, coeficiente de variação (CV) e p-valor da histomorfometria do tecido muscular dos juvenis de pacamã (<i>Lophiosilurus alexandri</i>) alimentados com dietas contendo crescentes relações PB/CNF	55
Tabela 07. Valores médios, coeficiente de variação (CV) e p-valor das variáveis plasmáticas dos juvenis de pacamã (<i>Lophiosilurus alexandri</i>) alimentados com dietas contendo crescentes relações PB/CNF.....	56
Tabela 08. Valores médios, coeficiente de variação (CV) e p-valor dos coeficientes de digestibilidade aparente, com base na matéria seca, das dietas contendo crescentes relações PB/CNF	57
Tabela 09. Coeficientes de Correlação de Pearson significativos e p-valor da correlação entre as variáveis analisadas	58

LISTA DE FIGURAS

- Figura 01.** Exemplos dos tipos de ligação presentes na amilose (α 1→4), que é digerida pela α -amilase, e na celulose (β 1→4), que não é digerida pelas enzimas digestivas dos peixes. Adaptado de Vieira (2003) 12
- Figura 02.** Fotomicrografia do tecido hepático dos juvenis de pacamã (*Lophiosilurus alexandri*) alimentados com dietas contendo crescentes relações PB/CNF..... 76
- Figura 03.** Fotomicrografia do tecido muscular dos juvenis de pacamã (*Lophiosilurus alexandri*) alimentados com dietas contendo crescentes relações PB/CNF..... 76

RESUMO

OLIVEIRA JUNIOR, José Carlos de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2017. **Relação proteína bruta/carboidratos não fibrosos em dietas de juvenis de pacamã (*Lophiosilurus alexandri*)**. Orientadora: Ana Lúcia Salaro. Coorientadores: Daniel Abreu Vasconcelos Campelo, Jener Alexandre Sampaio Zuannon e Ronald Kennedy Luz.

O pacamã, *Lophiosilurus alexandri*, peixe de hábito alimentar carnívoro e comportamento sedentário, apresenta potencial para criação em cativeiro, em função do seu potencial de crescimento, alto rendimento de filé, qualidade de carne - isenta de espinhos intramusculares -, e potencial uso como espécie ornamental. Espécies carnívoras são menos tolerantes à altos níveis de carboidratos, e mais exigentes em proteína, do que espécies herbívoras e onívoras. Todavia, a inclusão de carboidratos na dieta de espécies carnívoras, em níveis adequados, pode contribuir para maximizar o crescimento, aumentando a eficiência de produção, além de diminuir o custo da dieta e a produção de excretas nitrogenadas pelos peixes. Portanto, com esta pesquisa objetivou-se avaliar diferentes relações de proteína bruta/carboidratos não fibrosos (PB/CNF) sobre o desempenho produtivo e eficiência de utilização dos nutrientes de juvenis de pacamã (*Lophiosilurus alexandri*). Foram desenvolvidos dois ensaios consecutivos, sendo o primeiro em delineamento inteiramente casualizado com quatro tratamentos e três repetições, no qual foram avaliados: desempenho produtivo, composição corporal, histomorfometria e variáveis metabólicas do fígado e músculo, e variáveis plasmáticas dos juvenis de pacamã. O segundo foi conduzido em esquema quadrado latino (4X4), no qual se determinou os coeficientes de digestibilidade aparente das dietas. Em ambos os ensaios os tratamentos constaram das relações: 0,78; 1,02; 1,26 e 1,60 Proteína bruta/carboidrato não fibroso (PB/CNF); sendo isoenergéticas ($4573 \pm 33 \text{ Kcal. Kg}^{-1}$) e isolipídicas ($11,7 \pm 0,4 \%$), com as mesmas relações proteína animal/proteína vegetal (0,94), percentual de lisina (5,55 %) e metionina (2,55 %) em relação à proteína dietética, diferindo apenas na adição de 0,1 % óxido de cromo III, nas dietas utilizadas durante o segundo ensaio. Relações estimadas entre 1,10 e 1,37 PB/CNF foram as que resultaram no melhor desempenho produtivo de juvenis de pacamã, como evidenciado pelo maior ganho de peso (GP) e taxa de

crescimento específico (TCE) e melhor conversão alimentar (CA). As correlações positivas entre GP e TCE com a frequência de fibras musculares com diâmetro maior que 50 μm (FMG) mostram que o aumento de peso ocorreu principalmente devido a hipertrofia das fibras musculares. Relações PB/CNF adequadas proporcionaram maior concentração de glicogênio, proteínas totais e lipídios totais no tecido muscular, os quais foram positivamente correlacionados com a hipertrofia das fibras musculares, e com o crescimento dos juvenis de pacamã. O pior desempenho produtivo e menor eficiência de utilização dos nutrientes observados para os peixes alimentados com a dieta 0,78 PB/CNF devem estar relacionados com a baixa digestibilidade dos carboidratos não fibrosos pelo pacamã. As menores relações PB/CNF também apresentaram os menores coeficientes de digestibilidade da proteína, energia e gordura bruta. No entanto, a boa tolerância a carboidratos não fibrosos dos pacamãs é reforçada pela ausência de mortalidade, alterações glicêmicas ou acúmulo de gordura nas vísceras ou na carcaça. A obtenção de energia através de aminoácidos mostra-se menos eficiente do que de carboidratos não fibrosos, sendo que o excesso de proteína na dieta promoveu queda no desempenho produtivo, sobrecarga do tecido hepático, hiperlipidemia e insuficiência renal nos juvenis de pacamã. Embora haja melhoria na qualidade de carcaça, evidenciada pela maior concentração de proteína na carcaça dos juvenis de pacamã alimentados com as dietas contendo as maiores PB/CNF. Portanto, recomenda-se a utilização de relações PB/CNF entre 1,10 e 1,37 para juvenis de pacamã por potencializar o desempenho dos animais, sem prejudicar a saúde dos mesmos.

ABSTRACT

OLIVEIRA JUNIOR, José Carlos de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2017. **Crude protein/non-fibrous carbohydrates ratio in diets of pacamã (*Lophiosilurus alexandri*) juveniles.** Advisor: Ana Lúcia Salaro. Co-advisors: Daniel Abreu Vasconcelos Campelo, Jener Alexandre Sampaio Zuannon and Ronald Kennedy Luz.

The pacamã, *Lophiosilurus alexandri*, a carnivorous feeding habit and sedentary behavior fish presents potential for captive rearing due to its growth potential, high yield of fillet, meat quality, which is free of intramuscular spines, and potential use as an ornamental species. Carnivorous species are less tolerant to high levels of carbohydrates and more demanding in protein than herbivorous and omnivorous species. However, the inclusion of carbohydrates in the diet of carnivorous species at adequate levels can contribute to maximize growth, increasing production efficiency, and decrease the cost with the diets and the production of nitrogen excreta by the fish. Therefore, the objective of this research was to evaluate different crude protein/non-fibrous carbohydrate (CP/NFC) ratios on the productive performance and nutrient utilization efficiency of pacamã (*Lophiosilurus alexandri*) juveniles. Two consecutive trials were carried out, the first one in a completely randomized design with four treatments and three replicates, on which productive performance, body composition, histomorphometry and metabolic variables of liver and muscle, and plasma variables of the pacamã juveniles were evaluated. The second trial was conducted in a Latin square scheme (4X4), on which the coefficients of apparent digestibility of the diets were evaluated. In both trials the treatments consisted of Crude protein/non-fibrous carbohydrates ratios (CP/NFC): 0.78, 1.02, 1.26 and 1.60. The diets of the two trials were isoenergetic (4573 ± 33 Kcal. Kg⁻¹) and isolipidic (11.7 ± 0.4 %), with the same animal protein/vegetable protein ratio (0.94), lysine (5.55 %) and methionine (2.55 %) percentage in relation to dietary protein, differing only in the addition of 0.1 % chromium oxide III in the diets used during the second trial. Estimated ratios between 1.10 and 1.37 CP/NFC were those which resulted in the best productive performance of pacamã juveniles, as evidenced by higher weight gain (WG) and specific growth rate (SGR) and better feed conversion (FC). The positive correlations between WG and SGR with the frequency of muscle fibers with diameter larger than 50

µm (FMG) show that the weight gain occurred mainly due to hypertrophy of the muscle fibers. Adequate CP/NFC ratio in the diets provided higher glycogen, total proteins and total lipids concentration in the muscle tissue, which were positively correlated with muscle fiber hypertrophy, and with the growth of the pacamã juveniles. The worst productive performance and lower nutrient utilization efficiency observed for fish fed with the 0.78 CP/NFC diet should be related to low digestibility of non-fibrous carbohydrates by pacamã. The lower CP/NFC ratios also had the lowest digestibility coefficients of protein, energy and crude fat. However, the good tolerance to non-fibrous carbohydrates of pacamãs is reinforced by the absence of mortality, glycemic alterations or accumulation of fat in the viscera or in the carcass. Obtaining energy through amino acids is shown to be less efficient than through non-fibrous carbohydrates, and the excess of dietary protein promoted a decrease in productive performance, hepatic tissue overload, hyperlipidemia and renal insufficiency in pacamã juveniles. Although there is improvement in carcass quality, evidenced by the higher protein concentration in the carcass of pacamã juveniles fed with the diets containing the highest CP/NFC. Therefore, the use of CP/NFC relations between 1.10 and 1.37 is recommended for pacamã juveniles for optimizing the performance of the animals without harming their health.

I – INTRODUÇÃO GERAL

Nos últimos anos vem crescendo a importância e participação das espécies nativas na atividade aquícola brasileira (SAINT-PAUL et al., 2017), com crescimento anual da produção de 22 % na produção de espécies nativas durante a última década (PINCIATO e ASCVHE, 2016). Tal crescimento se deve ao aumento do conhecimento sobre reprodução, nutrição e manejo dessas espécies, o que tem minimizado os custos de produção e fomentado a estruturação da cadeia produtiva nacional (PINCIATO e ASCVHE, 2016). Entretanto, apesar da rica diversidade de peixes da América do Sul com potencial para produção em cativeiro (PORTELLA et al., 2014), o conhecimento sobre a biologia, reprodução e nutrição de várias espécies ainda não é satisfatório (PINCIATO e ASCVHE, 2016; SAINT-PAUL et al., 2017).

O conhecimento das exigências nutricionais da espécie é fundamental para a produção de dietas que venham aproveitar ao máximo o potencial de crescimento do animal, com elevada eficiência de utilização dos nutrientes, reduzindo os custos e o potencial poluidor da piscicultura (JOBILING et al., 2016). Nesse sentido, os estudos nutricionais devem considerar não só a produtividade, mas também a eficiência na utilização de recursos, e a sustentabilidade ambiental dos diferentes sistemas de produção aquícola (JOBILING et al., 2016; PINCIATO e ASCVHE, 2016).

Entre as espécies nativas, o pacamã (*Lophiosilurus alexandri*), peixe de hábito alimentar carnívoro, comportamento sedentário (TENÓRIO et al., 2006) e noturno (KITAGAWA et al., 2015), apresenta potencial para criação em cativeiro, em função qualidade de carne -isenta de espinhos intramusculares-, o que torna essa espécie muito apreciada pelo consumidor (SANTOS e LUZ, 2009). Acrescido a isto, a redução da ocorrência no ambiente natural, seja pela atividade de pesca predatória ou pelas alterações no seu habitat, vem colocando em destaque essa espécie (BRASIL, 2014). Embora de hábito alimentar noturno, o pacamã possui plasticidade para se alimentar durante o dia (KITAGAWA et al., 2015), assim como de aceitar rações processadas (LUZ et al., 2011; SALARO et al., 2015), desde que condicionados. Com as técnicas de condicionamento

alimentar, tornou-se viável a produção do pacamã em cativeiro, sem a necessidade de utilização de espécies de peixes forrageiros na alimentação.

Dentro deste contexto, estudos sobre nutrição de peixes devem buscar melhorias na eficiência de utilização dos ingredientes das dietas pelos animais, promovendo assim maior retenção de nutrientes e minimizando a carga poluente nos efluentes oriundos da piscicultura. Assim, com este estudo objetivou-se avaliar o desempenho produtivo e a eficiência de utilização dos nutrientes de juvenis de pacamã alimentados com dietas contendo crescentes relações proteína bruta/carboidratos não fibrosos (PB/CNF).

II – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Situação Atual da Aquicultura Brasileira

O Brasil é detentor de 12 % de toda a reserva de água doce disponível do planeta, com o litoral que se estende por 8.400 km, e mais de dois milhões de hectares de costa, reservatórios e estuários adequados para a aquicultura, além de 25 mil rios, possui um incontestável potencial para se tornar um dos grandes fornecedores mundiais de produtos pesqueiros (SAINT-PAUL, 2017). Atualmente, o Brasil é o 14º maior produtor mundial de produtos aquícolas, sendo que a aquicultura continental brasileira foi responsável pela produção de 474,3 mil toneladas das 562,5 mil toneladas de produtos aquícolas totais produzidos no país (FAO, 2016).

Uma vez que se visa alcançar maior segurança no crescimento da aquicultura nacional, a diversificação das espécies criadas faz-se de suma importância para garantir a segurança no fornecimento de pescado para o mercado (ASCHE et al., 2015) Tendo em vista que diferentes espécies apresentam diferentes capacidades de adaptação ambiental, eficiência na utilização dos recursos, resistência a doenças, e ciclos reprodutivos peculiares, a abertura do leque de espécies criadas vai ao encontro da proposta de segurança alimentar (GODFRAY et al., 2010). O cultivo de novas espécies exige uma compreensão adequada de aspectos nutricionais, fisiológicos e comportamentais, de modo a maximizar o desempenho, eficiência e a saúde da espécie, o que contribui para a viabilização e sucesso na criação (KHAN, 2014; JOBLING et al., 2016).

Nos últimos anos, várias espécies nativas têm sido exploradas na aquicultura brasileira, não só devido ao seu excelente desempenho nos sistemas de criação, mas também pela crescente demanda do mercado interno (SAINT-PAUL et al., 2017). Demanda esta, gerada principalmente pelo aumento do consumo per capita de peixe, mas também pela diminuição dos recursos pesqueiros naturais (PORTELLA et al., 2014; URBINATI et al., 2014). Por outro lado, apesar da rica diversidade de espécies nativas, os conhecimentos sobre a biologia, reprodução e nutrição ainda estão longe de serem satisfatórios (SAINT-PAUL et al., 2017).

Pacamã (*Lophiosilurus alexandri*)

Dentre as espécies nativas o pacamã, *Lophiosilurus alexandri*, peixe da ordem dos Siluriformes e da família Pseudopimelodidae é endêmico da bacia do Rio São Francisco. O pacamã também é conhecido como pacamão, linguado do São Francisco, niquim ou Pacman Catfish. É uma espécie carnívora, de habito sedentário (TENÓRIO et al., 2006) e comportamento alimentar noturno (KITAGAWA et al., 2015). Esta espécie apresenta excelente potencial de crescimento, uma vez que, pode chegar a oito quilos, quando na natureza (CARDOSO et al., 1996).

Nos últimos anos, o pacamã vem chamando a atenção de pesquisadores e piscicultores devido à excelente qualidade de carne, que é isenta de espinhos intramusculares, e do alto rendimento de filé, além do potencial como espécie ornamental (SANTOS e LUZ, 2009). Acrescido a isto, esta espécie foi classificada como Vulnerável pela Portaria N° 445 no Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2014). Para que a produção desta espécie se torne viável e sustentável, tornam-se necessárias informações científicas a respeito do manejo produtivo das diferentes fases de criação, e assim estabelecer um pacote tecnológico para que se possa viabilizar sua produção em cativeiro.

Por se tratar de uma espécie carnívora é fundamental que a alimentação inicial das larvas de pacamã seja baseada em alimentos vivos, de tal forma que o aumento na concentração de nauplios de artêmia de 700 para 1300 náuplios de artêmia /larva/dia promoveu maior sobrevivência e melhor condição corporal das larvas (TAKATA et al., 2014). Neste estudo as autores também avaliaram o efeito da temperatura da água sobre o

desenvolvimento das larvas de pacamã com 16,8 mg de peso médio, sendo constatado maior peso final e taxa de crescimento específico quando a temperatura dos aquários foi mantida em 29 e 32 °C, em comparação as larvas criadas em temperaturas de 23 e 26 °C. Já para juvenis de pacamã com 30.6 g, as temperaturas de 23, 26, 29 e 32 °C também já foram avaliadas, sendo estimada a temperatura ótima de 27,8 °C para promover o máximo ganho de peso (COSTA et al., 2016). Neste último estudo, foi constatado que temperaturas superiores a 29,4 °C promovem o aumento do número de células vermelhas do sangue e do pigmento responsável pelo transporte de oxigênio, provavelmente devido aos menores níveis de oxigênio dissolvido na água.

Após a fase de larvicultura, na qual são utilizados alimentos vivos, faz-se necessário o condicionamento alimentar dos alevinos de pacamã, durante o qual os alevinos são condicionados a aceitar rações processadas. Entre as vantagens observadas nos animais condicionados a aceitar dietas processadas, destacam-se as altas taxas de sobrevivência dos alevinos (LUZ et al., 2011; SALARO et al., 2015). Neste aspecto, taxas de sobrevivência de 26,6; 61,6; 73,8 e 60,5 % foram observadas em pacamãs (22.4 ± 1.3 mg) quando submetidos aos seguintes tratamentos: alimentação direta com ração extrusadas; condicionamento alimentar pela técnica de transição gradual de ingrediente utilizando coração bovino; condicionamento alimentar pela técnica de transição gradual de ingrediente utilizando coração bovino acrescido de artêmia salina e condicionamento alimentar pela técnica de transição gradual de ingrediente utilizando coração bovino acrescido de emulsão Scoot com óleo de fígado de bacalhau enriquecido com vitamina A e D, respectivamente (LUZ et al., 2011). Taxas de sobrevivência de 78,2 e 74,6 % foram observadas para pacamãs (0.20 ± 0.03 g) quando condicionados pela técnica de transição gradual de ingredientes utilizando coração bovino e pela técnica substituindo o coração bovino pela gelatina comercial, respectivamente (SALARO et al., 2015).

Embora apresente hábito alimentar noturno, esta espécie possui a plasticidade de se alimentar em outros horários, desde que condicionada, sem prejuízos na sobrevivência, ganho de peso e taxa de crescimento específico dos animais (KITAGAWA et al., 2015). O hábito alimentar

carnívoro desta espécie faz com apresente boa capacidade de armazenamento estomacal, sendo que pós-larvas de pacamã ($13,5 \pm 0,7$ mm), e alevinos ($182,02 \pm 28,1$ mg) já condicionados à aceitar dietas processadas foram submetidos a quatro frequências alimentares: alimentação as 8h00 e 17h00; alimentação as 8h00 e 12h30; alimentação as 8h00, 12h30 e 17h00; e alimentação as 8h00, 11h00, 14h00 e 17h00, e não apresentaram diferenças significativas no desempenho e a sobrevivência de pós-larvas e alevinos de pacamã, mostrando adaptação à baixa frequência alimentar desta espécie (DOS SANTOS et al., 2016).

Uma vez que os alevinos já aceitam rações comerciais, a formulação de rações adequadas às exigências nutricionais da espécie é fator preponderante para o desempenho produtivo, qualidade de carne e saúde do animal. O conteúdo de proteína da dieta é um dos principais fatores que limitam o desempenho, além de corresponder à fração mais onerosa da dieta. Já se tem conhecimento que as exigências nutricionais variam de acordo com o desenvolvimento do animal. Alevinos de pacamã ($2,32 \pm 0,02$ g e $5,19 \pm 0,01$ g) foram alimentados com dietas isoenergéticas (3112-3430 Kcal e 16,9-14,1 % de extrato etéreo) contendo quatro diferentes níveis de proteína bruta: 36,2; 38,2; 42,0; 44,4 e 48,8 %, sendo constatado que para alevinos com 2,32 g apresentaram maior ganho de peso quando alimentados com dietas contendo 42 % de proteína (SOUZA et al., 2014). Já os alevinos com 5,19 g apresentaram melhor ganho de peso quando alimentados com dietas contendo 36,2 e 38,2 % de PB (SOUZA et al., 2013). Tornando evidente que a exigência de proteína na dieta diminui com o crescimento do animal. Os referidos autores apontam que a utilização de aminoácidos como fonte de energia, diminuiu a disponibilidade e o aporte destes para a biossíntese proteica, o que reduziu o ganho de peso dos peixes alimentados com as dietas contendo os maiores níveis proteicos.

A boa capacidade de digestão de ingredientes proteicos tanto de origem animal (farinha de peixe, farinha de carne e ossos), quanto de origem vegetal (farelo de soja, protenose de milho, soja integral tostada e farelo de trigo) foi evidenciada para juvenis de pacamã ($256 \pm 1,41$ g) (MELO et al., 2016). Apesar dos resultados indicarem menor coeficiente de digestibilidade da matéria seca do farelo de soja (51,72 %) em relação aos demais

ingredientes, a digestibilidade da proteína do farelo de soja (88,69 %), não diferiu da digestibilidade da proteína da soja integral tostada (90,87 %) e da protenose de milho (90,54 %), ambas superiores à digestibilidade da proteína da farinha de peixe (85,70 %), farinha de carne e ossos (82,38 %) e farelo de trigo (83,5 %). A digestibilidade da energia da farinha de peixe (87,09 %), farinha de carne e ossos (92,67 %) e protenose de milho (87,90 %) foram superiores à digestibilidade da energia da soja integral tostada (81,02 %), a qual foi superior à digestibilidade da energia do farelo de trigo (79,08 %) e farelo de soja (63,55 %) em juvenis de pacamã (MELO et al., 2016).

Os carboidratos correspondem à fonte mais barata de energia em dietas, porém, limitações na utilização de carboidratos na dieta de pacamãs já foram constadas. Figueiredo et al. (2014) avaliaram dietas isoenergéticas (5139-5279 kcal e 8,02-9,81 % de extrato etéreo) e quatro relações proteína bruta/carboidratos (0,33; 0,51; 0,84 e 1,24 PB/CHO) para alevinos de pacamã (10 g), sendo que os animais alimentados com as dietas contendo 1,24 PB/CHO apresentaram maior ganho de peso, taxa de crescimento específico, glicemia e aminoácidos totais livres plasmáticos. Também foi verificado maior conversão alimentar e maior acúmulo de gordura visceral nos animais alimentados com as dietas com 0,33, 0,51 e 0,84 PB/CHO, sugerindo que a maior concentração de carboidratos da dieta não foi aproveitada para crescimento pelos alevinos de pacamã (FIGUEIREDO et al., 2014).

Proteína

Proteínas são macromoléculas formadas por um conjunto de aminoácidos unidos através de ligações peptídicas, que possuem função primordial no metabolismo dos organismos vivos (NELSON e COX, 2011). Essas macromoléculas correspondem à aproximadamente 60 % da matéria seca do organismo animal (HALVER e HARDY, 2002), exercendo as mais variadas funções, como proteínas estruturais (actina, miosina, elastina e colágeno), enzimas digestivas (tripsina, amilase), hormônios (insulina, cortisol), catalizadoras de reações metabólicas (alanina aminotransferase e aspartato aminotransferase). Sendo que a funcionalidade de uma unidade

proteica depende da uma sequência de aminoácidos e estrutura tridimensional específica (NELSON e COX, 2011).

Dentre os fatores que mais afetam o crescimento, desenvolvimento e saúde dos peixes, podemos destacar a ingestão adequada de proteína e aminoácidos (LI et al., 2009). O valor nutricional da proteína dietética varia de acordo com o balanceamento, entre o perfil de aminoácidos fornecidos pela dieta e o perfil de aminoácidos requerido para o pleno funcionamento das células do organismo (FURUYA et al., 2004; ABIMORAD et al., 2009). Os aminoácidos podem ser divididos em duas classes, essenciais e não essenciais, de acordo com a capacidade de síntese endógena do animal.

Os aminoácidos essenciais são aqueles que não são sintetizados em taxas satisfatórias pelo organismo do animal, tendo de advir prioritariamente das dietas, e são os principais limitantes ao crescimento animal (NRC, 2011). Os dez aminoácidos considerados essenciais são: lisina, metionina, treonina, arginina, leucina, isoleucina, histidina, fenilalanina, valina e triptofano. Segundo Li et al. (2009), diante dos benefícios obtidos com a suplementação de taurina, glutamina, glicina, prolina e hidroxiprolina no crescimento, desenvolvimento e saúde de organismos aquáticos, o termo não-essenciais pode ser inadequado, sendo o termo “condicionalmente essenciais”, a denominação sugerida.

O crescimento do animal está correlacionado com o saldo obtido entre a taxa de catabolismo e de anabolismo proteico (SVEIER et al., 2000). A presença de aminoácidos disponíveis no citossol, na forma de aminoácidos livres e di, tri ou oligopeptídeos, é indispensável para estimular a síntese proteica, de acordo com a necessidade do organismo, a qual é mediada pela expressão do código genético (SEILIEZ et al., 2008; LI et al., 2009; NELSON e COX, 2011). Portanto, a eficiência e a velocidade de síntese proteica irão depender não só do potencial genético, mas também da disponibilidade de aminoácidos no interior das células do animal (SVEIER et al., 2000), sendo que a falta de um único aminoácido é limitante para a síntese proteica. Os aminoácidos necessários para a síntese de uma nova proteína podem ser de origem dietética, ou ser obtidos pela clivagem de proteínas endógenas (BAR, 2014; LI, et al., 2009). Os aminoácidos não utilizados para a síntese proteica devem ser utilizados como fonte de

energia, ou para síntese de carboidratos e lipídios celulares, uma vez que a capacidade de armazenamento de aminoácidos do organismo é inexpressiva (IP e CHEW, 2010).

A retirada do grupamento amino dos aminoácidos é fundamental para que o esqueleto de carbono possa ser utilizado (NELSON e COX, 2011), sendo que a deaminação de aminoácidos pode ocorrer tanto em situações de jejum prolongado, quanto em dietas com elevado teor proteico (SÁNCHEZ-MUROS et al., 1998), ou com perfil de aminoácidos inadequado às exigências nutricionais do animal. Após a retirada do grupamento amino os diferentes aminoácidos dão origem à diferentes intermediários do ciclo de Krebs, tais como: acetil-CoA, acetoacetil-CoA, α -cetoglutarato, piruvato, oxalacetato ou fumarato; que podem ser oxidados para a obtenção de energia, utilizados para a gliconeogênese ou para a lipogênese (NELSON e COX, 2011).

Os grupos α -amino, que foram retirados dos aminoácidos deaminados no músculo e em outros tecidos são transferidos para o glutamato, o qual pode ser convertido à alanina (NELSON e COX, 2011). A alanina é o principal transportador do grupamento amino, de forma não tóxica, até o fígado. No tecido hepático, pela ação da enzima alanina aminotransferase (ALT), a alanina pode ter seu grupamento amino transferido para o α -cetoglutarato, formando piruvato e glutamato. O glutamato pode ser convertido em glutamina, pela adição de um grupamento amina, ou pode transferir seu grupo α -amino para o piruvato (HALVER e HARDY, 2002). Principalmente nos tecidos branquial e renal, pela ação da glutaminase, ocorre a liberação e excreção de um grupamento amino da glutamina (HALVER e HARDY, 2002).

Em teleósteos a maior parte dos grupamentos amino é excretada na forma de amônia, que além seu potencial poluidor, demonstra alto potencial toxicológico para organismos aquáticos, sendo que exposições crônicas a amônia, resultam em danos ao tecido branquial, perda de apetite e redução no crescimento dos peixes (NERICI et al., 2011). A amônia é excretada, na maioria das vezes, passivamente pelas brânquias, embora mecanismos ativos, como o controle do pH branquial, redução da permeabilidade branquial e a síntese de ureia, também estejam presentes (IP e CHEW,

2010). A susceptibilidade de larvas e juvenis de pacamã já foi evidenciada, sendo que concentrações de amônia não ionizada (NH_3) de $0,99 \text{ mg L}^{-1}$ para larvas, e $1,5 \text{ mg L}^{-1}$ para alevinos, promoveram danos branquiais, com desorganização dos filamentos branquiais primários e lamelas brânquias secundárias (CARDOSO et al., 1996). Os referidos autores constataram que a exposição por 48 horas a níveis de amônia não ionizada (NH_3) de $0,48 \text{ mg L}^{-1}$ para larvas e $0,92 \text{ mg L}^{-1}$ para alevinos, resultou na mortalidade de 50 % dos peixes.

As enzimas alanina aminotransferase (ALT) e a aspartato aminotransferase (AST) são as principais envolvidas no processo de transaminação de aminoácidos (SÁNCHEZ-MUROS et al., 1998, IP et al., 2001). Diversos autores quantificaram a atividade enzimática da ALT e da AST para estudar o metabolismo proteico, e o efeito poupador de proteína. Tal fato foi evidenciado no trabalho de Abdel-Tawwab et al. (2010), no qual tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*) apresentaram aumento nas atividades da ALT e AST hepática e muscular, acompanhado do aumento da atividade da ALT sanguínea, quando o nível de proteína digestível da dieta passou de 25 % para 45 %. Zang et al. (2017) trabalhando com o híbrido “snakehead” (*Channa maculata* ♀ × *Channa argus*), espécies carnívoras, também verificaram aumento na atividade da ALT plasmática quando a proteína bruta da dieta passou de 34 % para 52 %. Os referidos autores também constataram que o aumento no conteúdo de lipídios na dietas de 6,5 % para 12 % também ocasionou elevação na atividade da ALT plasmática, provavelmente ocasionada pelo excesso de gordura na dieta, o que pode ter ocasionado injúrias ao tecido hepático.

A nutrição e o metabolismo proteico compõe a base do conhecimento nutricional dos peixes, uma vez que, níveis dietéticos que excedem as exigências nutricionais conduzem à excreção excessiva de nitrogênio, o que, conjuntamente com a excreção de fósforo, são os principais responsáveis pela eutrofização do ambiente, sendo os principais nutrientes limitantes ao crescimento de algas (NRC, 2011; SKOV et al., 2017). Os estudos de nutrição de peixes devem buscar não somente maximizar a produtividade, mas avaliar a eficiência de digestão e retenção dos nutrientes disponíveis na dieta (JOBLING et al., 2016).

O processo de digestão proteica envolve a quebra das proteínas, que tipicamente contêm cerca de 300 aminoácidos, em aminoácidos livres, di e tripeptídeos, os quais podem ser absorvidos pelos enterócitos (HALVER E HARDY, 2002). O início da digestão proteica ocorre no estômago, no qual pepsinogênio, secretado pelas células oxintopépticas é convertido à pepsina na presença de HCl. Já no intestino, o tripsinogênio de origem pancreática, é convertido em tripsina, pela enteroquinase, enzima produzida pelos enterócitos. A digestão dos oligopeptídios resultantes da ação da pepsina e tripsina é finalizada pela ação de proteases secretadas pelos enterócitos, ou mecanismos de digestão intracelular (HALVER E HARDY, 2002). A elastase, quimiotripsina, e carboxipeptidases, todas ativadas pela tripsina, finalizam a digestão oligopeptídeos, liberando dipeptídeos, tripeptídeos ou aminoácidos livres para serem absorvidos (GANAPATHY et al., 2006).

A absorção de aminoácidos e pequenos peptídeos ocorre através de transportadores localizados na mucosa intestinal, frequentemente por um sistema de transporte dependente de energia, conhecido como transporte ativo (GANAPATHY et al., 2006). As proteínas transportadoras movem simultaneamente a molécula alvo e um íon sódio, sendo que a manutenção do gradiente de sódio é realizada por transportadores ativos dependentes de ATP (HALVER E HARDY, 2002). Os aminoácidos livres são absorvidos, todavia já foi demonstrado que pequenos peptídeos podem ser assimilados com taxa mais elevada, uma vez que pode haver antagonismo entre certos aminoácidos, decorrente da competição pelo mesmo transportador de membrana (GARDNER, 1984; FEI et al., 1994).

Buddington et al. (1987) trabalhando com espécies de diferentes hábitos alimentares, constataram que a truta arco-íris (*Salmo gairdneri*), espécie carnívora, apresentou maior velocidade absorptiva de prolina (aminoácido), em relação à espécies não carnívoras, como a carpa comum (*Cyprinus carpio*) e o bagre do canal (*Ictalurus punctatus*). Os referidos autores também verificaram maior velocidade absorptiva de prolina nas fases mais jovens, para todas essas espécies, independentemente do hábito alimentar.

Outro fator de que se mostra altamente influente na alimentação de espécies carnívora é a origem da proteína: animal ou vegetal. O efeito

negativo de fontes proteicas de origem vegetal sobre a digestibilidade da proteína, aminoácidos, amido e energia, assim como alterações na estrutura do epitélio intestinal já foi demonstrado para salmão do atlântico (*Salmo salar*) (HU et al., 2016). HARTVIKSEN et al. (2014) evidenciaram que a farinha de penas e farinha de vísceras de aves, foram capazes de promover o aumento da atividade lipase em salmão do atlântico (*Salmo salar*), enquanto que o farelo de girassol e concentrado de soja diminuíram a atividade da tripsina. A grande variedade de fatores anti-nutricionais, tais como elevado teor de fibra, fitatos e inibidores de proteases presentes nos produtos de origem vegetal, podem prejudicar a utilização de nutrientes, além de prejudicar o desempenho e a saúde dos peixes (NRC, 2011).

Carboidratos

O termo carboidratos refere-se a um grande número de moléculas formadas prioritariamente por carbono, hidrogênio e oxigênio, também classificadas como poliálcoois, com um ou vários grupos aldeídos, ou cetonas (NRC, 2011). Em sua grande maioria, essas biomoléculas são oriundas do processo fotossintético das plantas, e constituem a principal fonte de energia para a maior parte dos seres vivos (NRC, 2011). Podendo ser encontrados em formas simples, também chamadas de monossacarídeos (glicose, frutose, galactose), ou unidos por ligações glicosídicas, na forma de dissacarídeos (sacarose, maltose e lactose) e polissacarídeos (amido, celulose, glicogênio) (NELSON E COX, 20011).

O amido e o glicogênio compõem a forma básica de armazenamento de carboidratos pelas plantas e animais, respectivamente. Estes podem ser facilmente digeridos pela ação das carboidrases secretadas pelo pâncreas durante o processo de digestão, que ocorre no intestino delgado (NRC 2011). O tipo de ligação glicosídica é que define a susceptibilidade dos carboidratos à ação enzimática, sendo que o amido e glicogênio possuem ligações do tipo $\alpha(1\rightarrow4)$ e $\alpha(1\rightarrow6)$ (NELSON E COX, 20011). Já os carboidratos estruturais, como por exemplo a celulose e a quitina apresentam ligações glicosídicas do tipo $\beta(1\rightarrow4)$, que não é quebrada pela ação das carboidrases secretadas pelos vertebrados superiores (NRC 2011) (Figura 1).

Os carboidratos estruturais são os principais componentes da parede celular da célula vegetal, sendo compostos basicamente por celulose, hemicelulose e lignina. Essa fração dos carboidratos, não passível à ação da α -amilase, apresenta baixa digestibilidade, sendo comumente reconhecida como fibra. Apesar da celulose ser constituída basicamente por glicose, o tipo de ligação ($\beta(1\rightarrow4)$) presente nessas moléculas não permite a digestão pela α -amilase. A lignina, uma macromolécula sem forma definida, encontra-se associada à celulose da parede celular da célula vegetal, cuja função é conferir rigidez a mesma. Devido à complexidade de sua estrutura a lignina mostra-se altamente indigestível, devendo fazer parte dos componentes fibrosos da dieta (NRC, 2011).

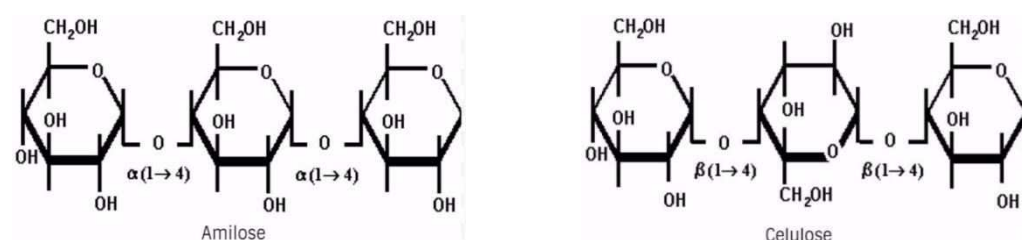


Figura 1. Exemplos dos tipos de ligação presentes na amilose ($\alpha 1\rightarrow4$), que é digerida pela amilase, e na celulose ($\beta 1\rightarrow4$), que não é digerida pelas enzimas digestivas dos peixes. Adaptado de Vieira (2003).

No caso específico de peixes, os carboidratos não são uma fonte de energia tão boa, uma vez que já se tem conhecimento de uma série de limitações com relação a digestão, absorção e metabolismo de carboidratos (MOON, 2001; POLAKOF e PANSEERAT, 2016). De maneira geral, os teleósteos apresentam limitações nos mecanismos de controle da glicose sanguínea, já que quadros de hiperglicemia são evidenciados após refeições ricas em carboidratos (POLAKOF e PANSEERAT, 2016), ou infusão intravenosa de glicose (FELIP et al., 2012), podendo ou não ser acompanhado à quadros de hiperinsulinemia (MOON, 2001). Diante de tal fato, Moon 2001 propôs que a chave da intolerância à glicose não esta relacionada diretamente com possíveis deficiências de insulina, mas na baixa capacidade de oxidação de glicose pelos tecidos periféricos de algumas espécies carnívoras.

Todavia, apesar das limitações, a inclusão de carboidratos na dieta de várias espécies carnívoras mostra-se benéfica. A inclusão de 18 % de carboidratos na dieta do carnívoro “common dentex” (*Dentex dentex*), melhorou a eficiência alimentar dos peixes (PÉREZ-JIMÉNEZ et al., 2015). Embora neste estudo, não tenham sido constatadas diferenças no ganho de peso e taxa de crescimento específico dos peixes, quando comparados aos tratamentos com 12 e 24 % de carboidratos na dieta. Os referidos autores evidenciaram que o tipo de carboidrato influencia nas vias metabólicas dos peixes, sendo que o amido gelatinizado promoveu maior atividade hepática e muscular das enzimas, hexoquinase (HK) e piruvato-quinase (PK), responsáveis pela captação e catabolismo da glicose, em comparação aos animais alimentados com dietas contendo maltodextrina. Os animais alimentados com maltodextrina apresentaram menor atividade das enzimas málica e glicose-6-fosfato desidrogenase, principais envolvidas na lipogênese e via das pentoses, respectivamente, quando comparados aos animais que receberam amido gelatinizado ou dextrina (PÉREZ-JIMÉNEZ et al., 2015).

O tipo de carboidrato, assim como o processamento da dieta, influencia diretamente no potencial de utilização pelos peixes. Se por um lado os carboidratos complexos são menos digestíveis pelas enzimas endógenas, sendo que a tilapia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), espécie onívora, apresentou os valores de digestibilidade aparente dos carboidratos não amiláceos entre 22,5 e 73,2 %, enquanto os coeficientes de digestibilidade do amido foram significativamente maiores, estando entre 97,5 e 99,6 % (HAIDAR et al., 2016). Por outro lado já foi comprovado que a gelatinização do amido melhora a digestibilidade das dietas (HALVER e HARDY, 2002). No entanto, apesar de melhorar a assimilação do amido pelos peixes, a ingestão de dietas com 30 % de amido gelatinizado desencadeou hiperglicemia plasmática persistente em truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*), não sendo recomendada para esta espécie (FELIP et al., 2012).

Na nutrição de espécies carnívoras utiliza-se níveis menores que 20% de carboidratos digestíveis (WILSON, 1994), sendo que quadros de hiperglicemia persistente podem estar relacionados com a baixa capacidade

de utilização de glicose pelos tecidos periféricos dessas espécies (MOON, 2001). Já espécies onívoras, como a tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*) não demonstraram alterações na glicemia quando alimentadas com dietas contendo 40 % de carboidratos (QIANG et al., 2014), além de maior peso final, taxa de crescimento específico e taxa de eficiência alimentar (ANDERSON et al., 1984)

A insulina e os fatores de crescimento semelhantes a insulina, IGF-I e IGF-II, desempenham papéis importantes na regulação do crescimento e metabolismo em vertebrados. Em vários teleósteos a insulina é secretada pelas células- β das ilhotas de Langerhans do pâncreas, e atua na assimilação de nutrientes e controle da glicemia sanguínea (NAVARRO et al., 1999). IGF-I é produzido em múltiplos tecidos, mas predominantemente pelo fígado, sendo que suas funções no metabolismo e crescimento dos peixes ainda não estão muito bem elucidadas (PLANAS et al., 2000). Todavia a ação de ambos depende de presença de receptores específicos da superfície celular (NAVARRO et al., 1999, PLANAS et al., 2000, VIKESÅ et al., 2015). Assim, duas principais vias podem explicar a intolerância de teleósteos à glicose, a primeira está na concentração de insulina plasmática, já a segunda esta relacionada à utilização de glicose pelos tecidos periféricos, que pode estar relacionada com a existência, sensibilidade e eficiência dos transportadores de glicose insulino dependentes (GluT) (WRIGHT JR. et al., 1998; MOON, 2001), porém a relação entre os receptores GluT e a insulina ainda precisa ser melhor esclarecida.

Polakof et al. (2010) trabalhando com truta arco-íris verificaram que no curto prazo, a aplicação de insulina exógena foi eficiente na redução da glicemia plasmática, semelhante ao verificado em mamíferos. Todavia os referidos autores constataram que após quatro dias de infusão de insulina, houve perda de sensibilidade à insulina, uma vez que a glicemia plasmática continuou elevada após refeições ricas em carboidratos, embora numericamente menor do que os animais que não receberam insulina.

Apesar do processo de digestão enzimática dos polissacarídeos ser aparentemente mais simples que o da proteína, uma vez que são compostos pela repetição de um ou poucos monossacarídeos, os animais superiores, tipicamente só podem digerir carboidratos mais simples. Sendo ausente ou

inexpressiva capacidade de digerir carboidratos complexos, como celulose, lignina, queratina e quitina (HALVER e HARDY, 2002). A susceptibilidade dos carboidratos aos processos de digestão enzimática, fermentação bacteriana e seus efeitos na fisiologia animal varia com a espécie (SUÁREZ et al., 2002), nível de inclusão (PÉREZ-JIMÉNEZ et al., 2015), processamento (FELIP et al., 2012), e tipo de carboidrato presente na dieta (HAIDAR et al., 2016, assim como com fase de desenvolvimento do animal (BUDDINGTON et al., 1987).

Buddington et al. (1987) evidenciaram a saturação dos transportadores de glicose nos enterócitos de truta arco-íris (*Salmo gairdneri*), quando expostos à crescentes concentrações de glicose pelo aumento na concentração na solução, em situação in vitro. A saturação dos transportadores de glicose não foi constatada para espécies não carnívoras como a carpa comum (*Cyprinus carpio*) e bagre do canal (*Ictalurus punctatus*) pelos referidos autores, evidenciando a maior capacidade de absorver glicose dessas espécies.

Estimativa do conteúdo de carboidratos das dietas

Desde o século XIX foi proposto o Sistema de Weende, com o intuito de estimar de forma prática a fração solúvel dos carboidratos, passível de ser digerida pelos vertebrados superiores. Para tal o conceito de extrato não nitrogenado (ENN) foi desenvolvido, o qual seria obtido por diferença entre as demais frações que compõem a dieta, segundo a seguinte formula:

$$\% ENN = 100 - \%PB - \%GB - \%FB - \%MM$$

ENN: Extrato não nitrogenado; PB: Proteína bruta; GB: Gordura bruta; FB: Fibra bruta; MM: Matéria mineral

Todavia, a acurácia da estimativa utilizando o conceito de EEN, pode ser questionada, uma vez que há uma serie de limitações expostas com relação à análise de fibra bruta. O conceito de fibra bruta envolve a soma da celulose, hemicelulose e lignina (JOBLING, 2016). Sendo que o procedimento analítico consiste em uma etapa de extração ácida e posterior filtragem, seguido de uma extração básica com posterior filtragem, seguida por secagem e quantificação gravimétrica (Metodo 962,09; AOAC 2005). A solubilização da lignina e hemicelulose, em proporções variáveis, são umas

das limitações do método, uma vez que o valor solubilizado seria acrescido ao extrato não nitrogenado (ENN) (VAN SOAST, 1965), o qual deveria corresponder aos componentes potencialmente digestíveis do alimento.

Frente às limitações identificadas, durante a década de 60, Van Soast propôs um método baseado no tratamento das amostras com detergente neutro, cujo resíduo foi denominado resíduo insolúvel em detergente neutro, o qual passou a ser reconhecido como fibra insolúvel em detergente neutro (FDN), que permite a precipitação total da celulose, hemicelulose, lignina (VAN SOAST, 1965). Diante deste fato, Mertens 1997, propôs o conceito de “carboidratos não fibrosos”, já que o conceito de carboidratos não estruturais, anteriormente adotado, desconsideraria a pectina, que possui papel estrutural nas plantas. Porém a presença contaminantes proteicos (DETMAN, 2010) e minerais (VAN SOAST et al., 1991) nas análises de FDN, podem ocasionar distorções nos valores de obtidos (DETMANN e VALADARES FILHO, 2010). Sendo que o conceito de indigestibilidade da fração fibrosa para animais monogástricos (NRC, 2011), com baixa capacidade fermentativa pode não ser atendido (PAMUNGKAS et al., 2011; OLIVEIRA JR. et al., 2017).

Assim, um sistema de correção dos contaminantes presentes no resíduo insolúvel em detergente neutro foi proposto por Detmann e Valadares Filho, 2010, com o objetivo de obter maior acurácia na estimativa da fração solúvel dos carboidratos, já que esta é estimada por diferença. Para proceder a correção dos contaminantes proteicos e minerais devem-se determinar os teores de proteína bruta e cinzas contidas no resíduo insolúvel em detergente neutro, subtraindo-os do teor de FDN inicialmente quantificado, o qual passe a ser chamado de fibra insolúvel em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína (FDN_{cp}) (DETMANN e VALADARES FILHO, 2010).

$$\% CNF = 100 - \%PB - \%GB - \%FDN_{cp} - \%MM$$

CNF: Carboidratos não fibrosos; PB: Proteína bruta; GB: Gordura bruta; FDN: Fibra insolúvel em detergente neutro corrigido para cinzas e proteína; MM: Matéria mineral.

Relação PB/CNF para Carnívoros

Durante um passado recente, as rações visavam unicamente maximizar o crescimento e o desempenho zootécnico dos peixes, todavia, atualmente devem atender a outras necessidades, como eficiência e sustentabilidade ambiental das pisciculturas (MCGOOGAN e GATLIN, 2000; JOBLING et al., 2016). A diminuição da excreção de nitrogênio pode ser alcançada através do adequado balanço entre proteína e energia das dietas, o que evita que a proteína seja utilizada como fonte de energia (CHO e KAUSHIK, 1990; PÉRES e OLIVA-TELES, 2001), sendo os lipídios e carboidratos as principais fontes energéticas alternativas (WILSON, 1994; AZEVEDO et al., 2004; BORGES et al., 2014).

Espécies carnívoras, como a truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) apresentam naturalmente maior habilidade em obter energia de lipídios do que de carboidratos (SARAVANAN et al., 2012). Todavia, além de ser mais onerosa (GUO et al., 2015), a inclusão de altos níveis de lipídios pode levar ao aumento no conteúdo de gordura das carcaças como verificado para “senegalese sole” (*Solea senegalensis*) (BORGES et al., 2014), e híbridos “grouper” (*Epinephelus fuscoguttatus* × *E. lanceolatus*) (RAHIMNEJAD et al., 2015), além de potencializar a rancificação das carcaças, comprometendo a qualidade organoléptica do pescado (GUO et al., 2015).

Apesar das espécies carnívoras apresentarem limitações na utilização de carboidratos, a inclusão em níveis adequados nas dietas, tem-se mostrado benéfica para várias espécies: truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) (FELIP et al., 2012; FIGUEIREDO-SILVA et al., 2012), “dentex comum” (*Dentex dentex*) (PÉREZ-JIMÉNEZ et al., 2015), “golden pompano” (*Trachinotus ovatus*) (ZHOU et al., 2014), e salmão do atlântico (*Salmo salar*) (HEMRE E HANSEN, 1998), promovendo melhora no ganho de peso e eficiência proteica dos animais. Todavia, a determinação dos níveis máximos de inclusão de carboidratos na dieta dessas espécies é fundamental, uma vez que espécies carnívoras como “snakehead” (*Channa maculata* ♀ × *Channa argus* ♂) alimentadas com mais de 30 % de carboidratos apresentam diminuição no crescimento (ZANG et al., 2017) e aumento na deposição de gordura visceral como verificado em juvenis de “barramundi” (*Lates calcarifer*) (GLENCROSS et al., 2014). Também foi

verificada a inibição do consumo das dietas do canívoro “common dentex” (*Dentex dentex*) quando alimentados com dietas contendo 26,9 % de carboidratos (PÉREZ-JIMÉNEZ et al., 2015).

Crescimento muscular em Peixes

O tecido muscular estriado esquelético representa em torno de 60 % da massa corporal dos peixes (HALVER e HARDY, 2002), essa proporção é maior que aquela encontrada em aves e mamíferos, estando associada ao maior esforço demandado para se locomover no meio aquático (dos SANTOS, 2007). Além disso, a maioria das espécies de peixes apresenta crescimento hiperplásico, aumento no número de fibras musculares, durante boa parte da vida adulta, diferindo-se de aves e mamíferos, cujo crescimento está restrito somente a mecanismos de hipertrofia das fibras musculares originárias durante a fase pré-natal (JOHNSTON, 1999).

Na hipertrofia, ocorre a fusão das células satélites às fibras musculares já existentes, aumentando o número de núcleos na célula e sua capacidade de síntese proteica, levando ao aumento do volume da fibra muscular. No entanto os peixes apresentam contínua produção de novos mioblastos, diferenciação de novas células satélites e formação de novas miofibrilas, o que não acontece em mamíferos (MOMMSEN, 2001).

O fornecimento adequado de nutrientes nas dietas possibilita ao animal aumentar sua taxa anabólica e, conseqüentemente, sua massa muscular (PERAGÓN, et al., 1999; SVEIER et al., 2000; ZHANG et al., 2017). Dentre os pontos chave para o crescimento da musculatura esta o status nutricional do animal, segundo kojima et al. (2015) o diâmetro das fibras musculares de larvas de pacu (*Piaractus mesopotamicus*), foi significativamente influenciado pelo status nutricional do animal, sendo os animais que não foram submetidos a jejum apresentaram maior frequência de fibras musculares de maior diâmetro. Todavia, os referidos autores também evidenciaram a capacidade de recuperação no crescimento, sendo que após quatro dias recebendo náuplios de artêmia salina, não foram detectadas diferenças nas frequências das fibras musculares de diferentes diâmetros.

A ingestão inadequada de proteínas e aminoácidos na dieta resulta em redução do crescimento (FIGUEIREDO-SILVA et al., 2012). Em períodos

de inanição demasiadamente longos, ocorre paralisação do crescimento e perda de peso devido à retirada de proteínas de tecidos menos vitais, tais como musculatura esquelética e vísceras, para manter as funções mais vitais, como osmorregulação e metabolismo basal do organismo (LI et al., 2009; BAR, 2014). Semelhantemente ao que acontece com aves e mamíferos, em peixes, as respostas fisiológicas a períodos de inanição podem ser divididas em três fases (BAR, 2014). Durante a primeira fase, de curta duração, tanto aminoácidos, quanto lipídios são mobilizados e utilizados; já durante a segunda, mecanismos protetores da proteína corporal entram em cena, e prioritariamente a energia advém das reservas do tecido adiposo (reservas de lipídios). Na terceira e última fase, os estoques de gordura corporal já se encontram reduzidos, sendo a mobilização da proteína corporal a principal fonte de energia. Vários hormônios coordenam tais mecanismos, sendo os principais, hormônio do crescimento (GH), cortisol, grelina e leptina (BAR, 2014).

Creatinina

A creatina (N-aminoiminometil-N-metilglicina) é um componente proteico que pode ser produzido de forma endógena no fígado, rins, pâncreas e possivelmente no cérebro, a partir de aminoácidos, ou absorvida diretamente da dieta, estando presente em proteínas de origem animal (IOM, 2011). No organismo a creatina é transferida para outros tecidos por transportadores de creatina específicos localizados na musculatura esquelética, nos rins, no coração, no fígado e no cérebro (IOM, 2011).

A creatina é um precursor essencial para a síntese da fosfocreatina, sendo que a energia obtida através da liberação do grupamento fosfato da fosfocreatina é utilizada para a atividade contrátil das fibras musculares (WYSS e KADDURAH-DAOUK, 2000). Após a liberação do grupamento fosfato, a fosfocreatina pode ser recuperada pela ação da enzima creatina quinase (CK), sendo que a resistência da fibra muscular à processos de fadiga está relacionada a atividade citoplasmática e mitocondrial desta enzima. A diminuição na disponibilidade de fosfocreatina, leva à produção de ATP através da glicólise anaeróbica, que tem como produto final o ácido láctico, principal responsável pela fadiga muscular (HALVER e HARDY, 2002).

A creatinina é um metabolito oriundo transformação não-enzimática e irreversível da creatina e da fosfocreatina, sendo que diariamente 2 % do total de creatina corporal total é transformado em creatinina, a qual deve ser excretada pelos rins (WYSS e KADDURAH-DAOUK, 2000). A quantidade de creatinina excretada na urina está correlacionada com a quantidade de massa muscular, dieta, sexo e idade do indivíduo, sendo que a concentração plasmática pode ser utilizada para monitorar as funções renais e taxa de filtração glomerular (CERIOTTI et al., 2008, SCHOLTEN, et al., 2017). A boa sensibilidade analítica e a correlação da creatinina plasmática e disfunções metabólicas já foram evidenciadas em tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*) (ABDEL-TAWWAB et al., 2007, HASSAAN, et al., 2014).

Glicose plasmática

A glicose é fonte de energia prontamente disponível para a célula, sendo que os mecanismos de manutenção da glicemia plasmática em teleósteos são bem peculiares, e ainda não estão totalmente elucidados. Após 48 horas de jejum, não foi verificada a redução dos níveis de glicogênio hepático em truta arco-íris (*Salmo gairdneri*), sendo que em mamíferos este é principal responsável pela manutenção da glicemia plasmática (MORATA et al., 1982). Além disso, os referidos autores trabalhando com hepatócitos de truta arco-íris (*Salmo gairdneri*) em situação *in vitro*, verificaram que após a administração exógena tanto de glucagon quanto de adrenalina, houve aumento do conteúdo de glicogênio dos hepatócitos, tornando evidente o papel da gliconeogênese na manutenção do estoque de glicogênio hepático e glicemia plasmática durante períodos de jejum ou em situações estressantes para o animal.

Em situações de estresse, ocorre a elevação do nível plasmático de glicose, uma vez que são liberados hormônios catabólicos, como a adrenalina e o cortisol (THOMAS e ROBERTSON, 1991). Quadros de hiperglicemia também são evidenciados quando peixes carnívoros são alimentados com níveis elevados de carboidratos nas dietas (MOON, 2001), de maneira semelhante ao que acontece em quadros de diabetes mellitus (POLAKOF e PANSERAT, 2016). Além disso, existem diferenças interespecíficas nos níveis de glicose plasmáticas, que pode ser atribuída a diferenças na atividade natatória das diferentes espécies, sendo que as

espécies bentônicas, de menor atividade, tendem a ter menores níveis de glicose plasmática, do que as espécies pelágicas, mais ativas (JOHNSON et al., 2006).

Colesterol, triglicerídeos e Lipoproteínas plasmáticas

Sem dúvida o colesterol é a fração lipídica plasmática mais estudada nos animais, uma vez que quadros de hipercolesterolemia estão fortemente associados às doenças cardiovasculares (IOM, 2013). O colesterol é um componente essencial presente na membrana de todas as células animais, com importante função estrutural, reduzindo a permeabilidade da membrana a prótons e íons de sódio (NELSON e COX, 2011). Também atua no transporte intracelular, tendo função essencial nos processos de endocitose, participando na formação de gotículas lipídicas e isolamento das células do sistema nervoso, uma vez que compõe a bainha de mielina (NELSON e COX, 2011). Ainda participa no processo de conjugação dos sais biliares, e na formação de colesterciferol, um precursor da forma ativa da vitamina D (NELSON e COX, 2011). Apesar de tamanha importância no metabolismo, o colesterol ainda pouco estudado em peixes (NORAMBUENA et al., 2013).

A substituição do alimento vivo por rações processadas tem alto impacto na ingestão de colesterol nas espécies carnívoras. Além disso, a tendência mundial de inclusão de produtos vegetais nas dietas utilizadas na aquicultura (SEILIEZ et al., 2011; HU et al., 2016), pode contribuir para diminuir ainda mais a ingestão diária de colesterol, principalmente nas espécies carnívoras. Deng et al. (2013), avaliaram o efeito da suplementação de colesterol em dietas a base de soja para de truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*), e verificaram ganhos no desempenho até os níveis de 1,2 % de suplementação. Neste estudo os referidos autores evidenciaram a capacidade de manutenção dos níveis de colesterol de trutas arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) alimentadas com dietas contendo diferentes níveis de colesterol. Aumentos produção endógena de colesterol quando os animais foram alimentados com dietas deficientes em colesterol, e a possibilidade de inibição da absorção e aumento da excreção de colesterol via sais biliares, quando alimentados com dietas suplementadas com 1,5 % de colesterol foram evidenciadas em trutas arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) (DENG et al., 2013).

Kortner et al. (2014), trabalhando com salmão do atlântico (*Salmo salar* L.), também verificaram tais ajustes metabólicos, detectando aumento da excreção intestinal e inibição da absorção do colesterol presente nas dietas a base de proteínas vegetais e suplementadas com 1,5 % de colesterol, com consequente aumento dos sais biliares. Todavia, não foram detectados efeitos da suplementação de colesterol sobre o ganho de peso, taxa de crescimento específico e digestibilidade das dietas. Bjerkeng e Storebakken (1999), trabalhando com salmão do atlântico (*Salmo salar* L.) e dietas suplementadas com colesterol e ácidos graxos de cadeia curta, também não constataram diferenças da suplementação com colesterol na taxa de crescimento específico, conversão alimentar ou digestibilidade das dietas, contudo, neste estudo a suplementação com colesterol levou ao aumento do colesterol hepático e do índice hepatossomático.

Chamadas de lipoproteínas de alta densidade (*High Density Lipoprotein* - HDL), são sintetizadas prioritariamente no fígado, e também no intestino delgado, são partículas pequenas ricas em proteínas, com pouco colesterol e nenhum éster de colesterol (NELSON e COX, 2011). A fração HDL do colesterol contem, apoA-I, apoC-I apoC-II, entre outras apoproteínas e a enzima lecitina-colesterol aciltransferase (LCAT). Esta última, presente na superfície do HDL recém formado, é responsável pela conversão da fosfatidil-colina e do colesterol, presente nos remanescentes de quilomicrons e VLDL, em ésteres de colesterol, que são incorporados à molécula de HDL (NELSON e COX, 2011). Moléculas de HDL maduras tem como destino final o fígado, também conhecido como transporte reverso do colesterol. Todavia, parte do colesterol pode ser absorvida por receptores específicos presentes nos tecidos periféricos, por mecanismo de absorção parcial e seletiva de colesterol, sendo que parte do colesterol que chega ao fígado é utilizada na conjugação de sais biliares (NELSON e COX, 2011).

A fração HDL corresponde à proteína plasmática mais abundante, na carpa e outros peixes teleósteos (AMTHAUE et al., 1989, CONCHA et al., 2003), e além de atuar no transporte reverso de colesterol, possui propriedades antiaterogênicas (KOPPAKA, 2001), e anti-oxidantes (PANZENBÖCK et al., 2000). A apolipoproteína A-I é o principal componente proteico da lipoproteína de alta densidade (HDL), e seu papel na defesa

inata do organismo já foi demonstrado para truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) (VILLARROEL et al., 2007). Em situação *in vitro*, a fração HDL atuou como antimicrobiano sobre populações de *Escherichia coli*, e sua atuação na homeostase do colesterol e proteção da pele da carpa (*Cyprinus carpio*) já foi demonstrada (CONCHA et al., 2003).

Todo o excesso energético da dieta, seja ele advindo de ácidos graxos, carboidratos ou proteínas, pode ser convertido em triglicerídeos no fígado, o qual é responsável pela união dos triglicerídeos, insolúveis em meio aquoso, à lipoproteínas transportadoras, dando origem às lipoproteínas de muito baixa densidade (VLDL) (NELSON e COX, 2011). Essas lipoproteínas, ricas em triglicerídeos e solúveis em meio aquoso, são lançadas na corrente sanguínea, e podem ser captadas pelo tecido muscular e adiposo, onde através da ativação da lipase lipoproteica (LLP), ocorrerá a captação dos ácidos graxos livres dos triglicerídeos contidos na VLDL. No interior dos adipócitos esses ácidos graxos serão novamente convertidos a triglicerídeos e armazenados, enquanto no tecido muscular, serão utilizados, via de regra, para obtenção de energia através da β -oxidação (NELSON e COX, 2011).

Após a saída dos triglicerídeos, as VLDL tornam-se remanescentes de VLDL, também conhecidas como lipoproteínas de densidade intermediária (IDL), e com a saída de mais triglicerídeos, dão origem as lipoproteínas de baixa densidade (LDL). Muito ricas em colesterol, as LDL são responsáveis por transportar o colesterol para ser usado nos tecidos periféricos (NELSON e COX, 2011). Assim, a fração não-HDL é composta pela estimativa do número total de partículas aterogênicas no plasma (VLDL + IDL + LDL), e pode fornecer melhor estimativa do risco de doenças cardiovasculares do que o LDL, principalmente nos casos de hipertrigliceridemia, síndrome metabólica ou doença renal, sendo facilmente obtido através da formula descrito por Jiang et al. (2004):

$$\text{Colesterol não-HDL} = \text{Colesterol Total} - \text{HDL}.$$

Proteínas totais Plasmáticas

Dentre as principais proteínas plasmáticas encontradas nos peixes estão: albuminas, seruloplasmina, vitelogenina, proteínas de coagulação do

sangue, fibrinogênio e protrombina, imunoglobulinas, lipoproteínas, além de outros hormônios e sinalizadores (NELSON e COX, 2011)

Alterações na concentração de proteínas totais plasmáticas podem estar associadas a períodos de inanição demasiadamente prolongados, a alterações no volume plasmático, resultantes do status de hidratação do animal (JOHNSON et al., 2006) ou com quadros de intoxicação devido à exposição a componentes tóxicos (ABDEL-TAWWAB et al., 2007). O aumento simultâneo entre concentração de proteínas totais plasmáticas e a atividade da enzima alanino aminotransferase plasmática já foi detectada em *Oreochromis niloticus* (ABDEL-TAWWAB et al., 2010), sugerindo a hipótese de que a maior concentração de proteínas plasmáticas podem estimular a deaminação dos aminoácidos.

γ –Glutamilttransferase

A γ —glutamilttransferase (GGT) está presente nas membranas celulares de diversos tecidos, sendo encontrada principalmente nas vias biliares, fígado e rins (MISSLBECK et al., 1986). O aumento da atividade hepática desta enzima foi relacionado com a diminuição da concentração da glutatona presente no tecido hepático de roedores, indicando que a GGT está diretamente envolvida na degradação da glutatona (MARTIN et al., 1988). A glutatona é uma enzima com alto potencial antioxidante, e a diminuição de sua atividade no tecido pode estar relacionado ao aumento na concentração de radicais livres, que podem levar degeneração celular. (ZHOU et al., 2014) . Assim, a dosagem da atividade plasmática da GGT pode ser utilizada no monitoramento das funções hepáticas, indicando prejuízos ao metabolismo hepático, que podem ser causados por obstruções nas vias biliares, inflamações e metástases (MISSLBECK et al., 1986).

III- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDEL-TAWWAB, M. et al. The use of calcium pre-exposure as a protective agent against environmental copper toxicity for juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). **Aquaculture**, v. 264, p. 236-246, 2007. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2006.12.020

ABDEL-TAWWAB, M. et al. Effect of dietary protein level, initial body weight, and their interaction on the growth, feed utilization, and physiological alterations of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). **Aquaculture**, v. 298, p. 267-274, 2010. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2009.10.027

ABIMORAD, E.G. et al. Dietary supplementation of lysine and/or methionine on performance, nitrogen retention and excretion in pacu *Piaractus mesopotamicus* reared in cages. **Aquaculture**, v. 295, p. 266-270, 2009. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2009.07.001

AMACHER, D.E. Serum transaminase elevations as indicators of hepatic injury following the administration of drugs. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**, v. 27, p. 119-130, 1997.

ANDERSON, J. et al. Effects of dietary carbohydrate and fibre on the tilapia *Oreochromis niloticus* (linn.). **Aquaculture**, v. 37, p. 303-314, 1984.

ANEMAET, I.G. et al. A novel alternatively spliced transcript of cytosolic alanine aminotransferase gene associated with enhanced gluconeogenesis in liver of *Sparus aurata*. **The International Journal of Biochemistry & Cell Biology**, v. 40, p. 2833-2844, 2008. DOI: 10.1016/j.biocel.2008.05.018

ASCHE, F. et al. Fair Enough? Food Security and the International Trade of Seafood. **World Development**, v. 67, p. 151-160, 2015. DOI: 10.1016/j.worlddev.2014.10.013

AZEVEDO, P.A. et al. Growth, nitrogen and energy utilization of juveniles from four salmonid species: diet, species and size effects. **Aquaculture**, v. 234, p. 393-414, 2004. DOI: 10.1016/j.aquaculture.-2004.01.004.

BAR, N. Physiological and hormonal changes during prolonged starvation in fish. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 71, p. 1447-1458, 2014. DOI:10.1139/cjfas-2013-0175

BJERKENG, B. e STOREBAKKEN, T. Cholesterol and short-chain fatty acids in diets for Atlantic salmon (*Salmo salar* (L.)): effects on growth, organ indices, macronutrient digestibility, and fatty acid composition. **Aquaculture Nutrition**, v. 5, p. 181-191, 1999.

BORGES, P. et al. High Dietary Lipid Level Is Associated with Persistent Hyperglycaemia and Downregulation of Muscle AktmTOR Pathway in Senegalese Sole (*Solea senegalensis*). **PLoS ONE**, v. 9 (7), e102196, 2014.

BRASIL, 2014. **Ministério do Meio Ambiente**. Portaria MMA, n° 445, de 17 de dezembro de 2014. “Lista Nacional Oficial de Espécies da Fauna Ameaçadas de Extinção - Peixes e Invertebrados Aquáticos”.

BUDDINGTON, R.K. et.al. Genetic and phenotypic adaptation of intestinal nutrient transport to diet in fish. **Journal of Physiology**, v. 393, p. 261-281, 1987.

CARDOSO, E.L. et al. Morphological changes in the gills of *Lophiosilurus alexandri* exposed to un-ionized ammonia. **Journal of Fish Biology**, v. 49, p. 778-787, 1996.

CERIOTTI, F. et al. Reference Intervals for Serum Creatinine Concentrations: Assessment of Available Data for Global Application. **Clinical Chemistry**, v. 54 (3), p. 559-566, 2008. DOI: 10.1373/clinchem.-2007.099648

CHO, C.Y. e KAUSHIK, S.J. Nutritional Energetics in Fish: Energy and Protein Utilization in Rainbow Trout (*Salmo gairdneri*). **World Review of Nutrition and Dietetics**, v. 61, p. 132-172, 1990.

CONCHA, M.I. et al. Local expression of apolipoprotein A-I gene and a possible role for HDL in primary defence in the carp skin. **Fish and Shellfish Immunology**, v. 14, p. 259-273, 2003. DOI:10.1006/fsim.2002.0435

COSTA, D.C. et al. Capture, adaptation and artificial control of reproduction of *Lophiosilurus alexandri*: A carnivorous freshwater species. **Animal Reproduction Science**, v. 159, p. 148-154, 2015. DOI: 10.1016/j.anireprosci.2015.06.009

COSTA, D.P. et al. Effects of temperature on growth, survival and physiological parameters in juveniles of *Lophiosilurus alexandri*, a carnivorous neotropical catfish. **Aquaculture Research**, v. 47, p. 706-1715, 2016.

DENG, J. et al. Improving the growth performance and cholesterol metabolism of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed soybean meal-based diets using dietary cholesterol supplementation. **British Journal of Nutrition**, v. 110, p. 29-39, 2013.

DETMANN, E. e VALADARES FILHO, S.C. On the estimation of non-fibrous carbohydrates in feeds and diets. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 62(4), p. 980-984, 2010.

DETMANN, E. **Fibra na nutrição de novilhas leiteiras**. In: PEREIRA, E.S.; PIMENTEL, P.G.; QUEIROZ, A.C. et al. (Eds). Novilhas leiteiras. Fortaleza: Graphiti, p.253-302, 2010.

DOS SANTOS, V.B. Aspectos morfológicos da musculatura lateral dos peixes. Boletim do Instituto de Pesca, v. 33 (1), p. 127-135, 2007.

DOS SANTOS, J.C.E. et al. Feeding frequency in pacamã larviculture. **Revista. Caatinga**, v. 29 (2), p. 512-518, 2016.

EI, Y.J. et al. Expression cloning of a mammalian próton-couple oligopeptide transporter. **Nature**, v. 368, p. 563-568, 1994.

FELIP, O. et al. Tracing metabolic routes of dietary carbohydrate and protein in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) using stable isotopes ([¹³C] starch and [¹⁵N] protein): effects of gelatinisation of starches and sustained swimming. **British Journal Nutrition**, v. 1 (7), p. 834-844, 2012. DOI: 10.1017/S0007114511003709

FIGUEIREDO, R.A.C.R. et al. Relação proteína:carboidrato no desempenho e metabolismo de juvenis de pacamã (*Lophiosilurus alexandri*). **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 66 (5), p. 1567-1576, 2014.

FIGUEIREDO-SILVA, A.C. et al. Macronutrient-induced differences in food intake relate with hepatic oxidative metabolism and hypothalamic regulatory neuropeptides in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Physiology & Behavior**, v. 106, p. 499-505, 2012. DOI: 10.1016/j.physbeh.-2012.03.027

FURUYA W.M. et al. **Tabelas brasileiras para a nutrição de tilápias**, GFM, Toledo, Brasil, v. 1, 100 p., 2010.

FURUYA, W.M. et al. Use of ideal protein concept for precision formulation of amino acid levels in fish-meal-free diets for juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). **Aquaculture Research**, v. 35, p. 1110-1116, 2004. DOI: 10.1111/j.1365-2109.2004.01133.x

GANAPATHY, V. et al. **Protein Digestion and Absorption**. In: Physiology of the Gastrointestinal Tract, 4 ed, Academic Press,, p.1667-1692, 2006.

GARDNER, M.L.G. 1984. Intestinal assimilation of intact peptides and proteins from the diet - a neglected field? **Biological Reviews**, v. 5 (9), p. 289-331, 1984.

GLENCROSS, B. et al. An analysis of the effects of different dietary macronutrient energy sources on the growth and energy partitioning by juvenile barramundi, *Lates calcarifer*, reveal a preference for protein-derived energy. **Aquaculture Nutrition**, v. 20, p. 583-594, 2014. DOI:10.1111/-anu.12111

GODFRAY, H.C.J. et al. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. **Science**, v. 327, p. 812-818, 2010.

GUO, X. et al. Effects of dietary non-protein energy source levels on growth performance, body composition and lipid metabolism in herbivorous

grass carp (*Ctenopharyngodon idella* Val.). **Aquaculture Research**, v. 46, p. 1197-1208, 2015. DOI: 10.1111/are.12275

HAIDAR, M.N. et al. The effect of type of carbohydrate (starch vs. nonstarch polysaccharides) nutrients digestibility, energy retention and maintenance requirements in Nile tilapia. **Aquaculture**, v. 463, p. 241-247, 2016. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2016.05.036

HALVER, J.E. e HARDY, R.W. **Fish Nutrition**. Amsterdam, AM, The Netherlands, 3 ed., 824 p., 2002.

HARTVIKSEN, M. et al. Evaluation of the effect of commercially available plant and animal protein sources in diets for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.): digestive and metabolic investigations. Fish **Journal of Physiology and Biochemistry**, v. 40, p. 1621-1637, 2014. DOI: 10.1007/s10695.-014.9953.4

HEMRE, G.I. e HANSEN, T. Utilisation of different dietary starch sources and tolerance to glucose loading in Atlantic salmon (*Salmo salar*), during parr smolt transformation. **Aquaculture**, v. 161, p. 145-157, 1998.

HU, H. et al. Intestinal fluid permeability in atlantic salmon (*Salmo salar* L.) is affected by dietary protein source. **PLoS ONE**, v. 11 (12), e0167515, 2016. DOI:10.1371/journal.pone.0167515

IOM (Institute of Medicine). **Nutrition and Traumatic Brain Injury: Improving Acute and Subacute Health Outcomes in Military Personnel**. Washington, DC: The National Academies Press., 444 p., 2011.

IP, Y.K. e CHEW, S.F. Ammonia production, excretion, toxicity, and defense in fish: a review. **Frontiers in Physiology. Aquatic Physiology**, v. 1, p 1-20, 2010. DOI: 10.3389/fphys.2010.00134

IP, Y.K. et al. Partial amino acid catabolism leading to the formation of alanine in *Periophthalmodon schlosseri* (mudskipper): a strategy that facilitates the use of amino acids as an energy source during locomotory activity on land. **Journal of Experimental Biology**, v. 204, p. 1615-1624, 2001.

JIANG, R. et al. Non-HDL Cholesterol and Apolipoprotein- B Predict Cardiovascular Disease Events Among Men With Type 2 Diabetes. **Diabetes Care**, v. 27, p. 1991-1997, 2004.

JOBLING, M. Fish nutrition research: past, present and future. **Aquaculture International**, v. 24, p. 767-786, 2016. DOI 10.1007/s10499-014-9875-2

JOHNSTON, I.A. Muscle development and growth: potential implications for flesh quality in fish. **Aquaculture**, v. 177, p. 99-115, 1999.

JOHNSON, L. R. et al. **Physiology of the gastrointestinal tract**. San Diego, California, USA, 4 ed, 1999 p., 2006.

KHAN, J.R. et al. Optimum temperatures for growth and feed conversion in cultured hapuku (*Polyprion oxygeneios*) — Is there a link to aerobic metabolic scope and final temperature preference? **Aquaculture**, v. 430, p. 107-113, 2014.

KITAGAWA, A.T. et al. Feeding behavior and the effect of photoperiod on the performance and hematological parameters of the pacamã catfish (*Lophiosilurus alexandri*). **Applied Animal Behaviour Science**, v. 171, p. 211-218, 2015. DOI: 10.1016/j.applanim.2015.08.025

KOJIMA, J.T. et al. Short periods of food restriction do not affect growth, survival or muscle development on pacu larvae. **Aquaculture**, v. 436, p. 137-142, 2015. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2014.11.004

KOPPAKA, V. Structural studies of discoidal lipoprotein A-I. **Cellular and Molecular Life Sciences**. v. 58, p. 885-893, 2001.

KROGDAHL, A. et al. Atlantic salmon (*Salmo salar*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) digest and metabolize nutrients differently. Effects of water salinity and dietary starch level. **Aquaculture**, v. 229, p. 335-360, 2004. DOI:10.1016/S0044-8486(03)00396-X

LI, P. et al. New developments in fish amino acid nutrition: towards functional and environmentally oriented aquafeeds. **Amino Acids**, v. 37, p. 43-53, 2009. DOI: 10.1007/s00726-008-0171-1

LUZ, R.K. et al. Effect of water flow rate and feed training on "pacamã" (Siluriforme: Pseudopimelodidae) juvenile production. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 63 (4), p. 973-979, 2011.

MARTIN, M.I. et al. Changes in hepatic and serum gamma-glutamyltransferase activities following chronic ethanol intake in rats. **Drug and Alcohol Dependence**, v. 21, p. 19-23, 1988.

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

MERTENS, D.R. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.80, p.1463-1481, 1997.

MISSLBECK, N.G. et al. Increase in hepatic gamma-glutamyltransferase (GGT) activity following chronic ethanol intake in combination with a high fat diet? **Biochemical Pharmacology**, v. 35 (3), p. 399-404, 1986.

MOMMSEN, T.P. Paradigms of growth in fish. **Comparative Biochemistry and Physiology. Part B**, v. 129Ž, p. 207-219, 2001.

MOON, T.W. Glucose intolerance in teleost fish: fact or fiction? **Comparative Biochemistry and Physiology. Part B**. v. 129, p. 243-249, 2001.

MORATA, P. et al. Hormonal effects on the liver glucose metabolism in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). **Comparative Biochemistry and Physiology**, v. 72B (4), p. 543-545, 1982.

MOTTA, V.T. **Bioquímica clínica: princípios e interpretações**. Porto Alegre: Editora Médica Missau, 1 ed., 388 p., 2000.

NAVARRO, I. et al. Insulin, insulin-like growth factor-I IGF-I. and glucagon: the evolution of their receptors. **Comparative Biochemistry and Physiology**, v. 122B, p. 137-153. 1999.

NELSON, D. L. e COX, M.M. **Princípios de bioquímica de Lehninger**. Porto Alegre: Artmed, 5 ed.1274 p., 2011.

NERICI, C. et al. Effect of two temperatures on ammonia excretion rates of *Seriola lalandi* (Palm fish) juveniles under rearing conditions. **Aquacultural Engineering**, v. 46, p. 47-52, 2011.

NORAMBUENA, F. et al. Fish Oil Replacement in Current Aquaculture Feed: Is Cholesterol a Hidden Treasure for Fish Nutrition? **PLoS One**, v. 8 (12), p. e81705, 2013. DOI:10.1371/journal.pone.0081705

NRC. National Research Council - **Nutrient requirements of fish and shrimp**, National Academy Press, Washington, DC, USA, 366 p., 2011

OLIVEIRA Jr, J. M. et al. Acidifier and nutrients digestibility in growing pigs **Ciência Animal Brasileira**, v. 18, p. e-23365, 2017. DOI: 10.1590-/10896891v18e-26365

OZER, J. et al. The current state of serum biomarkers of hepatotoxicity. **Toxicology**, v. 245, p. 194-205, 2008. DOI:10.1016/j.tox.2007.11.-021

PAMUNGKAS, W. The effectivity test of sheep rumen liquor enzyme added to palm kernel meal on its decrease of crude fiber and apparent digestibility coefficient for catfish *Pangasius hypophthalmus*. **Indonesian Aquaculture Journal**, v. 6 (2), p. 149-156, 2011.

PANZENBÖCK, U. et al. Oxidation of Methionine Residues to Methionine Sulfoxides Does Not Decrease Potential Antiatherogenic Properties of Apolipoprotein A-I. **The American Society for Biochemistry and Molecular Biology**, v. 275 (26), p. 19536-19544, 2000.

PERAGÓN, J. et al. Carbohydrates affect protein-turnover rates, growth, and nucleic acid content in the white muscle of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, v. 179, p. 425-437, 1999.

PERES, H. e OLIVA-TELES, A. Effect of dietary protein and lipid level on metabolic utilization of diets by european sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. **Fish Physiology and Biochemistry**, v. 25, p. 269-275, 2001.

PÉREZ-JIMÉNEZ, A. et al. Nutritional and metabolic responses in common dentex (*Dentex dentex*) fed on different types and levels of carbohydrates. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A**, v. 184, p. 56-64, 2015. DOI 10.1016/j.cbpa.2015.02.002

PINCINATO, R.B.M. e ASCHE, F. The development of Brazilian aquaculture: Introduced and native species. **Aquaculture Economics & Management**, v. 20 (3), p. 312-323, 2016. DOI: 10.1080/13657305.2016.-1177862

PLANAS, J.V. et al. Fish Insulin, IGF-I and IGF-II receptors: a phylogenetic approach. **American Zoologist**, v. 40, p. 223-233, 2000.

POLAKOF, S. e PANSERAT, S., 2016. How Tom Moon's research highlighted the question of glucose tolerance in carnivorous fish. **Comparative Biochemistry and Physiology Part B**, v. 199, p. 43-49, 2016. DOI: 10.1016/j.cbpb.2015.11.001

PORTELLA, M.C. et al. Larval development of indigenous South American freshwater fish species, with particular reference to pacu (*Piaractus mesopotamicus*): A review. **Aquaculture**, v. 432, p. 402-417, 2014. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2014.04.032

QIANG, A. J. et al. Temperature modulates hepatic carbohydrate metabolic enzyme activity and gene expression in juvenile GIFT tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed a carbohydrate-enriched diet. **Journal of Thermal Biology**, v. 40, p. 25-31, 2015. DOI: /10.1016/j.jtherbio.2013.-12.003

RAHIMNEJAD, S. et al. Effects of dietary protein and lipid levels on growth performance, feed utilization and body composition of juvenile hybrid grouper, *Epinephelus fuscoguttatus* × *E. lanceolatus*. **Aquaculture**, v. 446, p. 283-289, 2015. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2015.05.019

RAMAIAH, S.K. A toxicologist guide to the diagnostic interpretation of hepatic biochemical parameters. **Food and Chemical Toxicology**, v. 45, p. 1551-1557, 2007. DOI:10.1016/j.fct.2007.06.007

REN, M. et al. Effects of dietary carbohydrate source on growth performance, diet digestibility and liver glucose enzyme activity in blunt snout bream, *Megalobrama amblycephala*. **Aquaculture**, v. 438, p. 75-81, 2015. DOI: /10.1016/j.aquaculture.2015.01.008

SAINT-PAUL, U. Native fish species boosting Brazilian's aquaculture development. **Acta of Fisheries and Aquatic Resources**, v. 5(1), p. 1-9, 2017. DOI: 10.2312/ActaFish.2017.5.1.1-9

SALARO, A.L. et al. Gelatin in replacement of bovine heart in feed training of *Lophiosilurus alexandri* in different water salinities. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 87 (4), p. 2281-2287, 2015. DOI: 10.1590/0001-3765201520140575

SÁNCHEZ-MUROS, M.J. et al. Long-term nutritional effects on the primary liver and kidney metabolism in rainbow trout. Adaptive response to starvation and a high-protein, carbohydrate-free diet on glutamate dehydrogenase and alanine aminotransferase kinetics. **The International Journal of Biochemistry & Cell Biology**, v. 30, p. 55-63, 1998.

SANTOS, J.C.E. e LUZ, R.K. Effect of salinity and prey concentrations on *Pseudoplatystoma corruscans*, *Prochilodus costatus* and *Lophiosilurus alexandri* larviculture. **Aquaculture**, v. 287, p. 324-328, 2009. DOI:10.1016/j.aquaculture.2008.10.014

SARAVANAN, S. et al. Constraints on energy intake in fish: the link between diet composition, energy metabolism, and energy intake in rainbow

trout. **PLoS One**, v. 7 (4), p. e34743, 2012. DOI:10.1371/journal.pone.-0034743

SCHOLTEN, B.J.V. et al. Effect of large weight reductions on measured and estimated kidney function. **BMC Nephrology**, v. 18 (52), p. 2-7, 2017. DOI: 10.1186/s12882-017-0474-0

SCORVO-FILHO, J.D. et al. A tilapicultura e seus insumos, relações econômicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 112-118, 2010.

SILVA., W. S. et al. Frequência alimentar e taxa de arraçoamento durante o condicionamento alimentar de juvenis de pacamã. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49 (8), p. 648-651, 2014

SKOV, P.V. et al. The influence of ration size on energetics and nitrogen retention in tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, v. 473, p. 121-127, 2017. DOI: /10.1016/j.aquaculture.2017.02.007

SOUZA, M.G. et al. Exigência de proteína bruta para juvenis de pacamã. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 14 (2), p. 362-370, 2013

SOUZA, M.G. et al. Avaliação da exigência de proteína bruta para alevino de pacamã *Lophiosilurus alexandri* Steindachner, 1876. **Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9 (2), p. 264-268, 2014. DOI:10.5039/agraria.v9i2a3092

SUÁREZ, M.D. et al. Metabolic effects of changes in the dietary protein: carbohydrate ratio in eel (*Angilla anguilla*) and trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture International**, v. 10, p. 143-156, 2002.

SVEIER, H. et al. Growth and protein turnover in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) the effect of dietary protein level and protein particle size. **Aquaculture**, v. 185, p. 101-120, 2000.

TAKATA, R. et al. Effect of water temperature and prey concentrations on initial development of *Lophiosilurus alexandri* Steindachner, 1876

(Siluriformes: Pseudopimelodidae), a freshwater fish. **Neotropical Ichthyology**, v. 12(4), p. 853-859, 2014.

TENÓRIO, R.A. et al. Crescimento do niquim (*Lophiosilurus alexandri*, Steindachner 1876), em diferentes condições de luminosidade e tipos de alimento. **Acta Scientiarum. Biological Science**, v. 28 (4), p. 305-309, 2006.

THOMAS, P. e ROBERTSON, L. Plasma cortisol and glucose stress responses of red drum (*Sciaenops ocellatus*) to handling and shallow water stressors and anesthesia with MS-222, quinaldine sulfate and metomidate. **Aquaculture**, v. 96, p. 69-86, 1991.

TOLEDO, R.C.L. et al. Efeito da ingestão da polpa de manga (*Mangifera indica* L.) sobre os parâmetros bioquímicos séricos e integridade hepática em ratos. **Bioscience Journal**, v. 29 (2), p. 516-525, 2013.

URBINATI, E.C. et al. Short-term cycles of feed deprivation and refeeding promote full compensatory growth in the Amazon fish matrinxã (*Brycon amazonicus*). **Aquaculture**, v. 433, p. 430-433, 2014. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2014.06.030

VAN SOEST, P.J. Symposium on factors influencing the voluntary intake in relation to chemical composition and digestibility. **Journal of Animal Science**, v. 24, p. 834-843, 1965.

VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal Dairy Science**, v. 74, p. 3583-3587, 1991.

VIEIRA, R. **Fundamentos de Bioquímica**, v. 1, 147 p., 2003

VILLARROEL, F. et al. Apolipoprotein A-I, an antimicrobial protein in *Oncorhynchus mykiss*: Evaluation of its expression in primary defence barriers and plasma levels in sick and healthy fish. **Fish and Shellfish Immunology**, v. 23, p. 197-209, 2007. DOI:10.1016/j.fsi.2006.10.008

WILSON, R.P. Utilization of dietary carbohydrate by fish. **Aquaculture**, v. 124, p. 67-80, 1994.

WRIGHT J.R. et al. GLUT-4 deficiency and severe peripheral resistance to insulin in the teleost fish tilapia. **General and Comparative Endocrinology**, v. 111, p. 20-27, 1998.

WRÓBLEWSKI, F., The Clinical Significance of Transaminase Activities of Serum. **American Journal of Medicine**, v.1, p. 911-923, 1959.

WYSS, M. e KADDURAH-DAOUK, R. Creatine and Creatinine Metabolism. **Physical Reviews**, v. 80 (3), p. 1107-1213, 2000.

ZHANG, Y. et al. Effects of dietary protein and lipid levels on growth, body and plasma biochemical composition and selective gene expression in liver of hybrid snakehead (*Channa maculata* ♀ × *Channa argus* ♂) fingerlings. **Aquaculture**, v. 468, p. 1–9, 2017. DOI:10.1016/j.aquaculture.-2016.09.052

ZHOU, C. et al. Effect of dietary carbohydrate on non-specific immune response, hepatic antioxidative abilities and disease resistance of juvenile golden pompano (*Trachinotus ovatus*). **Fish and Shellfish Immunology**, v. 41, p. 183-190, 2014. DOI: 10.1016/j.fsi.2014.08.024

IV – CRESCENTES RELAÇÕES PROTEÍNA BRUTA/CARBOIDRATOS NÃO FIBROSOS EM DIETAS PARA JUVENIS DE PACAMÃ (*Lophiosilurus alexandri*).

RESUMO

Com esta pesquisa objetivou-se avaliar diferentes relações de proteína bruta/carboidratos não fibrosos (PB/CNF) sobre o desempenho produtivo e eficiência de utilização dos nutrientes de juvenis de pacamã (*Lophiosilurus alexandri*). Foram desenvolvidos dois ensaios consecutivos, sendo o primeiro em delineamento inteiramente casualizado com quatro tratamentos e três repetições, e o segundo em esquema quadrado latino (4X4). Em ambos os ensaios os tratamentos constaram de dietas isoenergéticas ($4573 \pm 33 \text{ kcal Kg}^{-1}$) com relações PB/CNF de: 0,78; 1,02; 1,26 e 1,60, diferindo apenas na adição 0,1 % óxido de cromo III, como marcador das dietas utilizadas no segundo ensaio. Relações estimadas entre 1,10-1,37 PB/CNF foram as que resultaram no melhor desempenho produtivo de juvenis de pacamã, como evidenciado pelo maior ganho de peso (GP) e taxa de crescimento específico (TCE) e melhor conversão alimentar (CA). As correlações positivas entre GP e TCE com a frequência de fibras musculares com diâmetro maior que 50 μm (FMG) mostram que o aumento de ganho de peso ocorreu principalmente devido à hipertrofia das fibras musculares. Relações PB/CNF adequadas proporcionaram maior concentração de glicogênio, proteínas e lipídios totais no tecido muscular; os quais foram fundamentais para estimular a deposição proteica, hipertrofia das fibras musculares e crescimento dos juvenis de pacamã. O pior desempenho produtivo e pior eficiência de utilização dos nutrientes observados para os peixes alimentados com a dieta 0,78 PB/CNF devem estar relacionados com a baixa digestibilidade dos carboidratos não fibrosos pelo pacamã e a redução na digestibilidade da proteína, energia e gordura bruta das dietas. A obtenção de energia através de aminoácidos mostra-se mais ineficiente do que de carboidratos não fibrosos, sendo que o excesso de proteína na dieta promoveu queda no desempenho produtivo, sobrecarga do tecido hepático, hiperlipidemia e insuficiência renal nos juvenis de pacamã. Portanto, recomenda-se a utilização de relações PB/CNF de 1,10-1,37 na dieta de juvenis de pacamã, por potencializar o desempenho dos animais, sem prejudicar a saúde dos mesmos.

IV – IMPROVING CRUDE PROTEIN/NON-FIBER CARBOHYDRATE RATIOS ON PACAMÃ JUVENILE DIET (*Lophiosilurus alexandri*).

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate different crude protein/non-fibrous carbohydrate (CP/NFC) ratios on the productive performance and nutrient utilization efficiency of pacamã (*Lophiosilurus alexandri*) juveniles. Two consecutive trials were carried out, the first one in a completely randomized design with four treatments and three replicates, and the second trial was conducted in a Latin square scheme (4X4), on which the coefficients of apparent digestibility of the diets were evaluated. In both trials the treatments consisted of isoenergetic diets (4573 ± 33 Kcal. Kg⁻¹), which differed CP/NFC ratios (0.78, 1.02, 1.26 and 1.60), differing only in the addition of 0.1 % chromium oxide III in the diets used during the second trial. The positive correlations between WG and SGR with the frequency of muscle fibers with diameter larger than 50 μ m (FMG) show that the weight gain occurred mainly due to hypertrophy of the muscle fibers. Adequate CP/NFC ratio in the diets provided higher glycogen, total proteins and total lipids concentration in the muscle tissue, which were positively correlated with muscle fiber hypertrophy, and with the growth of the pacamã juveniles. The worst productive performance and lower nutrient utilization efficiency observed for fish fed with the 0.78 CP/NFC diet should be related to low digestibility of non-fibrous carbohydrates by pacamã. The lower CP/NFC ratios also had the lowest digestibility coefficients of protein, energy and crude fat. Obtaining energy through amino acids is shown to be less efficient than through non-fibrous carbohydrates, and the excess of dietary protein promoted a decrease in productive performance, hepatic tissue overload, hyperlipidemia and renal insufficiency in pacamã juveniles. Therefore, the use of CP/NFC relations between 1.10 and 1.37 is recommended for pacamã juveniles for optimizing the performance of the animals without harming their health.

INTRODUÇÃO

A tendência mundial de substituição da farinha de peixe por proteínas vegetais (SEILIEZ et al., 2010; HU et al., 2016; HAIDAR et al., 2016), faz com que as dietas atualmente utilizadas na aquicultura apresentem elevados teores de carboidratos (FELIP et al., 2012; CASTRO et al., 2016). Os carboidratos representam a fonte mais barata de energia em dietas utilizadas na nutrição animal (NRC, 2011), quando comparados a proteínas e lipídios. Embora haja limitações no aproveitamento de carboidratos como fonte de energia em alguns teleósteos (MOON, 2001), a inclusão de níveis adequados em dietas para peixes pode maximizar o desempenho (PÉREZ-JIMÉNEZ et al., 2015), reduzir o custo da dieta (WILSON, 1994), diminuir a excreção de amônia (IP e CHEW, 2010) e consequentemente o potencial poluidor dos efluentes gerados pela piscicultura.

A quantidade de carboidratos tolerada por cada espécie está diretamente relacionada com o hábito alimentar (HARTVIKSEN et al., 2014; CONDE-SIEIRA et al., 2015). Espécies carnívoras são menos tolerantes a altos níveis de carboidratos e mais exigentes em proteína do que espécies herbívoras e onívoras. Problemas como produção limitada de enzimas digestivas (HUA E BUREAU, 2009), baixa velocidade de absorção de glicose (BUDDINGTON et al., 1987), hiperglicemia, seguida ou não de hiperinsulinemia (MOON, 2001), e alterações nos mecanismos de gliconeogênese e lipogênese (KIRCHNER et al., 2005; CONDE-SIEIRA et al., 2015), podem ser evidenciados quando níveis inadequados de carboidratos são fornecidos para determinadas espécies carnívoras. A susceptibilidade dos carboidratos aos processos de digestão enzimática, fermentação bacteriana e seus efeitos na fisiologia do animal também variam com nível de inclusão (SUÁREZ et al., 2002; PÉREZ-JIMÉNEZ et al., 2015), processamento (FELIP et al., 2012), e tipo de carboidrato presente na dieta (HAIDAR et al., 2016), assim como na fase de desenvolvimento do animal (BUDDINGTON et al., 1987).

Dentre as espécies carnívoras, o pacamã, *Lophiosilurus alexandri*, bagre endêmico do rio São Francisco (TENÓRIO et al., 2006), siluriforme, de comportamento sedentário, que apresenta excelente potencial de crescimento (CARDOSO et al., 1996), tem se destacado. Esta espécie

possui facilidade para aceitar dietas processadas, desde que condicionada (LUZ et al., 2011; SALARO et al., 2015). Embora apresente hábito alimentar noturno, o pacamã possui plasticidade de se adaptar a outros horários de alimentação (KITAGAWA et al., 2015). Diversos autores têm trabalhado com a reprodução (COSTA et al., 2015, FILHO et al., 2016), fases iniciais de desenvolvimento (PEDREIRA et al., 2008, MARTINS et al., 2014, CORDEIRO et al., 2016) e exigências de proteína bruta para alevinos de pacamã (SOUZA et al., 2013; SOUZA et al., 2014). Alguns estudos destinaram-se a determinar a faixa de temperatura ideal (TAKATA et al., 2014, COSTA et al., 2016) e fatores ambientais que podem interferir no desenvolvimento desta espécie (COSTA et al., 2017). Toda via, os conhecimentos a respeito das exigências nutricionais, metabolismo e fisiologia desta espécie ainda são incipientes. O cultivo de novas espécies exige uma compreensão adequada de aspectos nutricionais, fisiológicos e comportamentais, que afetam a eficiência de produção e a saúde do peixe, consequentemente, a viabilização e sustentabilidade na criação (KHAN, 2014; JOBLING et al., 2016).

Portanto, a formulação de dietas com maior conteúdo de carboidratos, e menor teor de proteína implica não só em benefícios econômicos, mas também ambientais, devido ao efeito poupador da proteína, que leva à diminuição da excreção de nitrogênio pelos peixes (WILSON, 1994; SEVGILI et al., 2012; SKOV et al., 2017). Assim, com este estudo objetivou-se avaliar o desempenho produtivo e a eficiência de utilização dos nutrientes de juvenis de pacamã alimentados com dietas contendo crescentes relações Proteína Bruta/Carboidratos não fibrosos (PB/CNF).

MATERIAL E MÉTODOS

Foram desenvolvidos dois ensaios experimentais. No primeiro ensaio avaliou-se o desempenho produtivo, composição corporal, histomorfometria e variáveis metabólicas do fígado e músculo, e variáveis plasmáticas dos juvenis de pacamã. Os coeficientes de digestibilidade aparente das dietas foram determinados no segundo ensaio experimental.

Os ensaios experimentais foram realizados nos Laboratórios de Nutrição de Peixes I e de Reprodução e Digestibilidade de Peixes do Setor de Piscicultura do Departamento de Biologia Animal da Universidade Federal

de Viçosa (UFV), Viçosa (Latitude: 20° 45' 14" S, Longitude: 42° 52' 55" W, Altitude: 648m), Minas Gerais, Brasil. E aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais de Produção da Universidade Federal de Viçosa CEUAp/UFV, processo nº 41/2016, 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.

Primeiro ensaio:

Delineamento e Dietas experimentais

Foi utilizado delineamento inteiramente casualizado com quatro tratamentos e três repatições. Os tratamentos foram compostos por dietas isoenergéticas e isolipídicas contendo crescentes relações de proteína bruta/carboidratos não fibrosos (PB/CNF): 0,78; 1,02; 1,26 e 1,60. A relação proteína animal/proteína vegetal (0,94), assim como o percentual de lisina (5,55 %) e metionina (2,55 %) em relação à proteína dietética, foram mantidos constantes (Tabela 01).

Para a confecção das dietas experimentais os macroingredientes foram moídos em moinho de martelo e misturados aos microingredientes e ao óleo. Em seguida foram adicionados 30 % do peso da mistura de água (50°C). As dietas experimentais foram peletizadas em moedor de carne convencional (FILIZOLA®, P-22, SP, Brasil), secas em estufa de ventilação forçada (MARCONI®, MA 035, SP, Brasil) a 50°C, por 24 horas. Após a peletização as dietas foram trituradas em moinho manual e peneiradas, para a obtenção de peletes com cinco milímetros de diâmetro.

Amostras das dietas experimentais foram analisadas em relação ao teor de matéria seca (MS) pelo método oficial. 934.01, proteína bruta (PB) pelo método oficial. 976.05, matéria mineral (MM) pelo método oficial 942.05, teor de cálcio (Ca) pelo método oficial 935.13 e o teor de fósforo (P) pelo método oficial. 968.08. Os métodos oficiais utilizados para as análises seguiram a AOAC, 2005. O teor de gordura bruta (GB) foi obtido pelo método oficial Am 5-04 (AOCS, 2005). A energia bruta das dietas foi obtida em bomba calorimétrica (IKA®, C5003 control, Werke, Alemanha) (Tabela 01).

Tabela 1. Composição percentual e bromatológica das dietas contendo crescentes relações PB/CNF utilizadas na alimentação de juvenis de pacamã (*Lophiosilurus alexandri*).

Ingredientes (%)	PB/CNF			
	0,78	1,02	1,26	1,60
Farelo de Soja	20,50	22,70	25,00	32,00
Glúten de Milho	2,60	4,70	8,60	8,70
Farinha de Peixe	13,00	15,30	17,00	19,00
Farinha de Carne	13,50	15,00	17,00	19,00
Fubá de Milho	6,43	5,20	5,00	4,30
Amido de Milho	16,10	10,57	9,34	5,98
Farelo de Trigo	19,00	19,00	10,10	3,00
Óleo de Soja	3,00	2,25	1,90	1,80
Caulin	2,00	2,00	2,00	2,00
Celulose	1,15	0,95	1,74	2,00
L-Lisina	0,41	0,50	0,60	0,60
DL-Metionina	0,36	0,40	0,43	0,50
Calcário	0,32	0,31	0,17	0,00
Sal comum	0,60	0,60	0,60	0,60
Premix vit/mineral ¹	0,50	0,50	0,50	0,50
BHT	0,02	0,02	0,02	0,02
Composição				
MS ² (%)	93,8	93,4	92,7	93,3
EB ² (kcal. kg ⁻¹)	4545	4613	4589	4547
PB ² (%)	29,5	34,3	38,0	41,4
CNF ³ (%)	37,7	33,4	30,0	25,8
GB ² (%)	12,3	11,5	11,9	11,2
MM ² (%)	13,5	12,5	14,6	15,6
FDN ² (%)	16,2	16,8	16,0	15,0
PIDN ² (%)	4,3	4,9	5,3	5,5
CIDN ² (%)	3,2	3,2	4,2	4,0
FDNcp ² (%)	8,7	8,6	6,4	5,4
Ca ² (%)	2,7	2,8	3,3	3,5
P ² (%)	1,3	1,4	1,6	1,6
Relação CA/P ³	2,10	2,00	2,09	2,10
PB/CNF ³	0,78	1,02	1,26	1,60
EB/PB ³	154,0	134,3	120,6	109,7
PB Animal/ PB vegetal ⁴	0,94	0,94	0,94	0,94
%Metionina da Proteína ⁴	2,53	2,54	2,55	2,56
% Lisina da Proteína ⁴	5,56	5,57	5,57	5,57

¹ Níveis 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; Ferro: 10.000mg; Cobre: 6.000mg; Manganês: 4.000mg; Zinco: 6.000mg; Iodo: 20mg; Cobalto: 2mg; Selênio: 20mg.

MS (Matéria seca); EB (Energia bruta); PB (Proteína bruta); GB (Gordura bruta); MM (Matéria mineral); Ca (Cálcio total); P (Fósforo total); CNF (Carboidratos não fibrosos); FDN (Fibra insolúvel em detergente neutro); PIDN (Proteína insolúvel em detergente neutro); CIDN (Cinzas insolúveis em detergente neutro); FDNcp (Fibra insolúvel em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína); PB/CNF. Proteína bruta/Carboidratos não fibrosos. EB/PB. Energia bruta/Proteína bruta. ² Análises bromatológicas realizadas em duplicatas no Laboratório de Análise de Alimentos do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa. ³ Relação calculada com base na composição bromatológica analisada.

⁴ Relação calculada com base na composição de ingredientes das dietas, segundo Furuya (2010).

Foi realizado o desengorduramento parcial das dietas experimentais pelo método oficial. 945.16 (AOAC, 2005), com modificações no tempo de extração para 4 horas, para a determinação da fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) segundo Van Soast (1991), sem a adição de sulfito de sódio. Após a obtenção da FDN foi realizada a correção para o conteúdo de cinzas insolúveis em detergente neutro (CIDN) e proteína insolúvel em detergente neutro (PIDN), retidos no resíduo fibroso (FDN_{cp}), conforme descrito por Detmann e Valadares Filho (2010). O conteúdo de carboidratos não fibrosos foi obtido através da equação proposta por Mertens (1997), utilizando a correção para os contaminantes minerais e proteicos do resíduo fibroso (FDN_{cp}), segundo a fórmula:

$$\% CNF = 100 - \%PB - \%GB - \%FDN_{cp} - \%MM$$

CNF: Carboidratos não fibrosos; PB: Proteína bruta; GB: Gordura bruta; FDN_{cp}: Fibra insolúvel em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína; MM: Matéria mineral

Peixes e condições experimentais

Juvenis de pacamã ($30,89 \pm 0,29\text{g}$) foram distribuídos em 12 aquários circulares (60L), na densidade de cinco peixes/aquários. Os aquários foram mantidos em sistema de recirculação de água (1,5 litros/min), dotados de filtragem mecânica, biológica e ultravioleta, além de aeração constante através de soprador central ligados a mangueiras (2 mm) com pedra porosa acoplada. Os aquários foram cobertos com tela de nylon branca e o laboratório mantido em fotoperíodo de 12 horas por lâmpadas incandescentes com potência de 100 watts, conectadas a um timer analógico. Cada aquário foi considerado uma unidade experimental.

A temperatura da água foi mantida em $27,9 \pm 0,52^{\circ}\text{C}$ por meio de aquecedores de 100 Watts acoplados a termostato analógico (SHIRUBA[®], H800, China), compatível com a faixa de conforto determinada para a espécie (COSTA et al., 2016). A temperatura e o oxigênio dissolvido ($5,79 \pm 0,39 \text{ mg L}^{-1}$) foram mensurados antes de cada arraçoamento utilizando-se analisador automático de oxigênio (YSI[®], 550, EUA). Semanalmente, a

amônia tóxica ($0,023 \pm 0,01 \mu\text{g/L}$) e o nitrito ($0,18 \pm 0,05 \text{ mg/L}$) foram mensurados por meio de kits de análise LABCON® (Camboriú, SC, Brasil) e o pH ($7,1 \pm 0,16$) por meio de pHmetro (KASVI®, K39-0014P, China).

Alimentação dos peixes

Antecedendo o período experimental, os peixes foram adaptados às condições experimentais e alimentados com a dieta contendo 0,78 PB/CNF por 15 dias. Os peixes foram arraçoados diariamente com a quantidade equivalente a 5 % da sua biomassa, dividida em duas alimentações (8:00 e 18:00 horas). Os aquários foram sifonados 30 minutos antes de cada alimentação para retirada de fezes e 10 minutos após, para retirada de eventuais sobras. As sobras foram secas e pesadas para correção do consumo.

Paralelamente realizou-se o ensaio de lixiviação ($n = 15$) das dietas contendo crescentes relações de PB/CNF para a determinação da recuperação da matéria seca e cálculo do consumo pelos peixes, conforme metodologia proposta por Helland et al. (1996).

Desempenho produtivo

Após 75 dias experimentais, os juvenis de pacamã foram submetidos a jejum de 24 horas e em seguida eutanasiados em solução de eugenol (300 mg L^{-1}). Os peixes foram contados e pesados individualmente em balança analítica (Toledo®, MB45 (0,01g), Brasi) para os cálculos de sobrevivência (SO), ganho de peso (GP) e taxas de crescimento específico (TCE) e taxa de eficiência proteica (TEP). Em seguida, os peixes foram eviscerados para obtenção do rendimento de carcaça (RC). O fígado foi pesado para o cálculo do índice hepatossomático (IHS) e os demais órgãos para o índice viscerossomático (IVS).

Composição Corporal

As carcaças dos peixes dos diferentes tratamentos foram moídas em moedor de carne convencional (FILIZOLA®, P-22, SP, Brasil), secas em estufa de ventilação forçada (MARCONI®, MA035, Brasil), a 60° C , por 24 horas. As amostras foram processadas em moinho de bola para obtenção de material homogêneo. Os teores de proteína bruta (PBC), energia bruta

(EBC), gordura bruta (GNC), matéria mineral (MMC), cálcio (CaC) e fósforo total (PoC) das carcaças foram analisadas segundo as mesmas metodologias descritas para as análises das dietas experimentais. As vísceras foram coletadas e secas em estufa de ventilação forçada (MARCONI®, MA 035, Brasil), a 60° C, por 24 horas para a determinação da matéria seca (MSV), e porcentagem de gordura visceral (GV), através do método de extração Soxhlet, utilizando éter de petróleo (método oficial 945.16, AOAC 2005), modificada no tempo de extração para 24 horas, em função do maior volume de amostra.

*Variáveis metabólicas dos tecidos hepáticos e muscular:
Glicogênio, Proteína total solúvel e lipídios totais.*

Para a determinação do glicogênio, proteína total solúvel e lipídios totais dos tecidos hepático e muscular foram utilizados três peixes por unidade experimental (n=9).

Para a determinação do glicogênio hepático e muscular, utilizou-se metodologia proposta por Van Handel (1965). Amostras de 150 mg de tecido, foram colocadas separadamente em tubos de ensaio cônicos contendo KOH 30 %. Após 20h os tecidos foram hidrolisados em banho-maria por uma hora. Em seguida acrescentaram-se cinco gotas de Na₂SO₄ saturado e 9,0 mL de álcool absoluto (99,9 %), em duas etapas. Os tubos foram então aquecidos (15 s) e centrifugados (2000 rpm/10 min), sendo descartado o sobrenadante, e adicionado ao precipitado 5 mL de água destilada. A solução contendo o glicogênio foi transferida para uma proveta e completada para 10 mL com água destilada. Para a leitura da solução acrescentou-se o reagente de ANTRONA à alicota da amostra, sendo que a leitura foi realizada dez minutos após o início da reação, em espectrofotômetro com comprimento de onda de 620 µm.

Para determinação da proteína total solúvel, adotou-se a metodologia de Lowry et al. (1951), na qual amostras de 150 mg de tecido (hepático e muscular) foram homogeneizadas separadamente em tampão fosfato com EDTA (pH 7,4), e a suspensão centrifugada (12000 rpm à 4 °C por 10 minutos). A dosagem da proteína total foi realizada no sobrenadante dos homogenatos dos tecidos, sendo a diluição realizada em tampão fosfato (pH 7,0). As leituras foram realizadas em espectrofotômetro com comprimento

de onda de 700 nm, utilizando-se albumina de soro bovino para obtenção da curva padrão, sendo os resultados expressos em mg/ml.

Para a determinação dos lipídios totais, 200 mg dos tecidos hepático e muscular foram coletados e homogeneizados separadamente em 25 ml de solução clorofórmio-metanol (2:1). Após a adição de solução fisiológica (0.9% NaCl), as amostras permaneceram 30 min em geladeira para separação das fases. O sobrenadante foi coletado com o auxílio de uma bomba de vácuo e uma alíquota da fase clorofórmica (10 mL) foi utilizada para determinação dos lipídios totais pelo método gravimétrico (FOLCH et al., 1957).

Histomorfometria dos tecidos hepático e muscular

Para a análise histomorfométrica do tecido hepático, amostras do fígado de três peixes de cada unidade experimental (n = 9) foram coletadas e fixadas em solução formalina tamponada (10 %), por um período de 24 horas e em seguida transferidas para álcool 70 %. O material coletado foi desidratado em séries crescentes de álcool etílico, sendo posteriormente incluídos em glicol metacrilato (Historesin®, Leica, São Paulo, Brasil). Cortes transversais semisseriados (1-10) de três micrômetros de espessura foram obtidos com o auxílio de micrótomo com navalhas de vidro. Os cortes foram montados em lâminas de vidro e corados com azul de toluidina.

As lâminas de tecido hepático foram fotodocumentadas por câmera (Olympus® DP73, São Paulo, Brasil) acoplada em um fotomicroscópio com objetiva de 20X (Olympus® BX53, São Paulo, Brasil). As fotomicrografias foram sobrepostas em grade contendo 266 pontos de interseção, onde procedeu-se a contagem dos núcleos, capilares sinusóides e citossol. Em seguida foi calculada a proporção de cada estrutura presente no tecido hepático. Foram avaliados 2128 pontos por peixe. Para a determinação do diâmetro nuclear mediu-se 100 núcleos por animal. As análises foram realizadas utilizando-se o pacote de análise de imagens ImagePro-Plus®.

Para a análise do crescimento muscular foi retirada uma amostra do músculo próximo à inserção da nadadeira dorsal de três peixes por unidade experimental. Todas as amostras foram fixadas em solução formalina tamponada (10 %), por um período de 24 horas e em seguida

permaneceram em álcool 70 %. A preparação do material para a inclusão consistiu em desidratação com séries crescentes de álcool etílico, sendo posteriormente incluídos em glicol metacrilato (Historesin[®], Leica, São Pulo, Brasil). Durante a inclusão do material as fibras musculares foram orientadas no sentido transversal. Cortes transversais semisseriados (1-10), de três µm de espessura foram obtidos com o auxílio de micrótomo com navalhas de vidro. Os cortes foram montados em lâminas de vidro e corados com azul de toluidina. As lâminas histológicas foram fotodocumentadas com objetiva de 10X em fotomicroscópio (Olympus[®] BX53, São Paulo, Brasil) com câmera acoplada (Olympus[®] DP73, São Paulo, Brasil). As fibras foram analisadas pelo pacote de análise de imagens ImagePro-Plus[®], onde foi determinado o diâmetro médio de 200 fibras musculares por animal, conforme proposto por Almeida et al. (2008). A frequência de fibras de menor diâmetro está correlacionada com mecanismos de hiperplasia, ou seja, o aumento em número de fibras musculares. Já as fibras de maior diâmetro estão correlacionadas com a hipertrofia, ou seja, aumento no volume das fibras musculares. Para a obtenção da frequência das fibras musculares, estas foram agrudas em três classes de tamanho: miofibrilas pequenas (< 20 µm) (FMP), médias (20 a 50 µm) (FMM), e grandes (> 50 µm) (FMG).

Variáveis plasmáticas

Para a análise dos parâmetros bioquímicos plasmáticos, foram avaliados três peixes por unidade experimental (n = 9). Após a eutanásia, amostras de sangue foram coletadas por meio do corte da nadadeira caudal, com auxílio de uma seringa heparinizada. O plasma foi obtido por centrifugação (10000 rpm por 15 min a 4°C) para avaliação dos teores de colesterol total (CT), lipoproteínas de alta densidade (HDL), triglicerídeos totais (TRIG), glicose (GLIC), proteínas totais (PTP), creatinina (CREA) e a atividade das enzimas aspartato aminotransferase (AST), alanina aminotransferase (ALT) e γ –glutamilttransferase (GGT). A determinação de todos os parâmetros bioquímicos plasmáticos foi realizada utilizando kits comerciais Bioclin[®] (Quibasa - Química Básica, Belo Horizonte, MG, Brasil), em analisador automático de bioquímica (BS200, MINDRAY[®]), seguindo as especificações do fabricante.

A fração do colesterol não-HDL (NHDL) é composta pela estimativa do número total de partículas aterogênicas no plasma (VLDL + IDL + LDL), a qual foi obtida através da fórmula proposta por Jiang et al. (2004):

$$\text{Colesterol não-HDL} = \text{Colesterol Total} - \text{HDL}.$$

Análises Estatísticas

Os dados foram avaliados pelo teste de Shapiro-WILK para verificar a normalidade dos dados. Em seguida os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e quando apresentado diferença ($P < 0,05$), foi realizada análise de regressão polinomial. Para a realização das análises estatística utilizou-se o software R versão 3.3.2. Para a escolha das equações, adotou-se aquela com maior valor do coeficiente de determinação (R^2). O coeficiente de correlação de Pearson e seu respectivo p-valor foram calculados para determinar a relação entre as variáveis que apresentaram efeito significativo das dietas.

Segundo ensaio:

Delineamento e dietas experimentais

Utilizou-se delineamento em esquema quadrado latino (4X4). Cada período experimental teve duração de sete dias, sendo os três primeiros dias de adaptação as dietas, e os quatro dias seguintes para realização das coletas de fezes. As dietas seguiram a mesma formulação das dietas do primeiro ensaio, diferindo apenas na adição de 0,1 % de óxido de cromo III.

Peixes e condições experimentais

Pacamãs ($381,19 \pm 81,05$ g) foram distribuídos em quatro aquários de fundo cônico, com 220 litros, acoplados com sistema coletor tipo Guelph e registro de bola, na densidade de oito animais por aquário. Com auxílio de caixas isopor os coletores de fezes permaneciam imersos em gelo fundente (4°C), até o momento da coleta. Os aquários continham aeração constante. O laboratório foi mantido em fotoperíodo de 12 horas por lâmpadas incandescentes com potência de 100 watts conectadas a um timer analógico.

A temperatura da água foi mantida em $27,7 \pm 0,29^\circ\text{C}$ por meio de aquecedores de 100 Watts acoplados a termostato analógico (SHIRUBA[®],

H800, China). A temperatura e o oxigênio dissolvido ($5,59 \pm 0,46 \text{ mg L}^{-1}$) foram mensurados antes de cada arraçoamento utilizando-se analisador automático de oxigênio (YSI®, 550, EUA). A amônia tóxica ($0,015 \pm 0,03 \text{ mg L}^{-1}$) e o nitrito ($0,03 \pm 0,05 \text{ mg L}^{-1}$), foram mensurados por meio de kits de análise LABCON® (Camboriú, SC, Brasil) e o pH ($6,9 \pm 0,01$) por meio de pHmetro (KASVI®, K39-0014P, China).

Alimentação dos peixes e Coleta de fezes

Os peixes foram alimentados ad libitum nos horários de 8:00 e 20:00hs. Quinze minutos após cada alimentação todas as unidades experimentais foram higienizadas e em seguida 2/3 da água era trocado, para retirada de eventuais sobras das dietas, e o sistema de coleta de fezes remontado. As fezes foram coletadas as 8:00, 12:00, 16:00 e 20:00 horas e acondicionadas em freezer -20°C .

Determinação da digestibilidade aparente

Para a determinação do coeficiente de digestibilidade aparente das dietas experimentais seguiu-se metodologias propostas por Satoh et al. (1992). Os coeficientes de digestibilidade aparente da matéria seca (DMS), proteína bruta (DPB), gordura bruta (DGB), fibra insolúvel em detergente neutro (DFDN), proteína insolúvel em detergente neutro (DPIDN), cinzas insolúveis em detergente neutro (DCIDN); fibra insolúvel em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína (DFDNcp), matéria mineral (DMM), e energia bruta (DEB) foram determinados com base nas concentrações de óxido de cromo III (1.0 g kg^{-1}) utilizado como indicador inerte. O coeficiente de digestibilidade dos carboidratos não fibrosos foi obtido através do cálculo do conteúdo de carboidratos não fibrosos, seguindo a mesma metodologia utilizada para as dietas experimentais. O coeficiente de digestibilidade aparente foi obtido segundo a fórmula:

$$\text{CDA} = 100 - 100 \times \left(\frac{\% \text{Cr}_2\text{O}_3 \text{ na dieta}}{\% \text{Cr}_2\text{O}_3 \text{ nas fezes}} \right) \times \left(\frac{\% \text{ nutriente ou energia na dieta}}{\% \text{ nutriente ou energia nas fezes}} \right)$$

CDA = Coeficiente de digestibilidade aparente

As amostras de fezes passaram pelo processo de desidratação parcial, sendo levadas para estufa de ventilação forçada (MARCONI®, MA035, Brasil), a 50° C, por 24 horas. Todas as análises bromatológicas foram analisadas seguindo as mesmas metodologias utilizadas determinação da composição das dietas experimentais do primeiro ensaio. A solução mineral para a leitura da concentração de cromo, foi obtida através de digestão nitro-perclórica (2:1) adicionado de molibdato de sódio, a 200°C por 2 horas, o teor de cromo foi determinado através da leitura de espectrofotometria de absorção atômica com chama (GBC, Avanta Σ, EVISA®, Europa), segundo o método oficial 974.27 (AOAC 2005). A determinação da gordura bruta das fezes foi determinada pelo Método Randall ((método oficial 2003.05.4), uma vez que Barbosa et al. (2017) constataram que o método oficial Am 5-04, superestima o teor de gordura bruta em amostras fecais.

Análises Estatísticas

Os dados foram submetidos ao teste de Shapiro-WILK para verificar a normalidade dos dados. Em seguida foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e quando apresentado diferença ($P < 0,05$), foi realizada análise de regressão polinomial. Para a realização das análises estatística utilizou-se o software R versão 3.3.2. O modelo que apresentou o maior coeficiente de determinação (R^2) foi o escolhido pelo melhor ajuste.

RESULTADOS

Desempenho produtivo

Observou-se 100 % de sobrevivência (SO) dos peixes dos diferentes tratamentos. Não foram observados efeitos significativos das dietas contendo crescentes relações de PB/CNF para índice viscerossomático (IVS), consumo de ração (COM) e rendimento de carcaça (RC) de juvenis de pacamã ($P > 0,05$) (Tabela 02). Houve efeito significativo das dietas contendo crescentes relações de PB/CNF sobre o ganho de peso ($GP = -137,58x^2 + 349,71x - 122,39$; $R^2 = 0,97$), taxa de crescimento específico ($TCE = -1,8519x^2 + 4,6184x - 1,0677$; $R^2 = 0,93$), conversão alimentar ($CA = 0,8333x^2 - 2,2174x + 2,4082$; $R^2 = 0,87$) e índice hepatossomático ($IHS = 2,8403x^2 -$

$5,8405x + 4,3432$; $R^2 = 0,99$) dos juvenis de pacamã (*Lophiosilurus alexandri*) (Tabela 02). Também foi verificado efeito significativo para a taxa de eficiência proteica ($y = -0,5207x + 3,385$), porém em função do baixo ajuste da equação ($R^2 = 0,60$), esta variável foi desconsiderada. As relações de PB/CNF estimadas que maximizam o ganho de peso e a taxa de crescimento específico foram de 1,26 e 1,24, respectivamente, enquanto que, as relações estimadas de 1,33 e 1,02 PB/CNF minimizam a conversão alimentar e o índice hepaticossomático, respectivamente.

Tabela 02. Valores médios, coeficiente de variação (CV) e p-valor do desempenho produtivo dos juvenis de pacamã (*Lophiosilurus alexandri*) alimentados com dietas contendo crescentes relações PB/CNF.

	PB/CNF				CV %	p-Valor
	0,78	1,02	1,26	1,60		
GP (g)	65,63	94,18	102,90	85,57	13,61	0,0398*
RC (%)	89,38	89,69	90,28	90,42	2,20	0,9026 ^{ns}
TCE (%.dia ⁻¹)	1,39	1,78	1,82	1,59	9,32	0,0442*
TEP	2,83	3,01	2,81	2,45	6,96	0,0418*
CON (g)	78,43	90,92	94,98	83,61	10,88	0,2197 ^{ns}
CA	1,20	0,96	0,98	0,98	7,85	0,0195*
IHS (%)	1,53	1,31	1,53	2,26	15,33	0,0081*
IVS (%)	4,88	5,04	5,21	5,14	5,66	0,5632 ^{ns}
SO (%)	100	100	100	100	-	-

p-Valor < 0.05 representa efeito significativo do tratamento *.

GP (Ganho de peso) = Peso vivo final – Peso vivo inicial

RC (Rendimento de carcaça) = Peso peixe eviscerado/Peso peixe inteiro x 100

TCE (Taxa de crescimento específico) = (ln Peso final – ln Peso inicial)/dias x 100

TEP (Taxa de eficiência proteica) = Ganho de peso/Proteína consumida

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

CON (Consumo da dieta) = $(PDO \times (\%MS \text{ da Ração} / 100)) - ((PSR \times \%MS \text{ das sobras})/R) / (\%MS \text{ da Dieta} / 100)$

PDO=Peso da dieta ofertada; PSR=Peso da sobra recuperada

IHS (Índice hepatossomático) = Peso do fígado/Peso do animal inteiro x 100

IVS (Índice viscerossomático) = Peso das vísceras sem fígado/Peso do animal inteiro x 100

So (Sobrevivência)=(Número final de peixes/Número inicial de peixes) x 100

Composição corporal

Houve efeito significativo das dietas contendo crescentes relações PB/CNF, sobre os teores de proteína bruta na carcaça ($PBC = 1,7631x + 13,152$; $R^2 = 0,86$), teor de matéria mineral ($MMC = 2,1134x^2 - 5,676x + 7,060$; $R^2 = 0,99$), fósforo total ($PoC = 0,2794x^2 - 0,768x + 1,040$; $R^2 = 0,99$),

gordura visceral ($GV = -11,683x^2 + 25,368x - 0,2476$; $R^2 = 0,67$) (Tabela 03). As relações de PB/CNF estimadas que minimizam o teor de matéria mineral e fósforo da carcaça e de gordura visceral foram de 1,34, 1,37 e 1,08, respectivamente. Também houve efeito significativo para o teor de cálcio na carcaça, ($CaC = -0,1492x + 0,9655$), porém em função do baixo ajuste da equação ($R^2 = 0,57$), esta variável foi desconsiderada.

Não foi observado efeito das dietas contendo crescentes relações PB/CNF sobre os teores de matéria seca (MSC), energia bruta (EBC), gordura bruta (GBC) das carcaças e matéria seca das vísceras (MSV) dos juvenis de pacamã dos diferentes tratamentos ($P > 0,05$) (Tabela 03).

Tabela 03. Valores médios, coeficiente de variação (CV) e p-valor da composição corporal, com base na matéria natural, dos juvenis de pacamã (*Lophiosilurus alexandri*) alimentados com dietas contendo crescentes relações PB/CNF.

	PB/CNF				CV %	p-Valor
	0,78	1,02	1,26	1,60		
MSC (%)	23,62	22,30	22,74	23,56	0,92	0,1337 ^{ns}
EBC (kcal. kg ⁻¹)	1320	1269	1331	1321	3,96	0,4902 ^{ns}
PBC (%)	14,78	14,64	15,29	16,11	3,45	0,0334*
GBC (%)	5,18	5,03	5,29	4,82	9,51	0,6697 ^{ns}
MMC (%)	3,93	3,44	3,29	3,39	4,62	0,0054*
CaC (%)	0,87	0,82	0,71	0,76	7,43	0,0486*
PoC (%)	0,61	0,55	0,51	0,52	5,20	0,0140*
MSV (%)	30,23	30,81	33,25	30,01	8,13	0,4243 ^{ns}
GV (%)	12,19	12,80	14,29	10,18	10,77	0,0315*

p-Valor < 0.05 representa efeito significativo do tratamento *

PB/CNF: Relação Proteína bruta/Carboidratos não fibrosos das dietas experimentais

MSC (Matéria seca); EBC (Energia bruta); PBC (Proteína Bruta); GBC (Gordura Bruta); MMC (Matéria Mineral); CaC (Cálcio total) PoC (Fósforo total); MSV (Matéria Seca das Vísceras); GV (Gordura Visceral)

Análises da composição corporal dos peixes foram realizadas no Laboratório de Análise de Alimentos do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa

Variáveis metabólicas dos tecidos hepáticos e muscular:

Glicogênio, Proteína total solúvel e lipídios totais.

Houve efeito das dietas contendo crescentes relações de PB/CNF sobre o glicogênio muscular ($GlicM = -0,7147x^2 + 1,2383x + 0,4815$; $R^2 = 0,88$), onde a relação estimada de 0,86 PB/CNF maximiza o glicogênio

muscular (Tabela 04). O efeito dos tratamentos sobre o glicogênio hepático ($GlicH = -1,5607x^2 + 3,9387x + 0,5147$) foi desconsiderado em função do baixo ajuste da equação ($R^2 = 0,56$).

Tabela 04. Valores médios, coeficiente de variação (CV) e p-valor das variáveis metabólicas dos tecidos hepáticos e muscular dos juvenis de pacamã (*Lophiosilurus alexandri*) alimentados com dietas contendo crescentes relações PB/CNF.

	PB/CNF				CV %	p-Valor
	0,78	1,02	1,26	1,60		
GlicH (%)	2,57	3,08	2,86	2,86	6,03	0,0431*
GlicM (%)	0,98	1,08	0,84	0,65	7,80	0,0003*
LTH (%)	11,53	9,64	10,99	9,98	9,47	0,1525 ^{ns}
LTM (%)	5,27	6,71	6,23	5,57	6,02	0,0045*
PTH (mg/mL)	4,46	6,40	4,05	5,55	5,74	0,0001*
PTM (mg/mL)	21,01	26,82	24,58	15,24	9,80	0,0008*

p-valor < 0.05 representa efeito significativo do tratamento *

PB/CNF:Relação Proteína bruta/Carboidratos não fibrosos das dietas experimentais

GlicH (Glicogênio hepático); GlicM (Glicogênio muscular); LTH (Lipídio total hepático); LTM (Lipídio total muscular); PTH (Proteína total solúvel hepática); PTM (Proteína total solúvel muscular).

Análises das variáveis metabólicas dos tecidos hepático e muscular foram realizadas no Laboratório de Ecofisiologia de Quirópteros do Departamento de Biologia Animal da Universidade Federal de Viçosa

Houve efeito significativo apenas para a concentração de lipídios totais do músculo ($LTM = -6,6539x^2 + 15,958x - 3,0043$; $R^2 = 0,80$) (Tabela 04), onde a relação estimada de 1,19 PB/CNF maximiza a deposição de lipídios no tecido muscular.

Para a concentração de proteína total solúvel do tecido hepático obteve-se a equação $PTH = 75,293x^3 - 267,67x^2 + 305,85x - 106,98$; $R^2 = 1$ e para o tecido muscular $PTM = -46,735x^2 + 103,62x - 31,084$; $R^2 = 0,98$ (Tabela 04). A relação estimada de 1,10 PB/CNF maximiza a concentração de proteínas totais solúveis no tecido muscular.

Histomorfometria dos tecidos hepático e muscular

Houve efeito linear das dietas contendo crescentes relações de PB/CNF no percentual de núcleos do tecido hepático ($Nu = -4,3839x + 16,961$ $R^2 = 0,99$) (Tabela 05; Figura 02) e no diâmetro nuclear dos hepatócitos ($DNu = 0,938x + 1,7238$; $R^2 = 0,98$). Não houve influência das

dietas contendo crescentes relações PB/CNF, sobre as porcentagens de citoplasma (CI) e de capilares sinusóides (CPS) no tecido hepático.

Tabela 05. Valores médios, coeficiente de variação (CV) e p-valor da histomorfometria do tecido hepático dos juvenis de pacamã (*Lophiosilurus alexandri*) alimentados com dietas contendo crescentes relações PB/CNF.

	PB/CNF				CV %	p-Valor
	0,78	1,02	1,26	1,60		
Nu (%)	13,46	12,67	11,32	9,96	9,50	0,0228*
CI (%)	74,35	74,73	77,09	76,79	1,89	0,1043 ^{ns}
CPS (%)	102,19	12,60	11,59	13,25	6,09	0,1283 ^{ns}
DNU (µm)	2,49	2,63	2,90	3,24	3,49	0,0001*

p-valor < 0.05 representa efeito significativo do tratamento *

PB/CNF:Relação Proteína bruta/Carboidratos não fibrosos das dietas experimentais

Nu (Núcleo); CI (Citoplasma); CPS (Capilares sinusóides); DNU (Diâmetro nuclear dos hepatócitos).

Entre as três classes de frequências de fibras musculares, apenas a classe com diâmetro maior que 50 µm foi influenciada pelas dietas contendo crescentes relações PB/CNF ($FMG = -21,307x^2 + 51,639x - 21,534$; $R^2 = 0,82$), onde a relação estimada de 1,21 PB/CNF maximiza a frequência de fibras musculares maiores que 50 µm (Tabela 06).

Tabela 06. Valores médios, coeficiente de variação (CV) e p-valor da histomorfometria do tecido muscular dos juvenis de pacamã (*Lophiosilurus alexandri*) alimentados com dietas contendo crescentes relações PB/CNF.

	PB/CNF				CV %	p-Valor
	0,78	1,02	1,26	1,60		
FMP (%)	26,78	22,20	21,71	23,17	10,83	0,1388 ^{ns}
FMM (%)	67,05	69,92	67,66	70,51	3,98	0,3882 ^{ns}
FMG (%)	6,17	7,88	10,64	6,32	17,41	0,0121*

p-valor < 0.05 representa efeito significativo do tratamento *

FMP. Frequência de fibras musculares com diâmetro menor que 20 µm.

FMM. Frequência de fibras musculares com diâmetro entre 20- 50 µm.

FMG. Frequência de fibras musculares com diâmetro maior que 50 µm.

Variáveis plasmáticas

Houve efeito linear das dietas contendo crescentes relações de PB/CNF sobre a concentração plasmática de colesterol total ($CT = 196,08x - 48,404$; $R^2 = 0,82$), colesterol não-HDL ($NHDL = 133,89x - 18,839$; $R^2 =$

0,88), triglicerídeos (TRIG = $957,46x - 497,94$; $R^2 = 0,90$) (Tabela 07). Observou-se efeito quadrático para lipoproteína de alta densidade, (HDL = $191,07x^2 - 381,84x + 213,63$ $R^2 = 0,97$), onde a relação estimada de 0,99 PB/CNF minimiza os valores de HDL.

Os teores de proteínas totais plasmáticas também foram influenciados pelas dietas (PTP = $8,7979x^2 - 16,492x + 10,402$; $R^2 = 0,98$), estimando-se a relação de 0,93 PB/CNF minimiza os valores de PTP (Tabela 07).

A atividade da enzima alanina aminotransferase (ALT) e a creatinina plasmáticas sofreram influência das dietas contendo crescentes relações PB/CNF (ALT = $31,19x^2 - 56,809x + 35,832$; $R^2 = 0,99$ e CREA = $1,5287x^2 - 2,9009x + 1,6559$; $R^2 = 0,90$, respectivamente) (Tabela 07). A relação estimada de 0,91 e 0,94 PB/CNF minimizam os valores de atividade da enzima alanina aminotransferase (ALT) e da creatinina, respectivamente.

Tabela 07. Valores médios, coeficiente de variação (CV) e p-valor das variáveis plasmáticas dos juvenis de pacamã (*Lophiosilurus alexandri*) alimentados com dietas contendo crescentes relações PB/CNF.

	PB/CNF				CV %	p-Valor
	0,78	1,02	1,26	1,60		
CT (mg.dl ⁻¹)	136,78	115,78	182,00	285,56	25,15	0,0075*
HDL (mg.dl ⁻¹)	34,22	16,78	41,11	90,56	19,1	0,0001*
NHDL (mg.dl ⁻¹)	102,56	99,00	140,89	206,11	25,68	0,0192*
TRIG (mg.dl ⁻¹)	353,67	383,22	618,56	1114,56	31,58	0,0047*
GLIC (mg.dl ⁻¹)	32,44	25,67	32,78	17,00	37,79	0,2673 ^{ns}
PTP (mg.dl ⁻¹)	2,98	2,49	3,80	6,49	7,43	0,0009*
ALT (U. L ⁻¹)	10,22	11,11	13,11	24,94	28,72	0,0053*
AST (U. L ⁻¹)	151,78	139,44	153,00	166,72	15,03	0,1196 ^{ns}
GGT (U. L ⁻¹)	8,22	8,67	7,78	9,67	25,88	0,7585 ^{ns}
CREA (U. L ⁻¹)	0,28	0,41	0,32	1,46	65,12	0,0166*

p-valor < 0.05 representa efeito significativo do tratamento *

CT (Colesterol Total); HDL (Lipoproteína de alta densidade); NHDL (Colesterol não-HDL); TRIG (Triglicerídeos); PTP (Proteínas totais); ALT (Atividade da enzima alanina aminotransferase); AST (Atividade da enzima aspartato aminotransferase); GGT (Atividade da enzima γ —glutamilttransferase); CREA (Creatinina)

As análises das variáveis plasmáticas dos tecidos hepático e muscular foram realizadas no Laboratório de Análises Clínica, Departamento de Nutrição e Saúde da Universidade Federal de Viçosa.

A atividade das enzimas aspartato aminotransferase (AST) e γ -glutamilttransferase (GGT) não foram influenciadas pelas dietas contendo crescentes relações PB/CNF das dietas ($P>0,05$).

Digestibilidade das Dietas

Houve efeito linear das dietas contendo crescentes relações PB/CNF sobre os coeficientes de digestibilidade aparente da matéria seca ($DMS = 9,6681x + 53,763$; $R^2 = 0,96$), proteína bruta ($DPB = 3,0332x + 83,623$; $R^2 = 0,80$), energia bruta ($DEB = 15,054x + 51,814$; $R^2 = 0,99$), gordura bruta ($DGB = 3,7731x + 91,47$; $R^2 = 0,98$), DFDN ($DFDN = 25,4216x - 1,3541$; $R^2 = 0,98$) e (DPIDN = $19,0617x + 47,5095$; $R^2 = 0,95$) (Tabela 08).

Tabela 08. Valores médios, coeficiente de variação (CV) e p-valor dos coeficientes de digestibilidade aparente, com base na matéria seca, das dietas contendo crescentes relações PB/CNF.

	PB/CNF				CV %	p-Valor
	0,78	1,02	1,26	1,60		
DMS (%)	61,26	64,19	67,96	69,31	1,27	0,0127*
DEB (%)	63,66	68,3	72,96	76,55	1,95	<0,0001*
DPB (%)	85,59	87,36	88,32	88,19	3,69	0,0020*
DGB (%)	94,41	95,83	96,44	97,80	0,72	0,0002*
DMM (%)	46,14	45,00	43,71	46,31	11,31	0,8411
DCNF (%)	46,10	47,69	52,22	52,27	8,71	0,1101
DFDN (%)	17,67	26,15	29,91	39,30	21,73	0,0025*
DCIDN (%)	26,03	27,73	25,71	39,11	40,74	0,3075
DPIDN (%)	63,51	66,34	69,81	79,19	8,05	0,0084*
DFDNcp (%)	-1,58	0,72	1,98	2,70	584,87	0,6527

p-valor < 0.05 representa efeito significativo do tratamento *

DMS (Coeficiente de digestibilidade aparente da matéria seca); DEB (Coeficiente de digestibilidade aparente da energia bruta); DPB (Coeficiente de digestibilidade aparente da proteína bruta); DGB (Coeficiente de digestibilidade aparente da gordura bruta); DMM (Coeficiente de digestibilidade aparente da matéria mineral); DCNF (Coeficiente de digestibilidade aparente dos carboidratos não fibrosos); DPIDN (Coeficiente de digestibilidade aparente da proteína insolúvel em detergente neutro); DCIDN (Coeficiente de Digestibilidade aparente das cinzas insolúveis em detergente neutro); DFDNcp (Coeficiente de digestibilidade aparente da fibra insolúvel em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína).

Análises bromatológicas realizadas em duplicatas no Laboratório de Análise de Alimentos do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa.

Conteúdo de carboidratos não fibrosos (CNF) foi estimado através da equação; $CNF=100-(PB+GB+MM+FDNcp)$, como proposto por Detmann e Valadares (2010).

Correlações entre as variáveis avaliadas

As correlações significativas entre o desempenho produtivo, composição corporal, histomorfometria dos tecidos hepático e muscular, variáveis metabólicas dos tecidos hepático e muscular e as variáveis plasmáticas encontram-se na tabela 09.

Tabela 09. Coeficientes de Correlação de Pearson significativos e p-valor da correlação entre as variáveis estudadas.

	GP	TCE	TEP	IHS	PBC	GlicM	Nu	DNU	FMG
GV	ns	ns	0,69 0.0126	ns	ns	ns	ns	ns	0,66 0.0187
GlicM	ns	ns	0,81 0.001	-0,66 0.020	ns	1	0,81 0.001	-0,80 0.001	ns
LTM	0,81 0.001	0,86 <0,001	0,66 0.020	ns	ns	ns	ns	ns	0,69 0.0131
PTM	ns	ns	0,83 <0,001	-0,68 0.014	ns	0,82 0.001	0,59 0.0432	ns	0,62 0.0308
Nu	ns	ns	0,84 <0,001	ns	ns	0,81 0.001	1	-0,68 0.014	ns
Dnu	ns	ns	ns	0,80 0.001	0,86 <0,00	-0,80 0.001	-0,68 0.014	1	ns
FMG	0,73 0.007	0,72 0.008	ns	ns	ns	ns	ns	ns	1
CT	ns	ns	ns	0,96 <0,001	0,93 <0,001	-0,70 0.012	ns	0,89 <0,001	ns
HDL	ns	ns	-0,65 0.022	0,92 <0,001	0,90 <0,001	-0,81 0.001	ns	0,88 <0,001	ns
NHDL	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,91 <0,001	ns
TRIG	ns	ns	ns	0,94 <0,001	0,90 <0,001	ns	ns	0,92 <0,001	ns
ALT	ns	ns	ns	0,96 <0,001	0,87 <0,001	-0,71 0.009	ns	0,91 <0,001	ns
CREA	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,86 <0,001	ns

Valores de correlação não significativos ($p > 0,05$) não foram apresentados (ns)

GP (Ganho de peso); TCE (Taxa de crescimento específico); TEP (Taxa de eficiência proteica); IHS (Índice hepatossomático); PBC (Proteína bruta); GV (Gordura visceral); GlicM (Glicogênio muscular); LTM (Lipídio total muscular); PTM (Proteína total muscular); Nu (Núcleo); DNU (Diâmetro nuclear dos hepatócitos); FMG (Fibras musculares com diâmetro maior que 50 μ m); CT (Colesterol Total); HDL (Lipoproteína de alta densidade); NHDL. (Colesterol não-HDL); TRIG (Triglicerídeos); ALT (Atividade da enzima alanina aminotransferase); CREA (Creatinina)

DISCUSSÃO

Relações estimadas entre 1,10 e 1,37 PB/CNF foram as que resultaram no melhor desempenho produtivo de juvenis de pacamã, como evidenciado pelo melhor ganho de peso (GP), taxa de crescimento específico (TCE) e conversão alimentar (CA). Tais resultados provavelmente são decorrentes da melhor eficiência de utilização dos nutrientes das dietas contendo relação PB/CNF dentro desta faixa.

As correlações positivas entre GP e TCE, com a frequência de das fibras musculares com diâmetro maior que 50 μm (FMG) mostram que o aumento de peso ocorreu principalmente devido a hipertrofia das fibras musculares. A correlação positiva entre a FMG e o teor de proteínas totais solúveis no tecido muscular (PTM) indica a maior disponibilidade desses nutrientes para síntese proteica e crescimento muscular. O pool de aminoácidos livres no sarcoplasma das fibras musculares é fator preponderante na taxa de síntese proteica (SEILIEZ et al., 2008). Estes aminoácidos são provenientes predominantemente da dieta (LI, et al., 2009) e, portanto, o teor de proteína da dieta é fator determinante do pool de aminoácidos livres e consequentemente da síntese proteica (SVEIER et al., 2000) e do crescimento. A inclusão de carboidratos na dieta truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*), reduziu a degradação proteica e oxidação de aminoácidos para produção de energia, melhorando o crescimento e a eficiência alimentar (PERAGÓN et al., 1999).

O teor de glicogênio no tecido muscular (GlicM) foi positivamente correlacionado com o teor de proteína total solúvel no músculo (PTM). Tal fato evidencia que a maior reserva de carboidratos na fibra muscular contribui para o maior pool de aminoácidos livres e, consequentemente para maior deposição proteica e crescimento. A maior disponibilidade de aminoácidos no músculo provavelmente ocorreu devido ao menor catabolismo das proteínas celulares (SÁNCHEZ-MUROS et al., 1998), associado à redução na atividade das enzimas transaminases (ZHOU et al., 2014; ZANG et al., 2017). O efeito de dietas contendo mais carboidratos no catabolismo de proteínas é evidenciado pela correlação negativa entre o teor de glicogênio muscular (GlicM) e a atividade da enzima alanina aminotranferase plasmática (ALT), encontrada no presente estudo.

O teor de lipídios totais do tecido muscular (LTM) também mostrou-se positivamente correlacionado com a FMG, o que indica que a hipertrofia muscular ocorre de maneira simultânea com a lipogênese, como observado para truta arco-íris (SKIBA-CASSY et al., 2009). Uma vez atendidas às exigências diárias por nutrientes, aqueles em excesso são armazenados no organismo do animal, sendo que os aminoácidos necessitam ser deaminados, para que os mesmos possam ser utilizados como fonte de energia, ou como substrato para gliconeogênese ou lipogênese (IP E CHEW, 2010; ABDEL-TAWWAB et al., 2010). Por outro lado, a presença de lipídios no tecido muscular também pode contribuir para diminuição da oxidação de aminoácidos como fonte de energia (BAR, 2014), o que resulta em menor catabolismo proteico e maior crescimento das fibras musculares.

O pior desempenho produtivo e pior eficiência de utilização dos nutrientes observados para os peixes alimentados com a dieta 0,78 PB/CNF devem estar relacionados com a baixa digestibilidade dos carboidratos não fibrosos (DCNF) pelo pacamã. Esses resultados podem ser explicados por limitações na produção de carboidrases (CASTILLO et al., 2004) ou pelo excesso de glicose no intestino do animal, causando saturação dos transportadores de glicose, como demonstrada em truta arco-íris (BUDDINGTON et al., 1987), limitando a taxa de absorção e, conseqüentemente, a eficiência de utilização dos carboidratos. Espécies não carnívoras como a carpa comum (*Cyprinus carpio*) e o bagre do canal (*Ictalurus punctatus*), mostraram maior velocidade e capacidade de absorção de glicose, quando comparadas a truta arco-íris, espécie carnívora (BUDDINGTON et al., 1987). O teor de carboidratos das dietas também influenciou negativamente a digestibilidade da matéria seca (DMS), da proteína (DPB), da gordura (DGB) e da energia bruta (DEB). Níveis elevados de carboidratos mostram-se prejudiciais a digestibilidade das dietas em outras espécies carnívoras (STOREBAKKEN et al., 1998; SUÁREZ et al., 2002; KROGDAHL et al., 2004). As duas principais hipóteses que podem explicar tais resultados são a redução na produção de enzimas digestivas (proteases e lipases) (LAHAIE e DAGORN, 1981; PÉRES et al., 1998) e/ou o aumento na viscosidade das dietas. Dietas com altos teores de carboidratos não amiláceos (CNA) (LEENHOUWERS et al., 2006, SINHA et

al., 2011) e amido cru (AMIRKOLAIE et al., 2006) apresentam alta viscosidade, o que pode dificultar a ação enzimática e a difusão dos nutrientes do lúmen intestinal até a borda em escova, local onde ocorre a absorção.

Apesar do efeito negativo dos carboidratos não fibrosos no crescimento dos pacamãs, o ganho de peso (GP) positivo (210 % em relação ao peso inicial), a conversão alimentar (CA) satisfatória (1,20), a ausência de mortalidade e de alterações glicêmicas, indica que juvenis de pacamã apresentam capacidade de se adaptar ao consumo de dietas com até 0,78 PB/CNF (37,7 % de carboidratos não fibrosos). Dietas contendo 26,9 % de carboidratos inibem o consumo da dieta pelo carnívoro “common dentex” (*Dentex dentex*) (PÉREZ-JIMÉNEZ et al., 2015). Outras espécies carnívoras como “snakehead” (*Channa maculata* ♀ × *Channa argus* ♂) alimentadas com dietas contendo mais de 30 % de carboidratos apresentam diminuição no crescimento (ZHANG et al., 2017). A maior tolerância a carboidratos não fibrosos pelos pacamãs é reforçada pela ausência de acúmulo de gordura na carcaça. Juvenis de “barramundi” (*Lates calcarifer*) apresentaram aumento na deposição de gordura na carcaça quando alimentados com dietas contendo 31,7 % de carboidratos (GLENCROSS et al., 2014).

A piora no desempenho produtivo dos pacamãs alimentados com dietas contendo relações superiores a 1,37 PB/CNF provavelmente está relacionado com o desbalanço entre o nível energético e proteico. Apesar das dietas formuladas apresentarem o mesmo teor de energia bruta, estas apresentam diferentes teores de energia digestível, e provavelmente de energia líquida, uma vez que a oxidação de aminoácidos fornece menor energia que a oxidação de carboidratos e gordura (PERAGÓN et al., 1999). O menor rendimento de energia líquida pela oxidação de aminoácidos se deve ao fato do grupamento amino não fornecer energia e corresponder a 16% do peso molecular do aminoácido (NRC 2011). Além disso, o menor saldo energético pode ter correlação com gasto energético decorrente da deaminação de aminoácidos (WAARDE, 1983; IP et al., 2001), em função da energia necessária para a síntese de enzimas envolvidas nos processos de transaminação e deaminação (KOEHN, 1991). A ausência de acúmulo de

gordura na carcaça (GBC) e a redução da gordura visceral (GV) também indicam que a energia disponível das dietas com maiores relações PB/CNF foi menor.

A maior atividade da ALT plasmática observada nos peixes alimentados com as dietas com maiores relações PB/CNF e a alta correlação com a proteína total plasmática (PTP) encontrada neste estudo, corroboram a hipótese de deaminação de aminoácidos. A concentração plasmática de aminoácidos parece ser fundamental para induzir o processo de deaminação (SÁNCHEZ-MUROS et al., 1998). Assim, o maior catabolismo de aminoácidos indica que as dietas com relações PB/CNF acima de 1,37 apresentam excesso de proteína em relação às exigências nutricionais da espécie. Juvenis de pacamã com 5,19 g apresentaram queda no desempenho quando alimentados com dietas contendo mais de 38,2 % de proteína bruta (SOUZA et al., 2013). Entretanto, a qualidade da carcaça dos peixes alimentados com as dietas com maiores relações PB/CNF foi melhor que as demais dietas, uma vez que apresentaram maior teor proteico (PBC), sem alteração no teor de gordura.

O maior índice hepatossomático (IHS) e diâmetro nuclear dos hepatócitos (DNU) dos juvenis de pacamã alimentados com dietas com relações estimadas acima de 1,37 PB/CNF, indicam maior atividade do tecido hepático, provavelmente devido a maior síntese de enzimas envolvidas na transaminação e deaminação de aminoácidos. A correlação positiva entre diâmetro nuclear dos hepatócitos e o teor de colesterol total (CT), HDL, NHDL e triglicerídeos (TRIG) plasmáticos também indica que a maior atividade dos hepatócitos, possa estar relacionada com a síntese de enzimas envolvidas no metabolismo de lipídios. Assim, em peixes alimentados com dietas contendo relações acima de 1,37 PB/CNF os cetoácidos provenientes da deaminação de aminoácidos devem ter sido utilizados para síntese de colesterol e triglicerídeos no fígado (WAARDE, 1983). Sendo que aumentos na concentração plasmática de colesterol total, HDL, NHDL e triglicerídeos, caracterizam o quadro de hiperlipidemia (MOOR et al., 2017). Os lipídios, sintetizados no fígado ou no intestino, são lançados na corrente sanguínea acoplados a lipoproteínas na forma de NHDL (LDL + VLDL+ IDL, principais lipoproteínas transportadoras de triglicerídeos)

(RICHARD et al., 2006), os quais podem ser utilizados como fonte de energia, ou para a deposição nos tecidos periféricos (TORSTENSEN, 2000).

Apesar de esses resultados indicarem que o colesterol total (CT) possa ter sido sintetizado a partir dos cetoácidos, também é possível que parte do colesterol tenha sido absorvida diretamente da dieta, uma vez que as dietas com maiores relações PB/CNF devem apresentar maior teor de colesterol devido a maior quantidade de proteína animal. Mesmo que as dietas experimentais tenham sido formuladas para apresentarem a mesma relação proteína animal/proteína vegetal, a quantidade absoluta de proteína animal foi maior nas dietas com as maiores relações PB/CNF. Aumentos no índice hepatossomático (SANADA e MIYAZAKI 1984), nos níveis de triglicerídeos (KIRCHNER, et al., 2005) e colesterol plasmáticos (MENDES et al., 2016) também foram observados em outras espécies alimentadas com dietas contendo altas relações proteína/energia.

Nos peixes alimentados com a dieta contendo 1,60 PB/CNF a concentração plasmática de creatinina (CREA) foi 350 % maior que a média dos demais tratamentos. Como a concentração plasmática de creatinina é um importante indicador das funções renais e da taxa de filtração glomerular (CERIOTTI et al., 2008; SCHOLTEN, et al., 2017), o acúmulo deste metabólito no plasma indica prejuízo para as funções renais. O acúmulo de creatinina no plasma de pacamãs alimentados com dietas com as maiores relações PB/CNF deve ser decorrente do excesso de proteína na dieta, uma vez que esta influencia na taxa de filtração glomerular, e na taxa de excreção de creatinina, predispondo à ocorrência de doenças renais em mamíferos (LEVEY, et al., 1996). O aumento dos lipídios plasmáticos, também conhecido como hiperlipidemia, pode favorecer o aparecimento de doenças renais (MARTIN, et al., 2005). O excesso de proteína da dieta pode ter tanto efeito direto na produção e excreção de creatinina no tecido muscular, como indireto, causado pela hiperlipidemia, como observado no presente estudo. Dessa forma, o excesso de proteína na dieta pode induzir à insuficiência renal em peixes, assim como observado em mamíferos.

O pior desempenho produtivo de peixes alimentados com dietas com excesso de proteína representa menor rendimento econômico da criação em função do alto custo dos ingredientes proteicos (WILSON, 1994; SKOV et

al., 2017) e da menor eficiência de obtenção de energia pela oxidação de aminoácidos (WAARDE, 1983; PERAGÓN et al., 1999, NRC, 2011). A maior excreção de produtos nitrogenados decorrente do catabolismo de aminoácidos também contribui para a eutrofização da água de cultivo e dos efluentes da criação (IP e CHEW, 2010), representando prejuízos do ponto de vista ambiental. Dessa forma, a utilização de carboidratos como fonte de energia permite estabelecer adequadas relações PB/CNF em dietas que maximizem o crescimento e reduzam o impacto ambiental da criação. Portanto, recomenda-se a utilização de relações PB/CNF entre 1,10 e 1,37 para juvenis de pacamã por potencializar o desenvolvimento dos animais, sem prejudicar a saúde dos mesmos.

A interpretação dos efeitos da relação PB/CNF das dietas sobre a digestibilidade das diferentes frações dos carboidratos solúveis e insolúveis deve ser cuidadosa. O aumento da digestibilidade da fibra em detergente neutro (DFDN) observado no presente estudo provavelmente não se deve ao aumento da relação PB/CNF, e sim devido à presença de contaminantes proteicos (VAN SOAST et al., 1991; DETMAN, 2010), que apresentam maior digestibilidade. Tal fato pode ser evidenciado pelo efeito positivo da relação PB/CNF sobre a digestibilidade da proteína contida no resíduo fibroso (PIDN) da dieta. Frente a essas limitações metodológicas (presença de contaminantes), Detmann e Valadares Filho (2010) propuseram análises complementares que permitem a correção dos efeitos dos contaminantes minerais (CIDN) e proteicos (PIDN) retidos no resíduo fibroso sobre a digestibilidade da fibra. Assim, o real efeito da relação PB/CNF sobre a digestibilidade da fibra pode ser observada na digestibilidade aparente da fibra insolúvel em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína (DFDNcp), que não foi influenciada pela relação PB/CNF. Tais valores de digestibilidade próximos de zero estão em conformidade com o conceito de fibra (NRC, 2011) e com a baixa capacidade fermentativa de peixes carnívoros, como o pacamã.

CONCLUSÕES

A inclusão de níveis adequados de carboidratos nas dietas de juvenis de pacamã mostra-se benéfica, sendo que relações entre 1,10-1,37 PB/CNF foram capazes de potencializar o desempenho produtivo e a eficiência de utilização de nutrientes, sem comprometer a qualidade de carcaça e a saúde dos peixes.

Os carboidratos não fibrosos apresentam digestibilidade limitada, e quando em excesso comprometem o aproveitamento dos demais nutrientes da dieta, ocasionando redução no crescimento.

O excesso de proteína na dieta causa sobrecarga das funções metabólicas do fígado, hiperlipidemia e insuficiência renal, além de comprometer o desempenho produtivo de juvenis de pacamã.

V- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F.L.A. et al. Differential expression of myogenic regulatory factor MyoD in pacu skeletal muscle (*Piaractus mesopotamicus* Holmberg 1887: Serrasalminae, Characidae, Teleostei) during juvenile and adult growth phases. **Micron**, v. 39, p. 1306-1311, 2008. DOI: 10.1016/j.micron.-2008.02.011

AMIRKOLAIE A.K., et al. Effect of gelatinization degree and inclusion level of dietary starch on the characteristics of digesta and faeces in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* (L.)). **Aquaculture**, v. 260, p. 194-205, 2006.

ANEMAET, I.G. et al. A novel alternatively spliced transcript of cytosolic alanine aminotransferase gene associated with enhanced gluconeogenesis in liver of *Sparus aurata*. **The International Journal of Biochemistry & Cell Biology**, v. 40, p. 2833-2844, 2008. DOI: 10.1016/j.biocel.2008.05.018

AOAC. **Official methods of analysis of the Association Analytical Chemists**. 18.ed. Gaithersburg, Maryland, USA, 2005.

AOCS (American Oil Chemists Society). **AOCS official procedure**. Approved procedure Am 5-04. Rapid determination of oil/fat utilizing high temperature solvent extraction. AOCS, Urbana, IL, USA, 2005.

AZEVEDO, P.A. et al. Growth, nitrogen and energy utilization of juveniles from four salmonid species: diet, species and size effects. **Aquaculture**, v. 234, p. 393-414, 2004 DOI: 10.1016/j.aquaculture.-2004.01.004.

BAR, N. Physiological and hormonal changes during prolonged starvation in fish. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 71, p. 1447-1458, 2014 DOI:10.1139/cjfas-2013-0175

BUDDINGTON, R.K. et al. Genetic and phenotypic adaptation of intestinal nutrient transport to diet in fish. **The Journal of Physiology**, v. 393, p. 261-281, 1987.

CARDOSO, E.L. et al. Morphological changes in the gills of *Lophiosilurus alexandri* exposed to un-ionized ammonia. **Journal of Fish Biology**, v. 49, p. 778-787, 1996.

CASTILLO, S. et al. Dietary supplementation of exogenous carbohydrase enzymes in fish nutrition: A review. **Aquaculture**, v. 435, p. 286-292, 2015. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2014.10.011

CASTRO, C. et al. Liver and intestine oxidative status of gilthead sea bream fed vegetable oil and carbohydrate rich diets. **Aquaculture**, v. 464, p. 665-672, 2016. DOI: /10.1016/j.aquaculture.2016.08.005

CERIOTTI, F. et al. Reference Intervals for Serum Creatinine Concentrations: Assessment of Available Data for Global Application. **Clinical Chemistry**, v. 54 (3), p. 559-566, 2008. DOI: 10.1373/clinchem.-2007.099648

CHO, C. Y. e KAUSHIK, S.J. Nutritional energetics in fish: energy and protein utilization in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). **World Review of Nutrition and Dietetics**. v. 61, p. 132-172, 1990.

CONDÉ-SIEIRA, M. et al. Potential capacity of Senegalese sole (*Solea senegalensis*) to use carbohydrates: Metabolic responses to hypo- and hyper-glycaemia. **Aquaculture**, v. 438, p. 59-67, 2015. DOI 10.1016/j.aquaculture.2014.12.042

CORDEIRO, N.I.S. et al. High stocking density during larviculture and effect of size and diet on production of juvenile *Lophiosilurus alexandri* Steindachner, 1876 (Siluriformes: Pseudopimelodidae). **Journal of Applied Ichthyology**, v. 32, p. 61-66, 2016. DOI: 10.1111/jai.12963

COSTA, D.C. et al. Capture, adaptation and artificial control of reproduction of *Lophiosilurus alexandri*: A carnivorous freshwater species. **Animal Reproduction Science**, v. 159, p. 148-154, 2015. DOI: 10.1016/j.anireprosci.2015.06.009

COSTA, D.P. et al. Effects of temperature on growth, survival and physiological parameters in juveniles of *Lophiosilurus alexandri*, a carnivorous neotropical catfish. **Aquaculture Research**, v. 47, p. 1706-1715, 2016.

COSTA, D.C. et al. The effect of environmental colour on the growth, metabolism, physiology and skin pigmentation of the carnivorous freshwater catfish *Lophiosilurus alexandri*. **Journal of Fish Biology**, v. 90, p. 922-935, 2017. DOI: 10.1111/jfb.13208

DE AMEIDA, L.C. et al. Growth and metabolic responses of tambaqui (*Colossoma macropomum*) fed diferente levels of protein and lipid. **Aquaculture. Nutrition**, v. 17, p. e253-e262, 2011. DOI: 10.1111/j.1365-2095.2010.00759.x

DENG, J. et al. Improving the growth performance and cholesterol metabolism of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed soyabean meal-based diets using dietary cholesterol supplementation. **British Journal of Nutrition**, v.110, p. 29-39, 2013. DOI:10.1017/S0007114512004680

DETMANN, E. e VALADARES FILHO, S.C.,. On the estimation of non-fibrous carbohydrates in feeds and diets. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 62 (4), p. 980-984, 2010.

DETMANN, E. **Fibra na nutrição de novilhas leiteiras**. In: PEREIRA, E.S.; PIMENTEL, P.G.; QUEIROZ, A.C. et al. (Eds). Novilhas leiteiras. Fortaleza: Graphiti, p. 253-302, 2010.

FELIP, O. et al. Tracing metabolic routes of dietary carbohydrate and protein in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) using stable isotopes ([¹³C] starch and [¹⁵N] protein): effects of gelatinisation of starches and sustained swimming. **British Journal Nutrition**, v. 1 (7), p. 834-844, 2012. DOI: 10.1017/S0007114511003709

FILHO, R.M. et al. Early sexing techniques in *Lophiosilurus alexandri* (Steindachner, 1876), a freshwater carnivorous catfish. **Theriogenology**, v. 86, p. 1523-1529, 2016. DOI:10.1016/j.theriogenology.2016.05.011

FOLCH, J. et al.. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissue. **Journal of Biological Chemistry**, p. 226-497, 1957.

FURUYA, W.M. et al. **Tabelas brasileiras para a nutrição de tilápias**, GFM, Toledo, Brasil, v. 1. 100 p., 2010.

GANAPATHY, V. et al. **Protein digestion and absorption**. In: Physiology of the Gastrointestinal Tract, Academic Press, 4 ed, 1667-1692., 2006.

GLENCROSS, B. et al. An analysis of the effects of different dietary macronutrient energy sources on the growth and energy partitioning by juvenile barramundi, *Lates calcarifer*, reveal a preference for protein-derived energy. **Aquaculture Nutrition**, v. 20, p. 583-594, 2014. DOI:10.1111/anu.12111

GUO, X. et al. Effects of dietary non-protein energy source levels on growth performance, body composition and lipid metabolism in herbivorous

grass carp (*Ctenopharyngodon idella* Val.). **Aquaculture Research**, v. 46, p. 1197-1208, 2015. DOI: 10.1111/are.12275

HAIDAR, M.N. et al. The effect of type of carbohydrate (starch vs. nonstarch polysaccharides) nutrients digestibility, energy retention and maintenance requirements in Nile tilapia. **Aquaculture**, v. 463, p. 241-247, 2016. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2016.05.036

HARTVIKSEN, M. et al. Evaluation of the effect of commercially available plant and animal protein sources in diets for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.): digestive and metabolic investigations. **Journal of Physiology and Biochemistry**, v. 40, p. 621-1637, 2014. DOI: 10.1007/s10695-014-9953-4

HELLAND, S. J. et al. A simple method for the measurement of daily feed intake of groups of fish in tanks. **Aquaculture**, v. 139, p. 157-163, 1996.

HEMRE, G.I. e HANSEN, T. Utilisation of different dietary starch sources and tolerance to glucose loading in Atlantic salmon (*Salmo salar*), during parr smolt transformation. **Aquaculture**, v. 161, p. 145-157, 1998.

HU, H. et al. Intestinal fluid permeability in atlantic salmon (*Salmo salar* L.) is affected by dietary protein source. **PLoS ONE**, v. 11 (12), e0167515, 2016. DOI:10.1371/journal.pone.0167515

HUA K. e BUREAU, D.P. A mathematical model to explain variations in estimates of starch digestibility and predict digestible starch content of salmonid fish feeds. **Aquaculture**, v. 294, p. 282-287, 2009. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2009.06.021

IP, Y.K. e CHEW, S.F. Ammonia production, excretion, toxicity, and defense in fish: a review. **Frontiers in Physiology. Aquatic Physiology**, v. 1, p 1-20, 2010. DOI: 10.3389/fphys.2010.00134

IP, Y.K. et al. Partial amino acid catabolism leading to the formation of alanine in *Periophthalmodon schlosseri* (mudskipper): a strategy that facilitates the use of amino acids as an energy source during locomotory activity on land. **Journal of Experimental Biology**, v. 204, p. 1615-1624, 2001.

JIANG, R. et al. Non-HDL Cholesterol and Apolipoprotein- B predict cardiovascular disease events among men with type 2 diabetes. **Diabetes Care**, v. 27, p, 1991-1997, 2004.

JOBLING, M. Fish nutrition research: past, present and future. **Aquaculture International**, v. 24, p. 767-786, 2016. DOI 10.1007/s10499-014-9875-2

KHAN, J.R. et al. Optimum temperatures for growth and feed conversion in cultured hapuku (*Polyprion oxygeneios*) — Is there a link to aerobic metabolic scope and final temperature preference? **Aquaculture**, v. 430, p. 107-113, 2014.

KIRCHNER, S. et al. Effects of low protein intake on extra-hepatic gluconeogenic enzyme expression and peripheral glucose phosphorylation in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) **Comparative Biochemistry and Physiology, Part B**, v. 140, p. 333-340, 2005.

KITAGAWA, A.T. et al. Feeding behavior and the effect of photoperiod on the performance and hematological parameters of the pacamã catfish (*Lophiosilurus alexandri*). **Applied Animal Behaviour Science**, v. 171, p. 211-218, 2015. DOI: 10.1016/j.applanim.2015.08.025

KOEHN R.K. The cost of enzyme synthesis in the genetics of energy balance and physiological performance **Biological Journal of the Linnean Society**, v. 44, p. 231-247, 1991.

KOJIMA, J.T. et al. Short periods of food restriction do not affect growth, survival or muscle development on pacu larvae. **Aquaculture**, v. 436, p. 137-142, 2015. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2014.11.004

KORTNER, T.M. et al. Dietary cholesterol supplementation to a plant-based diet suppresses the complete pathway of cholesterol synthesis and induces bile acid production in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). **British Journal of Nutrition**, v. 111, p. 2089-2103, 2014. DOI:10.1017/S00071145-14000373

KROGDAHL, A. et al. Atlantic salmon (*Salmo salar*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) digest and metabolize nutrients differently. Effects of water salinity and dietary starch level. **Aquaculture**, v. 229, p. 335-360, 2004. DOI:10.1016/S0044-8486(03)00396-X

LAHAIE R.G. e DAGORN J.C. Dietary regulation of pancreatic protein synthesis if. kinetics of adaptation of protein synthesis and its effect on enzyme content. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 654, p.119-123, 1981.

LEENHOUWERS, J.I. et al. Digesta viscosity, nutrient digestibility and organ weights in African catfish (*Clarias gariepinus*) fed diets supplemented with different levels of a soluble non-starch polysaccharide. **Aquaculture Nutrition**, v. 12, p. 111-116, 2006.

LOWRY, O.H., et al. Protein measurement with Folin phenol reagent **The Journal of Biological Chemistry**, v. 193, p.165-175, 1951.

LUZ, R.K. et al. Effect of water flow rate and feed training on "pacamã"(Siluriforme: Pseudopimelodidae) juvenile production. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 63 (4), p. 973-979, 2011.

MARTIN, W.F. et al. Dietary protein intake and renal function. **Nutrition & Metabolism**, v. 2 (25), p 1-9, 2005. DOI: 10.1186/1743-7075-2-25

MARTINS, Y.S. et al. Salinity and temperature variations reflecting on cellular PCNA, IGF-I and II expressions, body growth and muscle cellularity of a freshwater fish larvae. **General and Comparative Endocrinology**, v. 202, p. 50-58, 2014. DOI: 10.1016/j.ygcen.2014.03.047

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

MENDES, K.L. et al. Distinct metabolic effects of resveratrol on lipogenesis markers in mice adipose tissue treated with high-polyunsaturated

fat and high-protein diets. **Life Sciences**, v. 153, p. 66–73, 2016. DOI: 10.1016/j.lfs.2016.04.014

MOON, T.W. Glucose intolerance in teleost fish: fact or fiction? **Comparative Biochemistry and Physiology Part B**, v. 129, p. 243–249, 2001.

MOOR, V.J.A. et al. Dyslipidemia in patients with a cardiovascular risk and disease at the University Teaching Hospital of Yaoundé, Cameroon. **International Journal of Vascular Medicine**, v. 2017, p. 6061306, 2017. DOI: 10.1155/2017/6061306

NRC. National Research Council - **Nutrient requirements of fish and shrimp**, National Academy Press, Washington, DC, USA, 366 p., 2011

PEDREIRA, M.M. et al. Efeito do tamanho da presa e do acréscimo de ração na larvicultura de pacamã. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37 (7), p. 1144-1150, 2008.

PERAGÓN, J. et al. Carbohydrates affect protein-turnover rates, growth, and nucleic acid content in the white muscle of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, v. 179, p. 425-437, 1999.

PÉRES, A. et al. Dietary regulation of activities and mRNA levels of trypsin and amylase in sea bass (*Dicentrarchus labrax*) larvae. **Fish Physiology and Biochemistry**, v. 19, p. 145-152, 1998.

PÉREZ-JIMÉNEZ, A. et al. Nutritional and metabolic responses in common dentex (*Dentex dentex*) fed on different types and levels of carbohydrates. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A**, v. 184, p. 56-64, 2015. DOI 10.1016/j.cbpa.2015.02.002

RICHARD, N. et al. Replacing dietary fish oil by vegetable oils has little effect on lipogenesis, lipid transport and tissue lipid uptake in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **British Journal of Nutrition**, v. 96, p. 299-309, 2006.

SALARO, A.L. et al. Gelatin in replacement of bovine heart in feed training of *Lophiosilurus alexandri* in different water salinities. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 87 (4), p. 2281-2287, 2015. DOI: 10.1590/0001-3765201520140575

SANADA, H. e MIYAZAKI, M. Effect of high-protein diet on liver alpha-amino-beta-carboxymuconate-epsilon-semialdehyde decarboxylase in rats. **Journal of Nutritional Science and Vitaminology**, v. 30 (2), p. 113-123, 1984.

SÁNCHEZ-MUROS, M.J. et al. Long-term nutritional effects on the primary liver and kidney metabolism in rainbow trout. Adaptive response to starvation and a high-protein, carbohydrate-free diet on glutamate dehydrogenase and alanine aminotransferase kinetics. **The International Journal of Biochemistry & Cell Biology**, v. 30, p. 55-63, 1998.

SATOH, S. et al. Effect of Fecal Retrieval Timing on Digestibility of Nutrients in Rainbow Trout Diet with the Guelph and TUF Feces Collection Systems, **Nippon Suisan Gakkaishi**, v. 58 (6), p. 1123-1127, 1992.

SCHOLTEN, B.J.V. et al. Effect of large weight reductions on measured and estimated kidney function. **BMC Nephrology**, v. 18 (52), p. 2-7, 2017. DOI: 10.1186/s12882-017-0474-0

SEILIEZ, I, et al. An in vivo and in vitro assessment of TOR signaling cascade in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **American Journal of Physiology. Regulatory, Integrative and Comparative Physiology**, v. 295, p. R329-R335, 2008.

SEILIEZ, I., et al. Dietary carbohydrate-to-protein ratio affects TOR signaling and metabolism related gene expression in the liver and muscle of rainbow trout after a single meal. **American Journal of Physiology. Regulatory, Integrative and Comparative Physiology**, v. 300, p. R733-R743, 2011. DOI:10.1152/ajpregu.00579.2010.

SEVGILI, H. et al. Compensatory growth after various levels of dietary protein restriction in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. **Aquaculture**, v. 344, p. 126-134, 2012. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2012.03.030

SINHA, A.M. et al. Non-starch polysaccharides and their role in fish nutrition – A review. **Food Chemistry**, v. 127, p. 1409-1426, 2011.

SKOV, P.V. et al. The influence of ration size on energetics and nitrogen retention in tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, v. 473, p. 121-127, 2017. DOI: /10.1016/j.aquaculture.2017.02.007

SOUZA, M.G. et al. Exigência de proteína bruta para juvenis de pacamã. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 14 (2), p. 362-370, 2013

SOUZA, M.G. et al. Avaliação da exigência de proteína bruta para alevino de pacamã *Lophiosilurus alexandri* Steindachner, 1876. **Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9 (2), p. 264-268, 2014. DOI:10.5039/agraria.v9i2a3092

STOREBAKKEN, T. et al. Interactions between salinity, dietary carbohydrates source and carbohydrate concentration on the digestibility of macronutrients and energy in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, v. 163, p. 347-359, 1998.

SUÁREZ, M.D. et al. Metabolic effects of changes in the dietary protein: carbohydrate ratio in eel (*Angilla anguilla*) and trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture International**, v. 10, p. 143-156, 2002.

SVEIER, H. et al. Growth and protein turnover in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) the effect of dietary protein level and protein particle size. **Aquaculture**, v. 185, p. 101-120, 2000.

TAKATA, R. et al. Effect of water temperature and prey concentrations on initial development of *Lophiosilurus alexandri* Steindachner, 1876 (Siluriformes: Pseudopimelodidae), a freshwater fish. **Neotropical Ichthyology**, v. 12 (4), p. 853-859, 2014.

TENÓRIO, R.A. et al. Crescimento do niquim (*Lophiosilurus alexandri*, Steindachner 1876), em diferentes condições de luminosidade e tipos de alimento. **Acta Scientiarum. Biological Science**, v. 28 (4), p. 305-309, 2006.

TORSTENSEN, B.E. et al. Lipid metabolism and tissue composition in atlantic salmon (*Salmo salar* L.)-Effects of capelin oil, palm oil, and oleic acid-enriched sunflower oil as dietary lipid sources. **Lipids**, v. 35 (6), p. 653-664, 2000.

VAN HANDEL, E. Estimation of glycogen in small amounts of tissue. **Analytical Biochemistry**, v.11, p. 256-265, 1965.

VIKESÅ, V. et al. Pre and postprandial regulation of ghrelin, amino acids and IGF1 in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) at optimal and elevated seawater temperatures. **Aquaculture**, v. 438, p. 159-169, 2015. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2014.12.021

WAARDE, A.V. Aerobic and anaerobic ammonia production by fish. **Comparative Biochemistry and Physiology Part B**, v. 74B (4), p. 675-684, 1983.

WILSON, R.P. Utilization of dietary carbohydrate by fish. **Aquaculture**, v. 124, p. 67-80, 1994.

ZHANG, Y. et al. Effects of dietary protein and lipid levels on growth, body and plasma biochemical composition and selective gene expression in liver of hybrid snakehead (*Channa maculata* ♀ × *Channa argus* ♂) fingerlings. **Aquaculture**, v. 468, p. 1–9, 2017. DOI:10.1016/j.aquaculture.-2016.09.052

ZHOU, C. et al. Effect of dietary carbohydrate on non-specific immune response, hepatic antioxidative abilities and disease resistance of juvenile golden pompano (*Trachinotus ovatus*). **Fish and Shellfish Immunology**, v. 41, p. 183-190, 2014. DOI: 10.1016/j.fsi.2014.08.024

FIGURAS

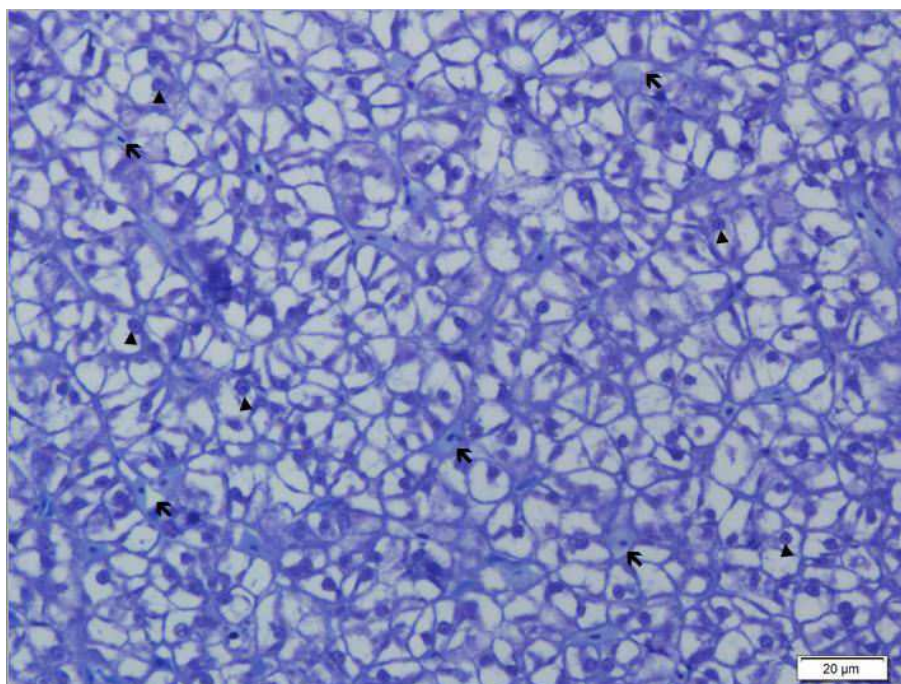


Figura 02. Fotomicrografia do tecido hepático dos juvenis de pacamã (*Lophiosilurus alexandri*) alimentados com dietas contendo crescentes relações PB/CNF. Azul de Toluidina.

↖ Capilares sanguíneos; ▲ Núcleo do hepatócito.

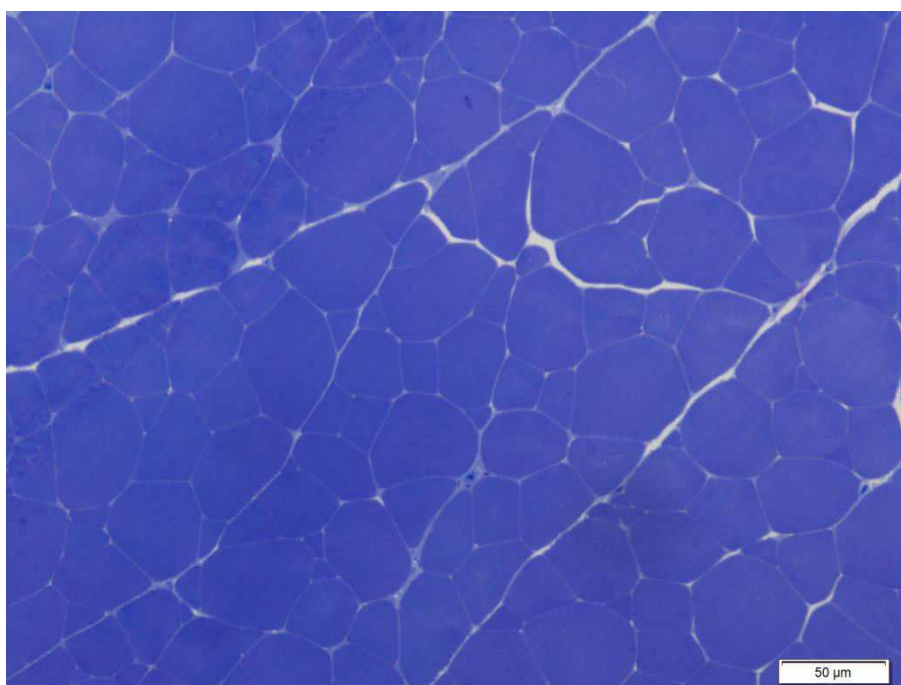


Figura 03. Fotomicrografia do tecido muscular dos juvenis de pacamã (*Lophiosilurus alexandri*) alimentados com dietas contendo crescentes relações PB/CNF. Azul de Toluidina.