

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

EXIGÊNCIAS DE PROTEÍNA PARA O BAGRE-DO-CANAL,
Ictalurus punctatus, COM BASE NO DESEMPENHO
PRODUTIVO, QUALIDADE DA CARNE, CRESCIMENTO
MUSCULAR E PARÂMETROS SANGUÍNEOS

Autora: Tsiane Francielli Schmitt
Orientador: Prof. Dr. Wilson Massamitu Furuya

MARINGÁ
Estado do Paraná
Novembro – 2015

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

EXIGÊNCIAS DE PROTEÍNA PARA O BAGRE-DO-CANAL,
Ictalurus punctatus, COM BASE NO DESEMPENHO
PRODUTIVO, QUALIDADE DA CARNE, CRESCIMENTO
MUSCULAR E PARÂMETROS SANGUÍNEOS

Autora: Tsiane Francielli Schmitt
Orientador: Prof. Dr. Wilson Massamitu Furuya

Dissertação apresentada como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM ZOOTECNIA, no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Estadual de Maringá - Área de concentração: Produção Animal.

MARINGÁ
Estado do Paraná
Novembro – 2015

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca da UNIOESTE - Campus de Marechal Cândido Rondon-PR., Brasil)

S335e Schmitt, Tsiane Francielli
Exigências de proteína para o bagre-do-canal,
Ictalurus punctatus, com base no desempenho produtivo,
qualidade da carne, crescimento muscular e parâmetros
sanguíneos / Tsiane Francielli Schmitt. - Maringá,
2015.
77 p.

Orientador: Prof. Dr. Wilson Massamitu Furuya

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de
Maringá, 2015.
Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Zootecnia

1. Bagre-americano. 2. Catfish. 3. Coloração de
filé. 4. Fibra muscular. 5. Hematologia. 6.
Produtividade. I. Furuya, Wilson Massamitu. II.
Universidade Estadual de Maringá. III. Título.

CDD 21.ed.639.3752
CIP-NBR 12899

Ficha catalográfica elaborada por Helena Soterio Bejio CRB-9/965



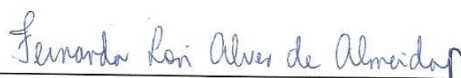
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS


EXIGÊNCIA DE PROTEÍNA PARA O BAGRE-DO-CANAL, *Ictalurus punctatus*, COM BASE NO DESEMPENHO PRODUTIVO, QUALIDADE DA CARNE, CRESCIMENTO MUSCULAR E PARÂMETROS SANGUÍNEOS

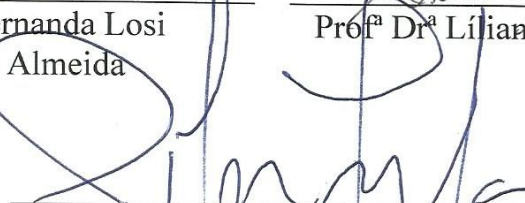
Autora: Tsiane Francielli Schmitt
Orientador: Prof. Dr. Wilson Massamitu Furuya

TITULAÇÃO: Mestre em Zootecnia - Área de Concentração Produção Animal

APROVADA em 23 de novembro de 2015.


Prof^ª Dr^ª Fernanda Losi
Alves de Almeida


Prof^ª Dr^ª Lillian Dena dos Santos


Prof. Dr. Wilson Massamitu
Furuya
(Orientador)

“

Chegou o momento de conquistar
O que Deus tem para você

É a sua decisão
Para ter a solução
Não pare de lutar
É hora de vencer

Levanta agora
Veja a terra
Que o Senhor prometeu

Conquista
Conquista
Toma posse
De tudo que é seu

Conquista

“

“*Conquista*” de J. Neto

“Não há quem aprenda alguma coisa
simplesmente por tê-la ouvido,
e quem não se esforça sozinho em certas coisas
acaba por conhecê-las apenas
de modo superficial e pela metade.”

Johann Wolfgang von Goethe

Ao

Deus Todo Poderoso,

que por sua imensa bondade, cuida de mim e guia meus passos.

Aos meus pais,

Geni Oliveira da Cunha e Dorival Rubens Schmitt,

pelo grande ensinamento de vida.

Aos meus avós,

Ivone e Milton Schmitt,

por serem os meus pilares de sustentação, hoje e sempre.

Aos meus tios,

Zeni e Armelindo Damas,

por cuidarem de mim e me socorrer quando foi necessário.

Ao meu melhor amigo,

Nilton Rohloff Junior,

pela amizade e total apoio. Esse trabalho também é seu.

Ao meu namorado, noivo e agora marido,

Rodrigo Felix Nogueira,

por me apoiar, entender e auxiliar nos momentos de dificuldade.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao Deus Todo Poderoso, que pela sua bondade, onipotência, onisciência e onipresença, cuida de mim, guia meus passos, minhas palavras e ações. Agradeço pela força que tem me concedido durante esse período para enfrentar todos os desafios.

À minha família, minha fortaleza, que esteve presente e auxiliando durante todo o tempo de experimento. Em especial aos meus primos Lucas, João Victor e Diego, por dedicarem seu tempo e gasolina comigo. Agradeço do fundo do meu coração.

Ao grande amigo Nilton Rohloff Junior, por carregar comigo esse projeto das costas e sempre me auxiliar nas coisas em que não sou boa e naquelas que sou também.

Ao meu orientador Prof^o. Dr. Wilson Massamitu Furuya, pela paciência, compreensão, carinho e orientação durante todo o mestrado.

À Universidade Estadual de Maringá pela oportunidade de aprender com os melhores.

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná, *campi* de Toledo e Marechal Cândido Rondon, por terem cedido suas instalações para a realização do experimento, análises e demais atividades.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos, que me permitiu a realização desse estudo.

Aos professores e funcionários da UEM e UNIOESTE pelos valiosos ensinamentos.

À Piscicultura Dal Bosco e Venites e aos seus colaboradores por todo o auxílio e apoio.

Aos colegas e amigos que de alguma forma auxiliaram na execução deste experimento.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

TSIANE FRANCIELLI SCHMITT, filha de Dorival Rubens Schmitt e Geni Oliveira da Cunha, nasceu no dia 12 de março de 1991, em Marechal Cândido Rondon, Paraná.

Em março de 2008 ingressou no curso de Zootecnia na Universidade Estadual do Oeste do Paraná, participando de projetos relacionados às áreas de piscicultura como tecnologia na aquicultura, produção, nutrição e bem-estar animal; concluindo os estudos em dezembro de 2012.

Em março de 2013, iniciou no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, em nível de Mestrado, área de concentração Produção Animal, na Universidade Estadual de Maringá, realizando estudos na área de Produção Animal – Piscicultura.

No dia 23 de novembro de 2015, submeteu-se à banca para defesa da dissertação, recebendo o título de Mestre em Produção Animal pelo Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Estadual de Maringá.

ÍNDICE

	Página
RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	x
I – INTRODUÇÃO.....	1
II – REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Panorama aquícola	3
2.2. Bagre-do-canal.....	4
2.3. Proteína e aminoácidos	6
2.4. Qualidade do pescado	8
2.5. Tecido muscular.....	10
2.6. Hematologia.....	12
2.7. Literatura Citada	14
III - OBJETIVOS	20
IV - Exigências de Proteína para o Bagre-do-Canal, <i>Ictalurus punctatus</i> , com Base no Desempenho Produtivo, Qualidade da Carne, Crescimento Muscular e Parâmetros Sanguíneos	21
Resumo	22
Abstract.....	25
Material e Métodos	29
Resultados.....	37
Discussão	42
Literatura Citada	53

RESUMO

O presente estudo foi realizado com o objetivo de determinar as exigências de proteína bruta para o bagre-do-canal, *Ictalurus punctatus*, na fase de crescimento-terminação, com base no desempenho produtivo, qualidade da carne, crescimento muscular e parâmetros sanguíneos. Os peixes (N = 594; $66 \pm 0,5$ g), distribuídos em 18 tanques-rede de 1000 L, em delineamento inteiramente casualizado, com seis tratamentos e três repetições (33 peixes por tanque), foram alimentados com dietas extrusadas contendo 24,36; 27,08; 29,50; 33,09; 35,71 e 38,52% de proteína bruta, duas vezes ao dia, até saciedade aparente. Peixes alimentados com dietas contendo níveis crescentes de proteína apresentaram aumento linear no peso final, ganho de peso e melhora linear na conversão alimentar. Foi observado efeito quadrático dos níveis de proteína sobre o rendimento de carcaça, rendimento de filé e eficiência de retenção de nitrogênio, em que os maiores valores das variáveis foram estimados em peixes alimentados com 33,79; 33,88 e 31,24% de proteína bruta, respectivamente. Foi observado aumento linear no conteúdo de proteína bruta corporal com o aumento dos níveis para a proteína bruta nas dietas. Foi observado efeito quadrático dos teores de proteína bruta nas dietas sobre a gordura visceral, gordura corporal e nos filés, em que os menores valores das variáveis foram obtidos em peixes que receberam dietas com 33,35; 34,58 e 34,31% de proteína bruta, respectivamente. Os peixes que receberam a dieta com 33,09% de proteína apresentaram filés mais avermelhados quando comparados com os alimentados com 24,36; 27,08 e 38,52% de proteína bruta; e mais amarelados quando comparado aos arraçoados com dietas de 27,08; 35,71 e 38,52%. A menor perda de líquidos e perda de água foi observada em filés de peixes que receberam a dieta com 29,50% de proteína bruta, comparado aos peixes que receberam a dieta com 24,36%. O nível de proteína bruta da dieta não influenciou a frequência de ocorrência das fibras em diferentes

classes de diâmetro. Entretanto verificou-se um aumento gradativo na hipertrofia celular conforme acréscimo, a partir do nível de 33,09%, na concentração de proteína bruta da dieta. Não houve diferenças sobre os parâmetros hematológicos. A dieta com 33,88% de proteína bruta proporciona adequado desempenho produtivo, com menor retenção de gordura corporal, elevado rendimento de filé e qualidade da carne para o bagre-do-canal.

Palavras-chaves: Bagre-americano, catfish, coloração de filé, fibra muscular, hematologia, produtividade

ABSTRACT

This work was accomplished in order to determine the crude protein requirements of the channel catfish, *Ictalurus punctatus*, in growing-finishing phase, based on growth performance, meat quality, muscle growth and blood parameters. The fish (N = 594; 66 ± 0,5 g) were distributed in 18 cages of 1000L, in a completely randomized design, with six treatments and three replicates (33 fish per cages); they were fed with extruded diets containing 24.36, 27.08, 29.50, 33, 09, 35.71 and 38.52% crude protein, twice daily until satiation. Fish fed diets containing graded levels of crude protein levels showed linear increase in final weight, weight gain and linear improvement in feed conversion. It was observed quadratic effect of protein levels on carcass yield, fillet yield and efficiency in nitrogen retention, where the highest values of these variables were estimated in fish fed 33.79; 33.88 and 31.24% crude protein levels, respectively. A linear increase in body crude protein contents in fish fed graded levels for crude protein diets was observed. A quadratic effect of dietary crude protein levels on visceral fat, body fat and fillets were observed, in which the lowest values of the variables were obtained in fish fed diets containing 33.35; 34.58 and 34.31% crude protein, respectively. The fish fed diet containing 33.09% protein showed reddish fillet compared to fish fed 24.36, 27.08 and 38.52% crude protein; and more yellowish fillet when compared to fish fed 27.08, 35.71 and 38.52%. The lowest fluid and water losses were observed in fillet of fish fed 29.50% crude protein, compared to fish fed 24.36% crude protein. The level of crude protein diet did not influence the frequency of occurrence of the fibers in different diameter classes. However, there was a gradual increase in cellular hypertrophy increased as from the level of 33.09%, the concentration of crude protein diet. No differences on hematological parameters occurred in fish fed graded levels of crude protein. The dietary level of 33.88% crude

protein provides adequate growth performance with lower retention of body fat, high fillet yield and meat quality for the channel catfish.

Keywords: Channel catfish, catfish, fillet coloring, muscle fiber, hematology, productivity

I – INTRODUÇÃO

O consumo de proteína com alta qualidade nutricional oriunda de organismos aquáticos vem aumentando gradativamente, visto que os consumidores optam por produtos que beneficiem sua saúde (FAO 2014). A excelente combinação dos aspectos fisiológicos, biológicos, reprodutivos, de rusticidade e comercialização, colocou o bagre-do-canal, *Ictalurus punctatus*, como espécie alternativa aos produtos de alta qualidade nutricional (Lee 1991; Morris 1993; Kubitz et al. 1998; Moreira et al. 2001). As características relativas à carne, como o elevado valor nutricional, coloração branca, ausência de espinhos, textura e paladar contribuíram para o aumento no consumo (Lee 1991; Castagnolli 1992). Aliado a essas características, o elevado rendimento de filé, em torno de 45% (Li et al. 2000; Robinson et al. 2004; Li et al. 2008; Peterson et al. 2014) impulsionou o desenvolvimento da atividade pelos criadores.

Devido ao potencial do bagre-do-canal na piscicultura brasileira e o crescimento no consumo de pescado, surgiu a necessidade de estabelecer a exigência proteica para essa espécie, visando à elaboração de dietas balanceadas, com menor impacto ambiental e de mínimo custo. As dietas para peixes possuem elevado conteúdo de proteína e as exigências variam de acordo com a espécie e tamanho do peixe, composição e processamento da dieta e fatores físicos e químicos da água (Garling Jr. e Wilson 1976; Lovell 1989; Pezzato 1997; Rotta 2002; Furuya 2010).

O fornecimento de dieta nutricionalmente balanceada é necessário para permitir o desempenho produtivo e saúde dos peixes (Furuya 2010). Dieta com deficiência de proteína pode resultar em diminuição ou suspensão do crescimento e até perda de peso devido à mobilização da proteína corporal e quando em excesso, a proteína dietética é utilizada para produção de energia e os compostos nitrogenados oriundos desse

metabolismo podem causar eutrofização excessiva e consequente deterioração da qualidade da água e do pescado (Wilson 2002).

Com a atualização das exigências de aminoácidos descritas no *National Research Council* (2011) torna-se importante determinar as exigências de proteína considerando o novo balanceamento de aminoácidos proposto. As exigências proteicas geralmente são determinadas para peixes durante a fase inicial de criação, sendo poucas as informações sobre as exigências de proteína para o bagre-do-canal durante a fase de crescimento-terminação. Além disso, as dietas comerciais geralmente são formuladas com base em dados de ganho de peso e conversão alimentar, não sendo considerados os efeitos sobre o rendimento de filé e a qualidade da carne.

Dessa forma, a utilização de parâmetros que consideram aspectos de qualidade nutricional e desenvolvimento corporal, juntamente com os dados de desempenho produtivo, podem estabelecer valores mais adequados para a exigência de proteína do bagre-do-canal, de forma a maximizar o desempenho animal, estabelecendo uma dieta que promova a melhoria na qualidade do produto final e na homeostase animal.

II – REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Panorama aquícola

Segundo dados da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação, a produção total de pescado originado da pesca e aquicultura foi de 158 milhões de toneladas em 2012. O setor da aquicultura apresenta crescimento exponencial desde a década de 90, passando a contribuir de forma significativa na produção total de pescado, representando no ano de 2012 aproximadamente 42,2% de toda a produção pesqueira. A produção brasileira de pescado atingiu no ano de 2012 cerca de 1.550.448t de pescado, representando 0,98% da produção mundial. Desse montante, a pesca extrativa e continental contribuiu com 842.987t e a aquicultura continental e marinha com o valor de 707.461t de pescado. Assim como acontece no cenário mundial, a participação do pescado originário da pesca brasileira está em declínio. No ano de 2012, a pesca contribuiu com 54,37% do total de pescado brasileiro, valor abaixo do 62,1% que apresentou no ano de 2010. Esse declínio está relacionado com o aumento do pescado oriundo da aquicultura, que no ano de 2010 correspondeu a 37,9%, passando a colaborar em 2012 com 45,63% do total de pescado, representando um acréscimo de 20,39% em relação ao ano anterior (FAO 2014).

No ano de 2012 foram cultivados 66.633.253t de peixes, moluscos e crustáceos pela aquicultura mundial, com a carpa-capim (*Ctenopharyngodon idellus*) ocupando o primeiro lugar (5.028.661t). A 24ª posição no ranking mundial é ocupada pelo bagre-do-canal (*Ictalurus punctatus*), com produção de 394.179t e movimentando a quantia de 638.748 dólares, a espécie corresponde a 0,59% da produção mundial de pescado. Apenas sete países apresentam uma produção considerável do bagre-do-canal. Atualmente, o maior produtor é a China, responsável por 56,74% da produção mundial

com um montante de 224.132t, seguido pelos Estados Unidos, com uma produção de 155.149t de pescado (39,36% do total mundial) e pelo Brasil com 7.145t (1,8% do total mundial). O bagre-do-canal produzido pela aquicultura mundial apresentou ascensão da produção até o ano de 2007 (468.347t) e, posteriormente, declínio até o ano de 2011 (376.352t), porém a produção passou novamente por uma fase ascendente em 2012. Já a produção brasileira apresenta ascensão na produção desde o ano de 2006 (FAO 2014).

2.2. Bagre-do-canal

O bagre-do-canal, comumente conhecido por catfish ou bagre-americano, é um representante da ordem *Siluriforme*, família *Ictaluridae*, e apresenta como característica principal os barbilhões sensitivos bem pronunciados, localizados ao longo da região subterminal da boca, quatro no maxilar inferior e um em cada lado do maxilar superior (Wellborn 1988; Lee 1991). Apresenta corpo alongado, desprovido de escama, cabeça deprimida e coloração variada – dependente da idade e coloração da água, geralmente verde - azulada no dorso, embranquecendo no sentido do ventre, com nadadeiras de raios moles, exceto as peitorais e a dorsal, que possuem espinhos duros e pontiagudos. O formato arredondado e a presença de 24 a 30 raios na nadadeira anal, além da bifurcação pronunciada da nadadeira caudal e presença de nadadeira adiposa são algumas características que podem ser usadas para distingui-lo de outras espécies estreitamente aparentadas. A linha lateral longitudinal que vai do opérculo até a inserção da nadadeira caudal apresenta poros dispostos em toda a sua extensão, com função sensorial (Wellborn 1988; Morris 1993; Moreira et al. 2001).

O bagre-do-canal possui características zootécnicas, organolépticas da carne e mercado bastante atrativas para a piscicultura (Kubitza et al. 1998). Apresenta hábito alimentar onívoro (Lee 1991), boa aceitação da alimentação artificial, ampla faixa de tolerância térmica, facilidade do controle populacional, visto que os exemplares não se reproduzem nos tanques sem que se adotem medidas específicas, facilidade de desova pelo processo artificial, produzindo uma grande quantidade de alevinos, além do rápido crescimento em confinamento (Morris 1993; Moreira et al. 2001).

Associado às características de criação, possuem carne de excelente qualidade, com alto valor nutritivo e elevado rendimento de carcaça (57 a 67%) e de filé (45%) (Li

et al. 2000; Robinson et al. 2004; Li et al. 2006; Li et al. 2008; Peterson et al. 2014). A carne possui coloração branca e textura firme, ausência de espinhos e sabor refinado, que são os requisitos típicos dos peixes preferidos pelo consumidor (Lee 1991; Castagnolli 1992).

Originário dos estados do Golfo do México e do Vale do Mississipi nos Estados Unidos, o bagre-do-canal vem sendo utilizado na piscicultura desde a década de 40 (Wellborn 1987, 1988; Piedras 1990). Entretanto, foi somente na década de 50, que o governo dos Estados Unidos estimulou a prática da piscicultura, principalmente entre os produtores de arroz das várzeas alagadas dos estados centrais do sul do país (Louisiana, Mississipi, Arkansas e Alabama), como alternativa para a reposição de nutrientes perdidos após sucessivas safras (Wellborn 1987). Inicialmente, o processamento do bagre-do-canal foi realizado para minimizar os problemas associados à superprodução. Nos anos 60, a maior parte da área alagada foi utilizada para produzir peixes para pesqueiros e, no início da década de 70 o mercado de pesque-pagues chegou ao ponto de saturação, iniciando a industrialização do pescado (McGilbeny et al. 1989a).

As primeiras indústrias processadoras foram dimensionadas para processar pouco mais de uma tonelada de peixe por dia, porém com o desenvolvimento da atividade, os frigoríficos aumentaram sua capacidade e no ano de 1987 mais de 80% dos exemplares de bagre-do-canal eram processados (McGilbeny et al. 1989a). Juntamente com os grandes investimentos realizados nos frigoríficos, fazendas de produção, fábricas de ração, entre outras, um rígido controle na qualidade do produto foi necessário para promover um marketing que pudesse elevar o consumo desse peixe, até então considerado de baixa qualidade, desenvolvendo dessa forma a cadeia produtiva do bagre-do-canal (McGilbeny et al. 1989a,b).

Como o rápido desenvolvimento demonstrado pela indústria do bagre-do-canal nos Estados Unidos, outros países, acreditando no potencial da espécie, iniciaram sua criação. A introdução do bagre-do-canal no Brasil ocorreu entre os anos de 1972 e 1973 pela Superintendência para o Desenvolvimento da Pesca (SUDEPE) e Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DENOCS). A região de Pentecostes no Ceará desenvolveu os primeiros estudos, e no ano de 1980 os primeiros cultivos foram realizados em Irati – PR, de onde se espalhou para o restante dos estados (Piedras 1990).

Embora o bagre-do-canal apresente potencial de mercado consumidor altamente promissor, surgindo como alternativa aos produtos de alta qualidade nutricional, a

espécie ainda não conseguiu um lugar de destaque entre as espécies cultivadas no país, principalmente por não ser objeto de estudos que subsidiem um melhor sistema de produção com informações confiáveis para o desenvolvimento da atividade.

2.3. Proteína e aminoácidos

Os animais aquáticos exigem os mesmos nutrientes exigidos pelos animais terrestres, como proteínas, carboidratos e lipídeos para manter os processos fisiológicos vitais, crescimento e reprodução (Lima e Ludke 2011; Wu 2013). No caso dos peixes, esses nutrientes podem ser oriundos do meio aquático ou de dietas. Os peixes possuem elevada exigência de proteína quando comparado às aves e suínos, e isso ocorre pelo fato de utilizarem parte dos aminoácidos dietéticos como fonte de energia (NRC 2011).

As fontes proteicas utilizadas na formulação de dietas podem ser de origem animal e vegetal. A proteína de origem animal é geralmente considerada de maior aceitabilidade e valor nutritivo quando comparada com os alimentos de origem vegetal. Entretanto, devido ao custo elevado, há interesse em reduzir ou até mesmo eliminar a inclusão de alimentos de origem animal das dietas comerciais (Robinson e Li 1998; Furuya 2010). A substituição por proteína de origem vegetal pode fornecer benefícios econômicos aos produtores, porém é necessário observar a qualidade final da dieta em termos de estabilidade do grânulo no meio aquático e o valor nutritivo, além dos benefícios econômicos, ambientais, sociais e a qualidade da carne do pescado.

Os aminoácidos apresentam diversas funções no organismo dos peixes (Figura 1) (Wilson 2002; Li et al. 2009). Quando em excesso, são utilizados para a produção de energia e os compostos originados do catabolismo desses aminoácidos são excretados, podendo causar eutrofização no meio ambiente gerando uma deterioração da qualidade da água e, juntamente com o fósforo, promover o aumento na concentração de algas cianofíceas que causam *off-flavor* e redução na qualidade da carne do pescado (Cyrino et al. 2010).

A exigência proteica de uma espécie e o teor de proteína de uma dieta são influenciados por diversos fatores como o tamanho do peixe, função fisiológica, quantidade de alimento fornecido, quantidade e proporção dos aminoácidos da dieta, qualidade da água, quantidade de alimento natural disponível e manejo alimentar

(Garling Jr. e Wilson 1976; Lovell 1989; Pezzato 1997; Rotta 2002; Furuya 2010). Levando em consideração esses fatores, as exigências proteicas para o bagre-do-canal variam de 25 a 45% de proteína bruta, para a fase de crescimento-terminação (Garling Jr. e Wilson 1976; Lovell 1989; Davis et al. 1993; Li et al. 2006).

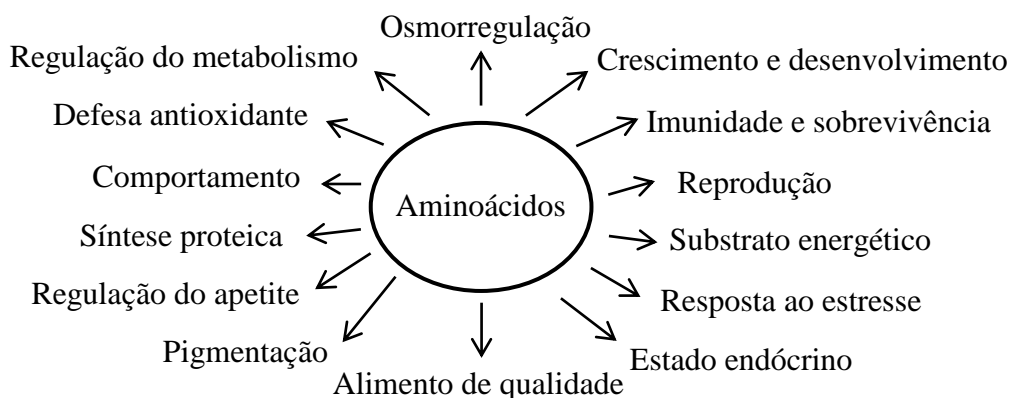


Figura 1. Função dos aminoácidos no crescimento, desenvolvimento e saúde de peixes (Adaptado de Li et al. 2009)

Os peixes não possuem exigência nutricional em proteína *per se*, mas de quantidade e proporções adequadas de aminoácidos para manter os processos fisiológicos vitais. A arginina, fenilalanina, histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, treonina, triptofano e valina são os aminoácidos considerados essenciais, enquanto que o ácido aspártico, ácido glutâmico, alanina, cistina, glicina, prolina, serina e tirosina, entre outros, são considerados aminoácidos não essenciais e podem ser produzidos a partir de aminoácidos essenciais ou outros compostos (Wu 2013).

Os aminoácidos podem ser fornecidos na dieta por meio dos alimentos ou pela inclusão de aminoácidos cristalinos. Embora a dieta elaborada com alimentos de origem animal apresente alto teor proteico e balanço em aminoácidos, dispensando muitas vezes a inclusão dos aminoácidos cristalinos, a formulação de dieta com farinhas de origem vegetal é recomendada. Ao diminuir os teores de proteína das dietas com elevadas proporções de fontes proteicas de origem vegetal, geralmente há necessidade de suplementação com aminoácidos cristalinos para manter o balanço aminoacídico, o que pode onerar o custo da ração (Furuya e Furuya 2010).

O desenvolvimento de pesquisas que considerem a diminuição dos teores de proteína, com valor adequado para a exigência, pode permitir aos piscicultores a

produção de peixes confinados de forma economicamente viável, por meio da elaboração de dieta com menor teor possível de proteína que possa manter o desempenho produtivo, a qualidade da carne e a saúde dos peixes.

2.4. Qualidade do pescado

Dentre os vários critérios para a escolha da espécie a ser cultivada, o maior rendimento das partes comestíveis ainda é um fator decisivo, pois o principal interesse do piscicultor ainda está relacionado ao peso do peixe que será entregue à indústria e à quantidade de carne que será disponibilizada no final do processamento. As características de composição química e qualidade do pescado ainda não são de grande interesse dos criadores, mas a obtenção desses dados é importante nos processos de industrialização, processamento e comercialização do pescado (Santos et al. 2001).

Com o aumento no consumo de pescado, uma melhor qualidade dos produtos passa a ser exigida pelos consumidores. A qualidade da carne envolve vários aspectos, como pH, cor, textura, maciez, capacidade de retenção de água, quantidade de gordura, sabor e suculência, que são características determinantes na decisão de compra da carne (Lawrie 2005). Os consumidores geralmente escolhem e avaliam a qualidade do pescado com base na aparência visual, olfativa e do paladar. Entretanto, o consumidor tem buscado cada vez mais a aquisição de pescado que possa contribuir para a sua saúde, ou seja, pescado com baixos teores de gordura, ácidos graxos de melhor qualidade e elevados teores de proteína (Lawrie 2005).

A maciez é um atributo importante e é caracterizada pela sensação de resistência mecânica do tecido muscular à mastigação. As fibras musculares esqueléticas, especialmente miofibrilas, e o tecido conjuntivo intramuscular, representado pelo endomísio e perimísio, que são compostos de fibrilas e fibras de colágeno, são responsáveis pela característica de maciez da carne, e estão intimamente ligadas com a idade cronológica do animal, pois a estabilidade mecânica das fibrilas aumenta com o aumento da idade (Sinex 1968 *apud* Costa 2006).

Além das fibras musculares, a quantidade de água presente no músculo também é responsável pelas características de suculência e maciez. A capacidade de retenção de água (WHC - do inglês *water holding capacity*) pode ser definida como a habilidade do

músculo de resistir à perda de água (Lakshmanan et al. 2007), influenciando a aparência da carne antes e durante o cozimento. Quando essa capacidade de retenção é baixa, pode promover uma perda do valor nutritivo devido ao exsudado que foi eliminado, trazendo como consequência a produção de uma carne seca com maciez comprometida, já que neste processo ocorre a desnaturação proteica (Moreno et al. 2008; Goñi e Salvadori 2010).

A coloração da carne é um importante aspecto de aceitabilidade do consumidor, e depende principalmente do estado químico dos pigmentos (mioglobina, carotenoides, melaninas, etc.). Em geral, as várias espécies de pescado apresentam coloração própria do músculo, líquido corporal, vísceras e, sobretudo, da pele e couro (Maia e Ogawa 1999). Na natureza, a coloração característica do filé e da pele de alguns peixes é conferida por meio da absorção e deposição de pigmentos (carotenoides) presentes no alimento. Nos sistemas de criações, a adição de pigmentos naturais ou sintéticos na dieta é necessária quando se busca uma intensificação na coloração dos filés (Kubitza 2010). A diferença na pigmentação do músculo depende de fatores como a espécie, dieta, sexo, idade, localização anatômica do músculo, exercício físico, plano de nutrição e a variabilidade interanimais; sendo menos influenciada pelos fatores pós-abate que modificam o comportamento imediato do músculo e durante a estocagem e processamento (Lawrie 2005).

Com o objetivo de normalizar a medição e especificação da cor, em 1931 a *Commission Internationale de l'Eclairage* (CIE) adotou os seguintes métodos: uso de fontes de luz-padrão definidas pela CIE, condições exatas para observação ou medição da cor, uso de unidades matemáticas apropriadas para expressar a cor e definição do observador-padrão (Jiménez e Gutiérrez 2001). Em 1976, a CIE recomendou o uso da escala de cor CIE $L^* a^* b^*$, ou CIELAB. O máximo valor de L^* (luminosidade) é 100, e representa uma perfeita reflexão difusa, enquanto que o valor mínimo é zero e constitui o preto. Os eixos a^* e b^* não apresentam limites numéricos específicos, sendo que a coordenada para a cor a^* varia do vermelho ($+a^*$) ao verde ($-a^*$), e a coordenada para a cor b^* do amarelo ($+b^*$) ao azul ($-b^*$) (Figura 2).

Os processos enzimáticos que ocorrem no pescado, como a desnaturação das proteínas miofibrilares causada pelo estresse na despesca ou transporte, por exemplo, promovem um rápido declínio no pH muscular, promovendo maiores valores na luminosidade do pescado, aumento na perda de água por gotejamento e podem reduzir a força de cisalhamento, prejudicar a maciez da carne como resultado da proteólise

miofibrilar (Skjervold et al. 2001; Sañudo 2004), e por isso devem ser monitorados para evitar a depreciação do produto final.

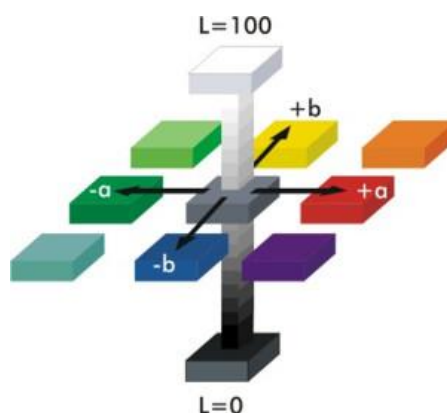


Figura 2. Espaço de cor CIELAB na determinação da cor e luminosidade (Alves 2011)

Inúmeros fatores podem influenciar a composição química do pescado, sendo alguns de natureza intrínseca tais como a espécie, fatores genéticos, anatômicos (tamanho e forma) e fisiológicos (migração e desenvolvimento gonadal); e outros de natureza extrínseca tais como clima, estação do ano, abundância e tipo de alimentação, também podem afetar a composição corporal (Lie 2001). Dessa forma, a adequada alimentação é importante, pois quando formulada adequadamente permite maior eficiência no uso de seus nutrientes tornando a composição química do corpo e da carne de peixes mais apropriada para conservação e consumo humano.

2.5. Tecido muscular

O crescimento corporal e o tamanho em vertebrados superiores relacionam-se com a dinâmica do crescimento da musculatura estriada esquelética ocasionada por hiperplasia e hipertrofia. O crescimento hiperplástico do músculo refere-se ao aumento do número das fibras musculares, devido à fusão das células satélites ativadas, que estão localizadas entre a membrana e a lâmina basal da fibra muscular, resultando na formação de novas fibras musculares. Na hipertrofia as células satélites ativadas se fundem com fibras musculares existentes e aumentam o número de núcleos para maior síntese de miofibrilas, levando ao aumento na área da fibra muscular (Rowlerson e Veggetti 2001).

Diferentemente do que acontece na maioria dos vertebrados superiores, onde a hiperplasia cessa em um curto período de crescimento (Johnston et al. 2000), o número das fibras musculares dos peixes continua aumentando mesmo após a finalização da diferenciação embrionária (Rowlerson e Veggetti 2001).

Muitas espécies aquícola e de interesse comercial, são consideradas de crescimento indeterminado e, portanto não se consegue determinar seu tamanho ou peso final. Nessas espécies, o crescimento muscular hiperplástico e hipertrófico é observado durante todo o período de crescimento do peixe, sendo a hiperplasia mais intensa na fase juvenil e a hipertrofia, na fase adulta (Dal Pai et al. 2000; Dal Pai Silva et al. 2003; Almeida et al. 2008, 2010). Já para as espécies de crescimento determinado, alguns estudos sugerem que o aumento no número das fibras musculares ocorre até que o peixe atinja 44% do seu tamanho final, com posterior crescimento das fibras musculares apenas por hipertrofia (Johnston et al. 2003; Weatherley et al. 1988; Zimmerman e Lowery 1999).

De acordo com a coloração e força de contração da musculatura estriada esquelética, as fibras musculares podem ser classificadas como fibras vermelhas, ou de contração lenta, e fibras brancas, de contração rápida (Sänger e Stoiber 2001). As fibras de coloração branca apresentam grande importância na aquicultura, pois seu crescimento está relacionado com o aumento no tamanho corporal dos peixes devido ao crescimento da musculatura, constituindo a principal parte comestível (Zimmerman e Lowery 1999).

Durante o crescimento muscular dos peixes, observa-se um mosaico de fibras musculares com diferentes diâmetros (associação de fibras grande e pequenas). Dessa forma, considera-se que fibras com diâmetros menores que 20 μm indicam ocorrência de hiperplasia, enquanto diâmetros maiores que 50 μm se relacionam com a hipertrofia (Valente et al. 1999; Rowlerson e Veggetti 2001).

As contribuições da hiperplasia e hipertrofia para o crescimento muscular são variáveis, dependendo da espécie, sexo, fase de crescimento, dieta e manejo nutricional, temperatura da água, tipo de músculo, entre outros (Dal Pai et al. 2000; Rowlerson e Veggetti 2001). Assim, são importantes os fatores nutricionais que atuam no crescimento muscular, devido ao aumento no número e área das fibras musculares existentes, pois permitem aos peixes um melhor desenvolvimento corporal (Alami-Durante et al. 2010; Carani et al. 2014).

2.6. Hematologia

O sangue é responsável por levar nutrientes e retirar resíduos dos tecidos que estão relacionadas com as diversas atividades metabólicas. É constituído pelo plasma e por várias células especializadas. O plasma é uma solução aquosa composta por água e sais orgânicos e inorgânicos, como proteínas plasmáticas, vitaminas, hormônios, enzimas, entre outros. Já as células especializadas, como os eritrócitos, leucócitos e trombócitos, apresentam funções distintas (Bessis 1973 *apud* Sousa et al. 2013; Satake et al. 2009).

Os eritrócitos são as células vermelhas, encontradas em maior quantidade na circulação sanguínea e são responsáveis pelo transporte de oxigênio e gás carbônico entre o sangue e os tecidos; os leucócitos são as células de defesa relacionadas com a resposta imune e reparo tecidual e podem ser utilizados para avaliar o sistema imunológico, já os trombócitos estão relacionados com a coagulação sanguínea (Tavares-Dias e Moraes 2004; Ranzani-Paiva et al. 2013).

O estudo da hematologia contribui para a compreensão das condições de equilíbrio basal e condições patológicas dos animais, auxiliando na determinação de situações que possam afetar a homeostase, influenciadas pela dieta, enfermidades e outras situações de estresse ambiental, colaborando com possíveis diagnósticos de condições adversas (Oliveira-Ribeiro et al. 2000; Tavares-Dias e Moraes 2004, 2007a,b; Tavares-Dias et al. 2009). Dessa forma, a avaliação hematológica está se tornando uma prática rotineira para a determinação da saúde dos peixes (Tavares-Dias e Morais 2004, 2007a, b).

Fatores como espécie, idade, sexo, variação genética, estado nutricional, maturação gonadal, sazonalidade, qualidade de água e os métodos de captura, contribuem para a variabilidade dos parâmetros hematológicos em peixes (Kori-Siakpere 1985; Klinger et al. 1996). Além disso, a falta de padronização dos métodos e nomenclaturas dificulta a comparação dos resultados de diferentes estudos, devendo-se estes então, serem determinados para cada condição de cultivo (Klinger et al. 1996), dificultando a utilização dessa ferramenta na investigação da saúde dos animais cultivados.

Quando ocorre deficiência de algum aminoácido, a produção de eritrócitos (eritropoiese) pode ser prejudicada, assim como também pode ocorrer decréscimo na produção de hemoglobina, causando anemia (Brandão et al. 2006). As atividades

eritropoiéticas relacionadas ao número de eritrócitos e concentração de hemoglobina são indicadores da capacidade do transporte de oxigênio, influência de hipóxia, exercício, estresse induzido, estágio reprodutivo e variações sazonais e quando encontradas em maior concentração no sangue indicam uma maior atividade eritropoiética (Ranzani-Paiva et al. 2004). A concentração de hemoglobina corpuscular média, assim como o número e volume de eritrócitos e percentual de hematócrito, pode variar nas diversas espécies de peixes devido à atividade ecológica e posição na escala evolutiva (Tavares-Dias e Moraes 2004), além da manipulação na alimentação (Camargo et al. 2005; Melo et al. 2006).

Os leucócitos são as células responsáveis pela defesa do organismo e utilizam as vias sanguíneas para realizar o monitoramento de possíveis infecções e/ou injúrias teciduais (Tavares-Dias et al. 2009). A elevação dos leucócitos pode ser uma resposta ao estresse, devido a fatores como modo de vida relacionado ao cultivo, mudanças na qualidade da água, teor de oxigênio dissolvido, temperatura, pH, condutividade elétrica, entre outros, e promovem uma imunidade reduzida nos peixes (Ranzani-Paiva et al. 2004).

A composição bioquímica do plasma e soro sanguíneo demonstra a situação metabólica dos tecidos animais e por meio delas é possível detectar alterações no funcionamento dos órgãos e a adaptação do animal diante aos desafios nutricionais, fisiológicos e desequilíbrios metabólicos, específicos ou de origem nutricional (González e Scheffer 2003; Tavares-Dias e Moraes 2004).

A determinação das concentrações séricas de proteínas vem se tornando um procedimento valioso para o entendimento dos processos fisiopatológicos, sendo utilizado em animais sadios e doentes. As alterações no padrão das proteínas totais não são características de uma doença em particular, mas podem trazer importantes informações diagnósticas, quando usado em conjunto com outras informações clínicas e laboratoriais, sendo importante para o diagnóstico, o prognóstico e a avaliação do curso de algumas enfermidades (Kaneko 1997; Feldman et al. 2000).

O estresse pode levar à ativação dos glicocorticoides no organismo dos peixes, cujos níveis de cortisol no sangue são elevados e com isso ocorrem modificações bioquímicas, fisiológicas e metabólicas observadas por meio de alterações dos padrões de colesterol, albumina, glicose, proteínas totais e queda no controle osmorregulatório (Vosyliené 1999). A glicose é referida como um parâmetro comum para avaliar o estresse em peixes (Iwama 1998), pois a resposta adrenérgica, que resulta em aumento

de catecolaminas plasmáticas, pode incluir a hiperglicemia como um dos efeitos metabólicos.

O colesterol é uma substância complexa que apresenta muitas funções no organismo, sendo um componente fundamental para a integridade das células e para a produção de hormônios, porém quando ocorrem problemas em seu metabolismo, a concentração sanguínea pode elevar (Ludke e Lopes 1999), já os triglicerídeos são importantes fontes de reserva energética para os momentos de jejum prolongado ou alimentação insuficiente.

O efeito de diferentes níveis de proteína no crescimento e parâmetros sanguíneos tem sido relatado em teleósteos dulcícolas e marinhos, entretanto pouco são os estudos com o bagre-do-canal. O claro conhecimento da resposta hematológica, para diferentes dietas, pode ser útil para novas formulações, entretanto, a determinação da exigência nutricional ainda baseia-se somente na avaliação do desempenho produtivo dos peixes.

2.7. Literatura Citada

- Alami-Durante, H., F. Médale, M. Cluzeauda and S. J. Kaushik. 2010. Skeletal muscle growth dynamics and expression of related genes in white and red muscles of rainbow trout fed diets with graded levels of a mixture of plant protein sources as substitutes for fishmeal. *Aquaculture* 303:50–58.
- Almeida, F. L. A., R. F. Carvalho, D. Pinhal, C. R. Padovani, C. Martins and M. Dal Pai-Silva. 2008. 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* 39:1306-1311.
- Almeida, F. L. A., N. S. Pessotti, D. Pinhal, C. R. Padovani, N. J. Leitão, R. F. Carvalho, C. Martins, M. C. Portella and M. Dal Pai-Silva. 2010. Quantitative expression of myogenic regulatory factors MyoD and myogenin in pacu (*Piaractus mesopotamicus*) skeletal muscle during growth. *Micron* 41:997-1004.
- Alves, T. T. 2011. Cor – Espaço de cor Lab. Disponível em <http://corisectelmo.blogspot.com.br/2011/01/aula-21-espaco-de-cor-lab.html>. Acesso em 02 de outubro de 2015.
- Bessis, M. 1973. Living Blood Cells and Their Ultrastructure. Springer, Berlin, Germany, *apud* Sousa, F. M. C., A. M. Conde Júnior, H. B. Fernandes, E. N. S. Edlin and E. A. M. Fortes. 2013. Morfologia das células sanguíneas de mandi (*Pimelodus maculatus*, Lacépède, 1803). *Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária*, 21:1-14.
- Brandão, F. R., L. C. Gomes and E. C. Chagas. 2006. Respostas de estresse em pirarucu *Arapaima gigas* durante práticas de rotina em piscicultura. *Acta Amazônica* 36:343-350.

- Camargo, S. O., J. L. Pouey and C. Martins. 2005. Parâmetros hematológicos de jundiá (*Rhamdia quelen*) submetido à dieta com diferentes níveis de proteína. *Ciência Rural* 35(6):1406-1411.
- Carani, F. R., B. O. da S. Duran, W. P. Piedade, F. A. A. da Costa, V. M. F. de Almeida-Val and M. Dal-Pai-Silva. 2014. Expression of growth-related factors in skeletal muscle of pirarucu (*Arapaima gigas*) during growth. *Journal of Aquaculture Research & Development* 5(6):1-7.
- Castagnolli, N. 1992. Criação de peixes de água doce. FUNEP press, Jaboticabal, São Paulo, Brazil.
- Cyrino, J. E. P., Á. J. A. Bicudo, R. Y. Sado, R. Borghesi and J. K. Dairiki. 2010. A piscicultura e o ambiente: o uso de alimentos ambientalmente corretos em piscicultura. *Revista Brasileira de Zootecnia* 39:68-87.
- Dal Pai, V., M. Dal Pai-Silva, E. D. Carvalho, C. Y. Fujihara, E. A. Gregório and P. R. Curi. 2000. Morphological, histochemical and morphometric study of the myotomal muscle tissue of pacu (*Piaractus mesopotamicus*, Holmberg, 1887: *Serrasalminae, Characidae, Teleostei*). *Anatomia, Histologia, Embriologia* 29:283-289.
- Dal Pai-Silva, M., E. M. S. Freitas, V. Dal Pai and A. C. Rodrigues. 2003. Morphological and histochemical study of myotomal muscle in pacu (*Piaractus mesopotamicus*) during the initial growth phases. *Archive of Fishery and Marine Research* 50:149-160.
- Davis, J. T., D. M. Gatlin III and Max R. Alleger. 1993. Channel catfish production: Impacts of diet composition and feeding practices. Southern Regional Aquaculture Center – Publication nº 187, Texas A&M University, Texas, United States.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2014. Fishery and Aquaculture Statistics. Rome, Italy.
- Feldman, B. C., J. G. Zinkil and M. C. Jain. 2000. Veterinary hematology. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, Pennsylvania, United States.
- Furuya, W. M. 2010. Tabelas Brasileiras para Nutrição de Tilápias. Ed GFM, Toledo, Paraná, Brazil.
- Furuya, W. M. and V. R. B. Furuya. 2010. Nutritional innovation on amino acids supplementation in Nile tilapia diets. *Revista Brasileira de Zootecnia* 39:88-94.
- Garling Jr., D. L. and R. P. Wilson. 1976. Optimum dietary protein to energy ratio for channel catfish fingerlings, *Ictalurus punctatus*. *Journal of Nutrition* 106:1368-1375.
- Goñi, S. M. and V. O. Salvadori. 2010. Prediction of cooking times and weight losses during meat roasting. *Journal of Food Engineering* 100:1-11.
- González, F. H. D. and J. F. S. Scheffer. 2003. Perfil sanguíneo: ferramenta de análise clínica, metabólica e nutricional. Pages 73-89 in Gonzáles, F. H. D. and R. Campos (Eds.). I Simpósio de patologia clínica veterinária da região sul do Brasil. UFRGS, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brazil.
- Iwama, G. K. 1998. Stress in fish. *Annals of the New York Academy of Sciences* 851:304-310.
- Jiménez, A. and G. Gutiérrez. 2001. Color. Pages 325-346 in Alvarado, J. D. and J. M. Aguilera (Eds.). Métodos para medir propiedades físicas em indústrias de alimentos. Editorial Acribia S.A., Zaragoza, Spain.
- Johnston, I. A., R. Alderson, C. Sandham, A. Dingwall, D. Mitchell, C. Selkirk, D. Nickell, R. Baker, B. Robertson, D. Whyte and J. Springate. 2000. Muscle fibre

- density in relation to colour and texture of smoked Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture* 185:335-349.
- Johnston, I. A., S. Manthri, R. Alderson, A. Smart, P. Campbell, D. Nickel, B. Robertson, C. G. M. Paxton and M. L. Burt. 2003. Freshwater environment affects growth rate and muscle fibre recruitment in seawater stages of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Journal of Experimental Biology* 203:2539-2552.
- Kaneco, J. J. 1997. *Clinical biochemistry of domestical animals*. Academic press, New York, New York, United States.
- Klinger, R. C., V. S. Blazer and C. Echevarria. 1996. Effects of dietary lipid on the hematology of channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Aquaculture* 47:225-233.
- Kori-Siakpere, O. 1985. Haematological characteristics of *Clarias isheriensis* Sydenham. *Journal of Fish Biology* 27:259-263.
- Kubitza, F. 2010. *Tilápia: tecnologia e planejamento na produção comercial*. F. Kubitza press, Jundiaí, São Paulo, Brazil.
- Kubitza, F., J. L. C. Campos and J. A. Brum. 1998. A produção intensiva de surubins no Projeto Pacu Ltda. e Agropeixe Ltda. Pages 393-407 in Valenti, W. C., S. Zimmermann, C. R. Poli, A. T. B. Poli, F. R. de Moraes, G. Volpato and M. R. Câmara (Eds.). X Simpósio Brasileiro de Aquicultura, Recife, Pernambuco, Brazil.
- Lakshmanan, R., J. A. Parkinson and J. R. Piggott. 2007. High-pressure processing and water-holding capacity of fresh and cold-smoked salmon (*Salmo salar*). *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie* 40:544-551.
- Lawrie, R. A. 2005. *Ciência da carne*. Artmed, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brazil.
- Lee, J. S. 1991. *Commercial catfish farming*. Interstate press, Danville, Illinois, United States.
- Li, M. H., B. G. Bosworth and E. H. Robinson. 2000. Effect of dietary protein concentration on growth and processing yield of channel catfish *Ictalurus punctatus*. *Journal of the World Aquaculture Society* 31(4):592-598.
- Li, M. H., E. H. Robinson and D. F. Oberle. 2006. Effects of dietary protein concentration and feeding regimen on channel catfish, *Ictalurus punctatus*, production. *Journal of the World Aquaculture Society* 37(4):370-377.
- Li, M. H., E. H. Robinson, C. S. Tucker, D. F. Oberle and B. G. Bosworth. 2008. Comparison of channel catfish, *Ictalurus punctatus*, and blue catfish, *Ictalurus furcatus*, fed diets containing various levels of protein in production ponds. *Journal of the World Aquaculture Society* 39(5):646-655.
- Li, P., K. S. Mai, J. Trushenski and G. Wu. 2009. New developments in fish amino acid nutrition: towards functional and environmentally oriented aquafeeds. *Amino Acids* 37:43-53
- Lie, O. 2001. Flesh quality – the role of nutrition. *Aquaculture Research* 32:341-348.
- Lima, M. R. and M. C. M. M. Ludke. 2011. Utilização de ingredientes energéticos pela tilápia do Nilo. *Revista Eletrônica Nutritime* 8:1418-1430.
- Lovell, R. T. 1989. *Nutrition and feeding of fish*. Van Nostrand Reinhold, New York, New York, United States.
- Ludke, M. C. M. M. and J. Lopez. 1999. Colesterol e composição dos ácidos graxos nas dietas para humanos e na carcaça suína. *Ciência Rural* 29:181-187.
- Maia, E. L. and M. Ogawa. 1999. Cor. Pages 75-85 in Ogawa, M. and E. L. Maia (Eds.). *Manual de pesca (Ciência e tecnologia do pescado)*. Livraria Varela, São Paulo, Brazil.
- McGilbeny, J. H., V. Culver, G. Brooks, K. Hood, S. Dean and D. LaBruyere. 1989a. Processed catfish: product forms, packaging, yields and product mix. *Southern*

- Regional Aquaculture Center - Publication n° 184, Texas A&M University, Texas, United States.
- McGilbeny, J. H., V. Culver, G. Brooks, K. Hood, S. Dean and D. LaBruyere. 1989b. Processed catfish: product quality and quality control. Southern Regional Aquaculture Center - Publication n° 185, Texas A&M University, Texas, United States.
- Melo, J. F. B., M. Tavares-Dias, L. M. Lundstedt and G. Moraes. 2006. Efeito do conteúdo de proteína na dieta sobre os parâmetros hematológicos e metabólicos do bagre sul americano *Rhamdia quelen*. Revista Ciência Agroambiental 1:43-51.
- Moreira, H. L. M., L. Vargas, R. P. Ribeiro and S. Zimmermann. 2001. Fundamentos da Aquicultura Moderna. ULBRA press, Canoas, Rio Grande do Sul, Brazil.
- Moreno, G. M. B., C. M. B. Loureiro and H. B. A. Souza. 2008. Características qualitativas da carne ovina. Revista Nacional da Carne 381:76-90.
- Morris, J. E. 1993. Pond culture of channel catfish in the North Central region. North Central Regional Aquaculture Center - Publication n° 444, Iowa State University, Iowa, United States.
- NRC (National Research Council). 2011. Nutrient requirements of fish and shrimp. National Academy Press, Washington, United States.
- Oliveira-Ribeiro, C. A., E. Pelletier, W. C. Pfeiffer and C. Rouleau. 2000. Comparative uptake, bioaccumulation, and gill damages of inorganic mercury in tropical and Nordic freshwater fish. Environmental Research 83:286-292.
- Peterson, B. C., B. G. Bosworth, M. H. Li, R. Beltran Jr., and G. A. Santos. 2014. Assessment of a phytogenic feed additive (digestarom p.e.p. mge) on growth performance, processing yield, fillet composition, and survival of channel catfish. Journal of the World Aquaculture Society 45(2):206-212.
- Pezzato, L. E. 1997. O estabelecimento das exigências nutricionais das espécies cultivadas. Pages 45-62 in Simpósio sobre manejo e nutrição de peixes. Piracicaba, São Paulo, Brazil.
- Piedras, S. R. 1990. Manual prático para o cultivo do channel catfish (*Ictalurus punctatus*). Educat press, Pelotas, Rio Grande do Sul, Brazil.
- Ranzani-Paiva, M. J. T., R. M. Takemoto and M. A. P. Lizama. 2004. Sanidade de organismos aquáticos. In Ranzani-Paiva, M. J. T. and A. T. Silva-Souza. (Eds.). Hematologia de peixes brasileiros. Varela, São Paulo, São Paulo, Brazil.
- Ranzani-Paiva, M. J. T., S. B. Pádua, M. Tavares-Dias and M. I. Egami. 2013. Métodos para análise hematologia de peixes. UEM press, Maringá, Paraná, Brazil.
- Robinson, E. H. and M. H. Li. 1998. Comparison of practical diets with and without animal protein at various concentrations of dietary protein on performance of channel catfish *Ictalurus punctatus* raised in earthen ponds. Journal of the World Aquaculture Society 29(3):273-280.
- Robinson, E. H., M. H. Li, B. B. Manning, C. C. Mischke and B. G. Bosworth. 2004. Effects of dietary protein and feeding rate on channel catfish *Ictalurus punctatus* production, composition of gain, processing yield, and water quality. Journal of the World Aquaculture Society 35(4):468-477.
- Rotta, M. A. 2002. Utilização da energia e da proteína pelos peixes. Documentos 40 - Embrapa Pantanal, Corumbá, Mato Grosso do Sul, Brazil.
- Rowlerson, A. and A. Veggetti. 2001. Cellular mechanisms of post-embryonic muscle growth in aquaculture species. Pages: 103-139 in Johnston, I. A. (Eds). Muscle Development and Growth. Academic Press, London, England.

- Sänger, A. M. and W. Stoiber. 2001. Muscle fiber diversity and plasticity Pages 187-250 in Johnston, I. A. (Eds.). Muscle Development and Growth. Academic Press London, England.
- Santos, A. B., J. F. B. Melo, P. R. S. Lopes and M. B. Malgarim. 2001. Composição química e rendimento do filé da traíra (*Hoplias malabaricus*). Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia 7(1):33-39.
- Sañudo, C. 2004. Análisis Sensorial - Calidad organoléptica de la carne. Pages 45-68 in Curso Internacional de Análise Sensorial de Carne e Produtos Cárneos. Pelotas, Rio Grande do Sul, Brazil.
- Satake, F., S. B. Pádua and M. M. Ishikawa. 2009. Distúrbios morfológicos em células sanguíneas de peixes em cultivo: uma ferramenta prognóstica. Pages 330-345 in Tavares-Dias, M. (Eds.). Manejo e Sanidade de Peixes em Cultivo. Embrapa Amapá, Amapá, Macapá, Brazil.
- Sinex, F. M. 1968. The role of collagen in aging. Pages 409-448 in Gould B. S. (Eds.). Treatise in Collagen. Academic Press, New York, United States, *apud* Costa, F. da. 2006. Caracterização do processo de *rigor mortis* e da maciez dos músculos *Gastrocnemius* e *Pectoralis* e efeito da radiação gama na vida comercial da carne de peru (*Meleagris gallopavo*). Master's thesis. Universidade Federal de Fluminense. Niterói, Rio de Janeiro, Brazil.
- Skjervold, P. O., S. O. Fjaera, P. B. Ostby and O. Einen. 2001. Live-chilling and crowding stress before slaughter of Atlantic salmon (*Salmo solar*). Aquaculture 192:265-280.
- Tavares-Dias, M. and F. R. Moraes. 2004. Hematologia de peixes teleósteos. Villimpress Complexo Gráfico, Ribeirão Preto, São Paulo, Brazil.
- Tavares-Dias, M. and F. R. Moraes. 2007a. Haematological and biochemical reference intervals for farmed channel catfish. Journal of Fish Biology 71:383-388.
- Tavares-Dias, M. and F. R. Moraes. 2007b. Leukocyte and thrombocyte reference values for channel catfish (*Ictalurus punctatus* Raf.), with an assessment of morphological, cytochemical, and ultrastructural features. Veterinary Clinical Pathology 36:49-54.
- Tavares-Dias, M., M. M. Ishikawa, M. L. Martins, F. Satake, H. Hisano, S. B. Pádua, G. T. Jerônimo and A. R. S. Sá. 2009. Tópicos especiais em saúde e produção animal. Pages 43-80 in Brito, P. A. M., J. R. M. Brito and V. Miotello (Eds.). Hematologia - Ferramenta para o monitoramento do estado de saúde de peixes em cultivo. Pedro e João Editores, São Carlos, São Paulo, Brazil.
- Valente, L. M. P., E. Rocha, E. F. S. Gomes, M. W. Silva, M. H. Oliveira, R. A. F. Monteiro and B. Fauconneau. 1999. Growth and dynamics of white and red muscle fibres in fast- and slow-growing strains of rainbow trout. Journal of Fish Biology 55:675-691.
- Vosylienė, M. Z. 1999. The effects of heavy metals in haematological indices of fish (Survey). Acta Zoologica Lituanica 9:76-82.
- Wellborn, T. L. 1987. Catfish farmer's handbook. Mississippi State University. Mississippi, United States.
- Wellborn, T. L. 1988. Channel catfish: Life history and biology. Southern Regional Aquaculture Center - Publication n° 180. University of Florida. Florida, United States.
- Wilson, R. P. 2002. Amino acid and proteins. Pages 143-179 in Halver, J. E. and R. W. Hardy (Eds.). Fish nutrition. Academic Press, Amsterdam, Netherlands.
- Wu, G. 2013. Functional amino acids in nutrition and health. Springer 45:407-411.

- Weatherley, A., H. Gill and A. F. Lobo. 1988. Recruitment and maximal diameter of axial muscle fibers in the teleosts and their relationship to somatic growth and ultimate size. *Journal of Fish Biology* 33:851-859.
- Zimmerman, A. M. and M. S. Lowery. 1999. Hyperplastic development and hypertrophic growth of muscle fibers in the white seabass (*Atractoscion nobilis*). *Journal of Experimental Zoology* 284:299-308.

III - OBJETIVOS

Determinar a exigência de proteína para o bagre-do-canal, *Ictalurus punctatus*, na fase de crescimento-terminação, com base no desempenho produtivo, qualidade da carne, crescimento muscular e resposta hematológica.

IV - Exigências de Proteína para o Bagre-do-Canal, Ictalurus punctatus, com Base no Desempenho Produtivo, Qualidade da Carne, Crescimento Muscular e Parâmetros Sanguíneos

Resumo

O presente estudo foi realizado com o objetivo de determinar as exigências de proteína bruta para o bagre-do-canal, Ictalurus punctatus, na fase de crescimento-terminação, com base no desempenho produtivo, qualidade da carne, crescimento muscular e parâmetros sanguíneos. Os peixes (N = 594; $66 \pm 0,5$ g), distribuídos em 18 tanques-rede de 1000L em delineamento inteiramente casualizado, com seis tratamentos e três repetições (33 peixes por tanque), foram alimentados com dietas extrusadas contendo 24,36; 27,08; 29,50; 33,09; 35,71 e 38,52% de proteína bruta, duas vezes ao dia, até saciedade aparente. Peixes alimentados com dietas contendo níveis crescentes de proteína apresentaram aumento linear no peso final, ganho de peso e melhora linear na conversão alimentar. Foi observado efeito quadrático dos níveis de proteína sobre o rendimento de carcaça, rendimento de filé e eficiência de retenção de nitrogênio, em que os maiores valores das variáveis foram estimados em peixes alimentados com 33,79; 33,88 e 31,24% de proteína bruta, respectivamente. Foi observado aumento linear no conteúdo de proteína bruta corporal com o aumento dos níveis para a proteína bruta nas dietas. Foi observado efeito quadrático dos teores de proteína bruta nas dietas sobre a gordura visceral, gordura corporal e nos filés, em que os menores valores das variáveis foram obtidos em peixes que receberam dietas com 33,35; 34,58 e 34,31% de proteína bruta, respectivamente. Os peixes que receberam a dieta com 33,09% de proteína apresentaram filés mais avermelhados quando comparados com os alimentados com 24,36; 27,08 e 38,52% de proteína bruta; e mais amarelados quando comparado aos arraçoados com dietas de 27,08; 35,71 e 38,52%. A menor perda de líquidos e perda de água foi observada em filés de peixes que receberam a dieta com 29,50% de proteína bruta, comparado aos peixes que receberam a dieta com 24,36%. O nível de proteína

bruta da dieta não influenciou a frequência de ocorrência das fibras em diferentes classes de diâmetro. Entretanto verificou-se um aumento gradativo na hipertrofia celular conforme acréscimo, a partir do nível de 33,09%, na concentração de proteína bruta da dieta. Não houve diferenças sobre os parâmetros hematológicos. A dieta com 33,88% de proteína bruta proporciona adequado desempenho produtivo, com menor retenção de gordura corporal, elevado rendimento de filé e qualidade da carne para o bagre-do-canal.

Palavras-chaves: Bagre-americano, catfish, coloração de filé, fibra muscular, hematologia, produtividade

IV - Protein Requirements for Channel Catfish, Ictalurus punctatus, Based on Growth Performance, Meat Quality, Muscle Growth and Blood Parameters

Abstract

This work was accomplished in order to determine the crude protein requirements of the channel catfish, Ictalurus punctatus, in the growing-finishing phase, based on growth performance, meat quality, muscle growth and blood parameters. The fish (N = 594; $66 \pm 0,5$ g) were distributed in 18 cages in a completely randomized design, with six treatments and three replicates (33 fish per cages); they were fed with extruded diets containing 24.36, 27.08, 29.50, 33, 09, 35.71 and 38.52% crude protein, twice daily until satiation. Fish fed diets containing graded levels of crude protein levels showed linear increase on final weight, weight gain and linear improvement in feed conversion. It was observed quadratic effect of protein levels on carcass yield, fillet yield and efficiency in nitrogen retention, where the highest values of these variables were estimated in fish fed 33.79; 33.88 and 31.24% crude protein levels, respectively. A linear increase in body crude protein contents in fish fed graded levels for crude protein diets was observed. A quadratic effect of dietary crude protein levels on visceral fat, body fat and fillets were observed, in which the lowest values of the variables were obtained in fish fed diets containing 33.35; 34.58 and 34.31% crude protein, respectively. The fish fed diet containing 33.09% protein showed reddish fillet compared to fish fed 24.36, 27.08 and 38.52% crude protein; and more yellowish fillet when compared to fish fed 27.08, 35.71 and 38.52%. The lowest fluid and water losses were observed in fillet of fish fed 29.50% crude protein, compared to fish fed 24.36% crude protein. The level of crude protein diet did not influence the frequency of occurrence of the fibers in different diameter classes. However there was a gradual increase in cellular hypertrophy increased as from the level of 33.09%, the concentration of crude protein diet. No differences on hematological parameters

occurred in fish fed graded levels of crude protein. The dietary level of 33.88% crude protein provides adequate growth performance with lower retention of body fat, high fillet yield and meat quality for the channel catfish.

Keywords: Channel catfish, catfish, fillet coloring, muscle fiber, hematology, productivity

A determinação da exigência de proteína deve ser priorizada em estudos de nutrição de peixes, devido a sua importância na composição dos custos da dieta e por afetar diretamente o crescimento e saúde dos peixes (Meyer e Fracalossi 2004). O nível inadequado deste nutriente pode resultar em diminuição, suspensão do crescimento ou até perda de peso devido à mobilização da proteína dos tecidos menos vitais para manter as funções dos tecidos mais vitais (Wu 2013).

Os peixes não possuem exigência de proteína per se, mas de dietas que atendam às exigências quantitativas de aminoácidos e, para maximizar a utilização dos mesmos, é necessário o seu adequado balanceamento. O consumo regular desse nutriente é necessário porque os aminoácidos são utilizados constantemente para a construção de novas proteínas, crescimento e reprodução, para substituir as proteínas que são degradadas e para a manutenção de tecidos, órgãos e outros compostos relacionados com o metabolismo, incluindo hormônios, neurotransmissores, purinas e enzimas metabólicas (NRC 2011). Entretanto, o fornecimento de dietas com excesso de aminoácidos resulta em maior excreção de compostos nitrogenados e, juntamente com o fósforo, contribuem para a produção primária, que pode deteriorar a qualidade da água e a qualidade do pescado pela ocorrência de off-flavor (Ferreira et al. 2005; Cyrino et al. 2010).

Com o aumento no consumo de pescado, uma melhor qualidade dos produtos passa a ser exigida; entretanto, os consumidores que, até então, estavam apenas preocupados com o valor e sabor, passam cada vez mais a buscar produtos que atendam às suas necessidades nutricionais, com menor quantidade de gordura, melhor perfil de ácidos graxos, teores mais elevados de proteína, além de melhor aroma, sabor, suculência, aparência e consistência, entre outros (Lawrie 2005). A utilização de concentração adequada de proteína na dieta pode diminuir a deposição de gordura e

aumentar o teor proteico dos filés, além de melhorar o rendimento de carcaça e do filé (Li et al. 2006).

Diferentemente do que acontece com a maioria dos vertebrados superiores, o número das fibras musculares dos peixes continua aumentando mesmo após a finalização da diferenciação embrionária. Em espécies aquícola, de tamanho indeterminado, observa-se durante todo o período de desenvolvimento do peixe, que o crescimento das fibras musculares ocorre por hiperplasia, sendo mais intensa na fase juvenil, e por hipertrofia, com maior ocorrência na fase adulta (Dal Pai et al. 2000; Dal Pai Silva et al. 2003; Almeida et al. 2008, 2010).

O aumento no tamanho corporal dos peixes está relacionado, principalmente com o crescimento muscular, ocasionado pelo desenvolvimento hiperplástico e hipertrófico das fibras musculares brancas (Zimmerman e Lowery 1999). De forma geral, são importantes os fatores nutricionais que atuam no crescimento muscular, devido ao aumento no número e área das fibras musculares existentes, pois permitem um melhor desenvolvimento corporal aos peixes (Alami-Durante et al. 2010; Carani et al. 2014).

A avaliação hematológica é comumente utilizada como um indicador para o estado fisiológico e para o diagnóstico de patologias; entretanto, o conhecimento sobre o perfil sanguíneo também contribui para a compreensão das condições do equilíbrio basal, auxiliando na determinação de situações que possam afetar a homeostase, como situações de estresse ou problemas nutricionais (Oliveira-Ribeiro et al. 2000; Tavares-Dias e Moraes 2004, 2007a,b; Tavares-Dias et al. 2009).

Alterações dos padrões da glicose, colesterol, albumina e proteínas totais podem ser indicadores de estresse relacionado à dieta, e a mobilização dos triglicerídeos pode indicar dietas nutricionalmente deficientes, pois o peixe passa a utilizar sua fonte de reserva energética para a manutenção de processos vitais, enquanto que alterações na

contagem eritrocitária podem indicar deficiência de algum aminoácido e consequentemente anemia (Iwama 1998; Ludke e Lopes 1999; Vosyliené 1999; Brandão et al. 2006).

Poucas são as informações sobre as exigências de proteína para o bagre-do-canal, Ictalurus punctatus, durante a fase de terminação considerando o atual balanceamento de aminoácidos proposto para o bagre-do-canal pelo NRC (2011). Além disso, a determinação da exigência não considera o rendimento de filé, a qualidade da carne e a saúde dos peixes. Assim, o presente trabalho foi delineado com o objetivo de determinar as exigências de proteína para o bagre-do-canal na fase de crescimento-terminação com base no desempenho produtivo, qualidade da carne, crescimento da fibra muscular e parâmetros hematológicos.

Material e Métodos

Peixes e condições experimentais

O experimento foi realizado no Instituto de Pesquisa em Aquicultura Ambiental – InPAA, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Unioeste, campus de Toledo – PR, no período de 18 de janeiro a 22 de setembro de 2014, totalizando 248 dias de experimentação.

Os 594 exemplares de bagre-do-canal com peso vivo inicial médio de $66 \pm 0,5$ g, provenientes da Piscicultura Dal Bosco, Toledo, Paraná, Brasil, foram distribuídos em 18 tanques-rede de 1000L cada ($1m^3$), em um delineamento experimental inteiramente casualizado com seis tratamentos e três repetições, sendo cada repetição constituída por um tanque-rede com 33 peixes.

Foram monitorados semanalmente os parâmetros de pH, temperatura e oxigênio dissolvido por meio de multiparâmetro digital portátil (YSI Professional Plus, Yellow Springs, Estados Unidos).

Dietas e manejo alimentar

Foram elaboradas dietas com 24,36, 27,08, 29,50, 33,09, 35,71 e 38,52% de proteína bruta e 4492, 4616, 4605, 4631, 4658 e 4610 kcal de energia bruta/kg, respectivamente para os níveis de proteína (Tabela 1).

Todos os ingredientes foram moídos em moinho martelo (Desintegrador Vencedora Maqtron, Joaçaba, Brasil) em peneira com furos de 0,8 mm de diâmetro e homogeneizados em misturador vertical (Artabas, Bastos, Brasil) na Universidade Estadual do Oeste do Paraná, campus de Marechal Cândido Rondon, Paraná. A extrusão foi realizada no campus de Toledo, Paraná, em extrusor de rosca simples (Exteec Máquinas, Ribeirão Preto, Brasil), de forma a se obter grânulos com diâmetro aproximado de 4 mm e, posteriormente foram desidratadas em estufa com circulação forçada de ar a 55°C (Tecnal, Piracicaba, Brasil) até secagem parcial, visando obter grânulos com no máximo 9% de umidade.

As dietas foram elaboradas para atender às exigências de energia digestível, aminoácidos e fósforo disponível do bagre-do-canal segundo o NRC (2011). A alimentação foi distribuída às 08h00min e 18h00min, manualmente, até saciedade aparente.

Tabela 1. Ingredientes e composição química calculada das dietas experimentais.

Ingredientes (%)	Níveis de proteína bruta (%)					
	24,36	27,08	29,50	33,09	35,71	38,52
Milho em grão	59,80	53,00	46,20	39,40	32,60	25,80
Farelo de soja	12,00	15,60	19,20	22,80	26,40	30,00
Vísceras de aves	19,00	20,40	21,80	23,20	24,60	26,00
Quirera de arroz	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94	4,94
Glúten de milho	3,00	4,80	6,60	8,40	10,20	12,00
Suplemento Vit+Min ¹	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Sal comum	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Cloreto de colina	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Anti-fúngico ²	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Vitamina C revestida	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
BHT ³	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Composição química ⁴						
Energia bruta (kcal/kg)	4492	4616	4605	4631	4658	4610
Matéria seca (%)	92,11	90,43	91,83	92,76	92,06	93,50
Proteína bruta (%)	24,36	27,08	29,50	33,09	35,71	38,52
Fibra bruta (%)	1,43	1,68	1,71	1,87	1,92	1,89
Matéria Mineral (%)	6,58	6,94	7,34	7,62	8,28	8,87
Extrato etéreo (%)	1,88	1,93	2,00	2,16	2,16	2,14

¹ Níveis de garantia por kg do produto: Vit. A: 1.000.000 UI; Vit. D3: 500.000 UI; Vit. E: 20.000 UI; Vit. K3: 500 mg; Vit. B1: 1.900 mg; Vit. B2: 2.000 mg; Vit. B6: 2.400 mg; Vit. B12: 3.500 mcg; Vit. C: 25 g; Niacina: 5.000 mg; ácido Pantotênico: 4.000 mg; ácido Fólico 200 mg; Biotina: 40 mg; Manganês: 7.500 mg; Zinco: 25 g; Ferro: 12,50 g; Cobre: 2.000 mg; Iodo: 200 mg; Selênio: 70 mg; BHT: 300mg.

² Antifúngico a base de propionato de cálcio

³ BHT - Butil Hidroxi Tolueno

⁴ Valores com base na matéria-seca e analisados segundo metodologia de Silva e Queiroz (2002)

Coleta de amostras e análises laboratoriais

No início do experimento, todos os peixes foram pesados individualmente em balança de precisão (0,01 g) (Tecnal, Piracicaba, Brasil). Após jejum de 24 horas, 30 peixes foram eutanasiados com superdosagem de benzocaína (250mg/L de acordo com Leary et al. 2013) e moídos em moedor de carne para determinação da composição corporal inicial, utilizada para o cálculo da eficiência de retenção de nitrogênio. Ao final do experimento, após jejum de 24 horas, os peixes foram eutanasiados com superdosagem de benzocaína (250mg/L de acordo com Leary et al. 2013), contados e pesados individualmente. Foram coletados, aleatoriamente, três peixes de cada unidade experimental, para determinação do índice hepatossomático e de gordura visceral, composição corporal final, composição proximal dos filés, qualidade da carne, morfometria das fibras musculares e parâmetros sanguíneos; e os demais peixes foram utilizados para determinação do rendimento de carcaça e filés.

As análises bromatológica da composição corporal, filés e das dietas foram realizadas no Laboratório de Nutrição Animal da Unioeste – Marechal Cândido Rondon, onde foram determinados os teores de matéria seca e umidade (Estufa Tecnal, Piracicaba, Brasil), matéria mineral (Mufla EDG Equipamentos, São Carlos, Brasil), proteína bruta (Bloco digestor e Destilador de Nitrogênio Tecnal, Piracicaba Brasil), extrato etéreo (Extrator Fisatom, São Paulo, Brasil), conforme metodologia descrita por Silva e Queiroz (2002). No Laboratório de Nutrição Animal da Universidade Estadual de Maringá foram determinadas a energia bruta das rações, carcaça e filés (Parr 6200 Isoperibol Calorimeter, Moline, Estados Unidos).

Cálculos

As variáveis de ganho em peso, conversão alimentar, rendimento de carcaça, rendimento de filé, índice hepatossomático, índice de gordura visceral e eficiência de retenção de nitrogênio foram obtidas, respectivamente, por meio das expressões: $GP = PF - PI$, em que: GP = ganho em peso (g), PF = peso final (g) e PI = peso inicial (g); $CA = CR / GP$, em que: CA = conversão alimentar, CR = consumo de ração (g) e GP = ganho em peso (g); $RC = (PC - PV_I) / PV * 100$, em que: RC = rendimento de carcaça (%), PC = peso corporal (g), PV_I = peso das vísceras (g), PV = peso vivo (g); $RF = PF / PC * 100$; em que: RF = rendimento de filé (%), PF = peso dos filés (g) e PC = peso corporal (g); $IHS = PF_I / PC * 100$, em que: IHS = índice hepatossomático, PF_I = peso do fígado (g) e PC = peso corporal (g); $IGV = PG_V / PC * 100$, em que: IGV = índice de gordura visceral, PG_V = peso da gordura visceral (g) e PC = peso corporal (g) e $ERN = NF * PF - NI * PI / NC * 100$, em que: ERN = eficiência de retenção de nitrogênio (%); NF = nitrogênio corporal final (%); PF = peso final (g); NI = nitrogênio corporal inicial (%); PI = peso inicial (g); NC = nitrogênio consumido (g).

Qualidade da carne

Para análise da qualidade de carne foram utilizados três peixes por unidade experimental, e as avaliações ocorreram no filé direito de cada peixe. A força de cisalhamento foi analisada utilizando o texturômetro TA-XT2i (Stable Micro Systems, Surrey, England) equipado com célula de carga de 5 kg e probe cilíndrica (Paralell plate) de 100 mm de diâmetro. A textura foi obtida pela força máxima aplicada para comprimir 60% da altura inicial da amostra (25 mm de diâmetro e 10 mm de altura). A análise foi realizada com a lâmina de cisalhamento padrão Warner-Bratzler com espessura de 1,016mm de espessura, operando nas seguintes condições: velocidade pré-

teste de 3 mm/s, velocidade do teste: 1 mm/s e velocidade do pós-teste de 10 mm/s, sendo realizadas três medidas por filé.

Os parâmetros de cor da carne foram determinados em triplicatas nos filés dos peixes, utilizando o espectrofotômetro de refletância MiniScan EZ (Hunter Inc., EUA), pela determinação de três componentes de cor: L*, a* e b*. A cor das amostras de filés foi avaliada pelos parâmetros da coordenada L*, que representa a luminosidade e varia de 0 (preto) a 100 (branco), coordenada a* que varia do positivo (vermelho) a negativo (verde) e coordenada b* que varia do positivo (amarelo) a negativo (azul).

O drip loss ou perda de água por gotejamento foi avaliada segundo a técnica descrita por Boccard et al. (1981). As amostras de aproximadamente 3 cm foram pesadas em balança de precisão (0,01 g) (Tecnal, Piracicaba, Brasil) e, com auxílio de um gancho em S, permaneceram suspensas, envoltas por uma embalagem plástica de polietileno, que foi inflada para que o exsudato não entrasse em contato com a amostra. O material ficou suspenso em ambiente refrigerado a $4 \pm 1^\circ\text{C}$, durante 48 horas, e posteriormente foi pesado para o cálculo da perda de água por gotejamento.

A capacidade de retenção de água (WHC) foi analisada de acordo com modificações do método descrito por Gómez-Guillén et al. (2000). As amostras foram obtidas de três peixes por unidade experimental, sendo coletado o músculo (1g) entre a linha lateral e a gordura abdominal. O músculo foi pesado e colocado em um tubo com papel filtro pesado (V_1) cobrindo suas paredes (Whatman[®] 1 - Schleicher & Schuell GmbH, Dassel, Germany) sendo centrifugados (Splabor, Presidente Prudente, Brasil) a 1000 RPM x g durante 10 minutos. O papel molhado foi pesado (V_2) antes de ser seco em estufa (Tecnal, Piracicaba, Brasil) 55°C , até peso constante (V_3). A porcentagem de perda de líquido foi calculada com base no peso úmido do músculo: $(V_2 - V_1) / S * 100$,

onde S = peso do músculo; a perda de água como: $(V_2 - V_3) / S * 100$; e perda de gordura como: $(V_3 - V_1) / S * 100$, respectivamente.

Morfometria das fibras musculares

Para morfometria das fibras musculares, três peixes de cada unidade experimental foram induzidos à anestesia profunda com o auxílio de benzocaína (150mg/L de acordo com Gomes et al. 2001), sendo coletada uma amostra do músculo branco dorsal, acima da linha lateral, posteriormente fixadas em formol tamponado 10% por 24 horas e processadas para inclusão em parafina. Cortes transversais de 6 μm foram obtidos em micrótomo (EasyPath, São Paulo, Brasil) e submetidos à coloração hematoxilina-eosina, para avaliação do tecido, e mensuração do menor diâmetro das fibras musculares (Dubowitz e Brooke 1973). Para realização dessas etapas, foram capturadas imagens de dez campos microscópicos (EasyPath, São Paulo, Brasil) de cada amostra, com ampliação final de 200X, utilizando-se um software de análise de imagem computadorizada (Media Cybernetics Inc., Sarasota, Estados Unidos).

Após a mensuração, as fibras musculares foram distribuídas em classes, na dependência de seu diâmetro ($< 20\mu\text{m}$, entre 20 e 50 e $> 50 \mu\text{m}$), de acordo com metodologia modificada de Valente et. al (1991) e Almeida et al. (2008). Essa classificação das fibras permite avaliar o grau de crescimento hipertrófico e hiperplásico das fibras musculares.

Parâmetros hematológicos e bioquímicos

Para as análises do perfil sanguíneo, foram coletados de três peixes por unidade experimental, previamente anestesiados com benzocaína (150mg/L de acordo com Gomes et al. 2001), alíquotas de sangue por punção da veia caudal, utilizando seringas

previamente heparinizadas com ácido etilenodiaminotetracético (EDTA). Foram realizadas as análises de contagem total de eritrócitos com utilização de câmara de Neubauer, taxa de hemoglobina realizada pelo método de cianometahemoglobina por meio da metodologia descrita por Collier (1944), percentual de hematócrito, pelo método do microhematócrito, seguindo a metodologia de Goldenfarb et al. (1971), e em posse desses resultados, foram calculados os índices hematimétricos como VCM (volume corpuscular médio), HCM (hemoglobina corpuscular média) e CHCM (concentração de hemoglobina corpuscular média), de acordo com Wintrobe (1934), em que: $VCM (fL) = \text{percentual de hematócrito} * 10 / \text{contagem total de eritrócitos}$; $HCM (\mu g) = \text{taxa de hemoglobina} * 10 / \text{percentual de eritrócitos}$ e $CHCM (g/dL) = \text{taxa de hemoglobina} * 100 / \text{percentual de hematócrito}$. As concentrações de proteínas totais, glicose, colesterol, triglicerídeos e albumina dos exemplares das unidades experimentais foram realizados utilizando-se “kits” específicos Gold Analisa Diagnóstica (Belo Horizonte, Brasil), sendo as leituras processadas em espectrofotômetro (FEMTO, São Paulo, Brasil) e procedidas conforme instruções do fabricante. As análises hematológicas e bioquímicas foram realizadas no Laboratório de Qualidade de Alimento do Grupo de Estudos de Manejo na Aquicultura, nas dependências da Unioeste - Toledo.

Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) por meio do programa estatístico SAS (Statistical Analysis System, versão 9.0, 2002). Havendo significância estatística para o nível de proteína bruta, realizou-se análise de regressão polinomial para as variáveis de desempenho produtivo e composição corporal e dos filés. Para as demais variáveis realizou-se o teste de Tukey ($\alpha = 5\%$).

Resultados

Desempenho produtivo, composição corporal e dos filés

Durante o período experimental foram observados valores médios de $22,13 \pm 6,84^{\circ}\text{C}$ para a temperatura, $6,67 \pm 3,06$ mg/L para o oxigênio dissolvido e $7,62 \pm 1,23$ para o pH da água. A sobrevivência variou de 70 a 90% e a mortalidade não foi associada aos tratamentos avaliados, ocorrendo pela elevada turbidez da água em período de elevada precipitação, visto que a água utilizada no tanque era proveniente do Rio São Francisco Verdadeiro – Paraná.

Não foram observadas diferenças ($P > 0,05$) das dietas com diferentes níveis de proteína bruta sobre o peso inicial, consumo de ração e índice hepatossomático. Por outro lado, peixes alimentados com dietas contendo níveis crescentes de proteína apresentaram aumento linear no peso final, ganho em peso e melhora linear na conversão alimentar. Foi observado efeito quadrático dos níveis de proteína sobre o rendimento de carcaça, rendimento de filé, índice de gordura visceral e eficiência de retenção de nitrogênio (Tabela 2), em que os máximos ou mínimos valores dessas variáveis foram estimados com 33,79; 33,88; 33,35 e 31,24% de proteína bruta, respectivamente.

Peixes alimentados com dietas contendo níveis crescentes de proteína bruta não apresentaram diferenças ($P > 0,05$) para umidade e matéria mineral na composição corporal, assim como para a composição dos filés, para o qual também não foi verificado diferença na proteína bruta (Tabela 3). Por outro lado, foi observado efeito linear dos níveis de proteína bruta sobre o teor de proteína bruta depositada na carcaça e efeito quadrático dos níveis de proteína bruta sobre os teores de extrato etéreo da carcaça e dos filés, em que os mínimos valores de extrato etéreo foram estimados em peixes que receberam dietas com 34,58 e 34,31% de proteína bruta, respectivamente.

Da mesma forma, foi observado efeito quadrático dos níveis de proteína bruta sobre os teores de energia bruta na carcaça e nos filés, em que os máximos valores foram obtidos em peixes que receberam dietas com 32,51 e 34,05% de proteína bruta, respectivamente.

Tabela 2. Desempenho produtivo do bagre-do-canal alimentados com diferentes níveis de proteína bruta.

Variável ¹	Níveis de proteína bruta (%)						P ²	Erro
	24,36	27,08	29,50	33,09	35,71	38,52		
PI (g)	67,73	69,12	66,40	66,05	68,72	68,73	0,392	0,50
PF (g) ³	329,96	283,08	376,86	464,58	447,85	523,28	0,006	23,78
GP (g) ³	262,23	213,96	310,45	398,53	379,12	454,84	0,007	23,90
CR (g)	577,82	465,15	624,66	694,34	615,11	802,34	0,116	36,00
CA ³	2,20	2,19	2,03	1,84	1,62	1,78	0,020	0,05
RC (%) ⁴	80,95	81,45	82,70	82,82	84,36	82,07	0,037	0,40
RF (%) ⁴	36,91	37,74	38,21	39,97	40,80	38,22	0,017	0,05
IHS	2,27	2,11	2,23	1,88	1,64	1,52	0,200	0,16
IGV ⁴	3,03	2,26	1,74	1,95	1,52	2,12	0,010	0,18
ERN (%) ⁴	41,05	41,75	43,54	43,28	44,20	39,05	0,037	1,22

¹ PI = peso inicial; PF = peso final; GP = ganho em peso; CR = consumo de ração; CA = conversão alimentar; RC = rendimento de carcaça; RF = rendimento de filé; IHS = índice hepatossomático; IGV = índice de gordura visceral; ERN = eficiência na retenção de nitrogênio

² Probabilidade de significância (P < 0,05)

³ Efeito linear (PF: $y = 14,74851x - 45,56505$, $R^2 = 0,85$; GP: $y = 25,82994x - 112,7414$, $R^2 = 0,80$; CA: $y = -0,00411x + 3,2006$; $R^2 = 0,77$)

⁴ Efeito quadrático (RC: $y = -0,0299x^2 + 2,0209x + 49,101$; $R^2 = 0,69$; RF: $y = -0,0367x^2 + 2,487x - 2,3463$; $R^2 = 0,72$; IGV: $y = 0,0166x^2 - 1,1072x + 20,109$; $R^2 = 0,88$ e ERN: $y = -0,0751x^2 + 4,6929x - 29,346$; $R^2 = 0,71$)

Tabela 3. Composição corporal e de filés do bagre-do-canal alimentados com diferentes níveis de proteína bruta.

	Níveis de proteína bruta (%)						P ²	Erro
	24,36	27,08	29,50	33,09	35,71	38,52		
Carcça¹								
Umidade (%)	67,85	65,35	66,01	66,54	67,78	65,8	0,102	0,33
PB (%) ³	16,87	16,90	17,39	17,23	17,98	18,82	0,013	0,20
EE (%) ⁴	14,36	14,05	13,38	13,32	12,08	13,55	0,050	0,04
MM (%)	3,42	3,91	3,48	3,82	3,24	3,25	0,701	0,14
EB (kcal/kg) ⁴	2307	2242	2132	2180	2054	2269	0,028	33,02
Filé¹								
Umidade (%)	67,96	70,98	70,85	70,97	71,86	71,51	0,329	0,50
PB (%)	17,71	17,74	18,58	17,82	18,68	17,85	0,900	0,28
EE (%) ⁴	12,87	10,62	10,53	10,23	9,45	10,22	0,035	0,04
MM (%)	1,21	1,14	1,16	1,19	1,15	1,13	0,872	0,02
EB (kcal/kg) ⁴	2344	1946	2006	1880	1846	1932	0,036	55,32

¹ PB = proteína bruta; EE = extrato etéreo; MM = matéria mineral; EB = energia bruta

² Probabilidade de significância (P < 0,05)

³ Efeito linear (PB carcaça: $y = 0,122413x + 13,797524$; $R^2 = 0,84$)

⁴ Efeito quadrático (EE carcaça: $y = 0,0156x^2 - 1,0788x + 31,5970$; $R^2 = 0,64$; EB carcaça: $y = 3,0806x^2 - 200,3031x + 5382,400$; $R^2 = 0,64$; EE filé: $y = 0,0286x^2 - 1,9682x + 43,5440$; $R^2 = 0,88$ e EB filé: $y = 4,7392x^2 - 322,720x + 7338,7002$; $R^2 = 0,85$)

Qualidade da carne

Os parâmetros de força de cisalhamento, luminosidade (L*), drip loss e perda de gordura não foram influenciados (P > 0,05) pelos níveis dietéticos de proteína bruta (Tabela 4). Para a coordenada a*, os filés dos peixes alimentados com dietas contendo 33,09% de proteína bruta foram mais avermelhados do que aqueles que receberam as dietas com 24,36, 27,08 e 38,52% de proteína bruta (P < 0,05). Os valores para a coordenada b* indicaram que os filés dos peixes que consumiram a dieta com 33,09%

de proteína possuíam coloração mais amarelada quando comparado com os peixes arraçados com dietas contendo 27,08, 35,71 e 38,52% de proteína bruta ($P < 0,05$).

Tabela 4. Influência de diferentes níveis de proteína bruta sobre parâmetros de qualidade da carne do bagre-do-canal.

	Níveis de proteína bruta (%)						P ⁵	Erro
	24,36	27,08	29,50	33,09	35,71	38,52		
Força (kgf/cm ²) ¹	1,498	1,711	1,751	1,556	1,797	1,681	0,865	0,08
Coloração e pigmentação carotenoide ²								
L*	61,27	58,40	57,12	57,07	57,86	57,87	0,057	0,60
a*	3,18 ^c	3,51 ^{bc}	3,36 ^{ab}	5,57 ^a	4,48 ^{abc}	3,77 ^{bc}	0,002	0,28
b*	15,01 ^{ab}	14,31 ^b	15,28 ^{ab}	16,71 ^a	14,95 ^b	14,88 ^b	0,005	0,20
<u>Drip loss</u> (%) ³	2,95	2,24	2,56	3,24	2,83	3,84	0,397	0,28
WHC (%) ⁴								
Perda de líquido	38,59 ^a	36,27 ^{ab}	33,66 ^b	34,51 ^{ab}	34,36 ^b	36,11 ^{ab}	0,015	0,69
Perda de água	34,66 ^a	33,04 ^{ab}	30,35 ^b	30,38 ^b	30,41 ^{ab}	31,98 ^{ab}	0,019	0,63
Perda de gordura	3,94	3,38	3,33	3,99	3,98	4,20	0,198	0,11

¹ Força de cisalhamento;

² L*: luminosidade; coordenada a*: coloração do vermelho ao verde; coordenada b*: coloração do amarelo ao azul;

³ Drip loss ou perda de água por gotejamento;

⁴ WHC: capacidade de retenção de água;

⁵ Probabilidade de significância ($P < 0,05$)

Letras diferentes na linha diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha = 5\%$).

Os diferentes níveis de proteína bruta dietética influenciaram ($P < 0,05$) a capacidade de retenção de água sobre os parâmetros de perda de líquido e perda de água. As dietas contendo 29,50 e 35,71% de proteína bruta proporcionaram ao bagre-do-canal menor perda de líquido nos filés quando comparado aos filés dos peixes alimentados com nível de 24,36% de proteína. A menor perda de água dos filés do bagre-do-canal ocorreu quando o peixe foi alimentado com dieta de 29,50 e 33,09% de proteína bruta, se comparado à dieta de 24,36% de proteína.

De acordo com normas da revista The Journal of The World Aquaculture Society, Fator de impacto: 0,732, ISSN: 1749-7345.

Morfometria das fibras musculares

O nível de proteína bruta da dieta não influenciou ($P > 0,05$) a frequência de ocorrência das fibras musculares em classes de diâmetro do bagre-do-canal (Tabela 5). Entretanto, o fornecimento de dietas com nível de proteína bruta superior a 33,09% promoveu uma aceleração na hipertrofia das fibras musculares.

Tabela 5. Frequência de distribuição das fibras musculares do bagre-do-canal em três classes de diâmetros ($< 20 \mu\text{m}$, entre 20 e 50 e $> 50 \mu\text{m}$), quando alimentados com dietas contendo diferentes níveis de proteína bruta.

Classes	Níveis de proteína bruta (%)						P ¹	Erro
	24,36	27,08	29,50	33,09	35,71	38,52		
$< 20 \mu\text{m}$	24,66 ^b	15,34 ^c	15,06 ^c	9,77 ^b	12,88 ^b	11,84 ^b	0,101	1,63
20 - 50 μm	57,32 ^a	49,93 ^a	48,81 ^a	45,54 ^a	45,37 ^a	43,99 ^a	0,233	1,71
$> 50 \mu\text{m}$	18,02 ^b	34,73 ^b	36,13 ^b	44,6 ^a	41,75 ^a	44,17 ^a	0,117	2,75
P ¹	0,007	0,001	0,001	0,009	0,001	0,001		
Erro	6,75	5,16	5,05	6,61	5,22	5,66		

¹ Probabilidade de significância ($P < 0,05$)

Letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha = 5\%$)

Uma maior frequência de distribuição foi observada para a classe de diâmetro entre 20 e 50 μm , independente do nível de proteína bruta testada, e essa frequência foi semelhante à classe de diâmetro maior que 50 μm quando os peixes foram alimentados com dietas de 33,09, 35,71 e 38,52% de proteína bruta.

Parâmetros hematológicos e bioquímicos

As dietas contendo diferentes níveis de proteína bruta não influenciaram ($P > 0,05$) os parâmetros hematológicos e bioquímicos do bagre-do-canal (Tabela 6).

Tabela 6. Parâmetros hematológicos e bioquímicos do bagre-do-canal alimentado com dietas contendo diferentes níveis de proteína bruta.

	Níveis de proteína bruta (%)						P ²	Erro
	24,36	27,08	29,50	33,09	35,71	38,52		
Parâmetros hematológicos ¹								
Eritrócitos (10 ⁶ /μL)	2,24	2,24	2,30	2,29	2,29	2,33	0,938	0,04
Hemoglobina (g/dL)	9,14	8,95	9,46	9,20	8,93	9,46	0,537	0,12
Hematócrito (%)	40,75	39,00	42,78	42,75	42,75	42,50	0,185	0,70
VCM (fL)	172,02	173,58	186,94	188,21	194,65	173,12	0,535	4,18
HCM (μg)	40,85	39,97	41,26	40,30	43,14	39,28	0,853	0,80
CHCM (g/dL)	23,73	23,25	22,12	21,44	22,39	22,89	0,799	0,45
Parâmetros bioquímicos								
Glicose (mg/dL)	44,12	55,46	53,70	49,36	42,24	52,53	0,859	2,84
Proteínas totais (g/dL)	10,17	6,89	6,40	7,19	6,53	7,07	0,350	0,28
Colesterol (mg/dL)	166,39	266,50	197,19	188,05	183,19	198,53	0,377	8,94
Triglicerídeos (mg/dL)	26,40	29,43	35,22	29,64	26,92	26,33	0,637	1,52
Albumina (g/dL)	0,86	1,04	1,18	1,21	1,16	1,13	0,150	0,07

¹ VCM = volume corpuscular médio; HCM = hemoglobina corpuscular média; CHCM = concentração de hemoglobina corpuscular média

² Probabilidade de significância (P < 0,05)

Discussão

Desempenho produtivo, composição corporal e dos filés

No presente trabalho a temperatura média da água foi de 22,13 ± 6,84°C, sendo considerada adequada para a espécie. De acordo com Piedras et al. (1991), Gomes e Schlindwein (2000) e Souza (2002) a produção econômica do bagre-do-canal, torna-se viável quando a temperatura média da água é mantida acima de 20°C. Para Lovell (1989), o ideal é que a temperatura da água esteja acima de 23°C, já Garling (1992) observou que a temperatura mínima para a criação intensiva do bagre-do-canal não deve ser inferior a 18,3°C.

O oxigênio dissolvido observado neste estudo apresentou valor médio de $6,67 \pm 3,06$ mg/L, estando de acordo com Lewis (1985), Wellborn (1998), Lee (1991) e Piedras et al. (1991), que recomendam valor mínimo de 4 mg/L para o bagre-do-canal. De acordo com Wellborn (1987) e Piedras (1990), apesar do bagre-do-canal tolerar variações entre 4,0 a 9,0 para o pH, o valor ideal é próximo 7,4, sendo que o resultado observado neste estudo, de $7,62 \pm 1,23$, assemelha-se ao valor considerado ideal.

A taxa de sobrevivência encontrada neste estudo (70 a 90%) foi semelhante ao resultado observado para o bagre-do-canal por Southworth et al. (2006), porém foi inferior aqueles encontrados por Robinson e Li (1998), Li et al. (1998), Gomes e Schlindwein (2000), Robinson et al. (2000), Jackson et al. (2003), Robinson et al. (2004), Li et al. (2006), Yildirim-Aksoy et al. (2007), Li et al. (2008a), Hoppe (2008) e Li et al. (2010), que em trabalhos realizados com o bagre-do-canal, obtiveram taxas de sobrevivência superiores a 90%. Diversos fatores podem influenciar a sobrevivência do bagre-do-canal, e no presente estudo a mortalidade foi ocasionada devido à elevada turbidez da água.

Os peixes alimentados com dietas com níveis crescentes de proteína bruta apresentaram melhora linear na conversão alimentar, diferindo do resultado obtido por Robinson e Li (1998), Robinson et al. (2004) e Li et al. (2008b), onde não foi encontrada diferença significativa para a conversão do bagre-do-canal alimentado com dietas contendo níveis de 20 a 40% de proteína bruta, na fase de crescimento-terminação.

O ganho em peso observado no presente estudo apresentou um comportamento linear crescente com o aumento de proteína bruta na dieta, dessa forma, os peixes que foram alimentados com a dieta contendo 38,52% de proteína bruta apresentaram o maior ganho em peso e conseqüente maior peso final. O crescimento muscular é um dos

principais fatores que promove o aumento no tamanho corporal em peixes (Zimmerman e Lowery 1999), dessa forma, verificou-se que o aumento na concentração de proteína dietética promoveu maior ganho de peso e peso final devido a maior hipertrofia das fibras musculares. Robinson e Li (1998) estimaram exigência de 28% de proteína bruta com base no ganho de peso para o bagre-do-canal, com peso final semelhante ao deste estudo.

Contudo, o aumento do peso corporal dos peixes que receberam as dietas com maiores concentrações de proteína ocorreu também na forma de deposição de gordura, indicando o uso da proteína dietética para formação de gordura, fato que pode ser evidenciado pela maior deposição de gordura visceral e menor retenção de proteína em peixes que receberam a dieta com o nível mais elevado de proteína.

O menor índice de gordura visceral e a maior retenção de nitrogênio foram verificados quando o bagre-do-canal foi alimentado com 33,35 e 31,24% de proteína bruta, respectivamente. Quando os peixes foram alimentados com dietas contendo baixa proteína, em que a deficiência é suprimida por teores mais elevados de carboidratos nas dietas, ocorreu maior deposição de gordura corporal oriunda da oxidação dos carboidratos (Figueiredo et al. 2014) e menor deposição muscular devido à prevalência de hiperplasia nas fibras musculares. De forma semelhante, Li et al. (2000) e Li et al. (2006), também verificaram maiores concentrações de gordura visceral em bagre-do-canal que foram alimentados com dietas deficientes em proteína bruta.

Por outro lado, as dietas com maiores níveis de proteína bruta resultaram em maior deposição de gordura visceral devido, provavelmente, ao excesso de aminoácidos que foi desaminado e depositado na forma de gordura (Dabrowski e Guderley 2002), explicando a baixa eficiência na retenção de nitrogênio, assim como proposto por Khan

et al. (1993), trabalhando com o bagre-da-Malásia (Mystus nemurus), e por Bowen (1987).

Corroborando com o resultado deste estudo, Robinson e Li (1998) e Li et al. (2001) verificaram menor deposição de gordura visceral em bagres-do-canal que receberam dietas com 32% de proteína bruta, valor ligeiramente inferior ao observado neste estudo. Entretanto, Li et al. (2000) e Li et al. (2006) observaram que bagres-do-canal que receberam dieta com 36% de proteína depositaram menos gordura na cavidade abdominal quando comparado com aqueles alimentados com 24% de proteína.

De uma forma geral, observa-se um comportamento inversamente proporcional em relação à deposição de gordura e rendimento de cortes (Li et al. 2000; Robinson et al. 2004; Li et al. 2006) em bagres-do-canal na fase de terminação. Os peixes alimentados com dietas contendo níveis próximos a 33,09% de proteína apresentaram menores teores de energia bruta e depositaram menos gordura na carcaça e nos filés, indicando que a proteína foi utilizada mais eficientemente para a deposição muscular, resultando em maior rendimento de carcaça e de filé, o que também se relaciona com a maior atividade hipertrófica das fibras musculares dos peixes que receberam dietas com níveis superiores a 33,09% de proteína dietética.

Robinson et al. (2004) e Li et al. (2006) verificaram que o rendimento de carcaça é maximizado quando o bagre-do-canal é alimentado com no mínimo 32% de proteína bruta, valor semelhante ao máximo rendimento de carcaça observado neste estudo, que foi de 33,79% de proteína bruta. Entretanto Li et al. (2000) não encontraram diferença para o rendimento de carcaça do bagre-do-canal quando alimentados com dieta de 24 a 36% de proteína bruta.

O menor rendimento de filé no bagre-do-canal observado nos peixes alimentados com a dieta contendo o menor teor de proteína bruta pode estar relacionado

ao menor tamanho dos peixes (Li et al. 1998), devido a prevalência de hiperplasia das fibras musculares. Resultado superior ao deste estudo foi obtido por Li et al. (2000) e Robinson et al. (2004), que observaram maior rendimento de filé e menor teor de gordura corporal no bagre-do-canal alimentado com 36% de proteína bruta. Li et al. (2000), Li et al. (2006) e Li et al. (2008b) recomendaram a utilização de dietas contendo no mínimo 28% de proteína bruta para melhor crescimento e rendimento no processamento do bagre-do-canal, na fase de terminação.

De acordo com Souza et al. (1998), Macedo-Viegas e Souza (2004) e Li et al. (2008b) as diferenças nos valores de rendimento podem ser atribuídos a diversos fatores, tais como sexo, tamanho ou idade dos animais, destreza do operador, método de filetagem e grau de mecanização, e segundo Gasparino et al. (2002) o rendimento de filé pode variar ainda de acordo com a espécie, entre as espécies e dentro de uma mesma espécie.

Ao término do experimento foi observado elevada variação no peso corporal dos peixes do mesmo lote, concordando com o resultado obtido por Lee (1991). Britz e Pienaar (1992) e Vidotti et al. (2000) observaram além da grande heterogeneidade no crescimento, comportamento agressivo dos animais maiores, que se apresentaram justamente nos peixes que receberam a dieta com maior teor proteico. Esse comportamento agressivo e territorialista também foram observados neste estudo e pode explicar a elevada variabilidade no tamanho, com maior crescimento dos peixes dominantes.

A proteína é o principal constituinte corporal dos peixes, dessa forma, um maior consumo percentual desse nutriente promove um maior crescimento nos peixes (Wilson 2002), o que justificou a maior quantidade de proteína depositada na carcaça dos peixes alimentados com 38,52% de proteína bruta. Em trabalho realizado com o bagre-do-

canal, Robinson e Li (1998), Li et al. (2006) e Li et al. (2008b) observaram maior deposição proteica nos filés quando o bagre-do-canal foi alimentado com dieta com níveis superiores a 32% de proteína bruta.

Corroborando com o resultado deste estudo, Li et al. (1998) e Li et al. (2000) não encontraram diferença estatística na deposição de proteína dos filés do bagre-do-canal alimentados com dietas contendo de 24 a 45% de proteína bruta. Li et al. (2006) verificaram uma menor deposição de extrato etéreo nos filés do bagre-do-canal alimentados com nível superior a 32% de proteína dietética, enquanto que Robinson et al. (2004) e Li et al. (2008b) não observaram diferenças na deposição do extrato etéreo nos filés do bagre-do-canal, quando alimentados com dietas contendo entre 24 e 40% de proteína bruta.

Qualidade da carne

Poucas são as informações sobre avaliação da força de cisalhamento e drip loss com o bagre-do-canal. A variação desses parâmetros está intimamente ligada com a espécie, idade, estresse pré-abate e rigor mortis, desnaturação proteica, encurtamento dos sarcômeros das fibras musculares, desintegração das fibras de colágeno, período e modo de armazenamento, entre outros (Ando et al. 1999; Sigurgisladottir et al. 2000; Espe et al. 2004; Lambooiij et al. 2006). Diversos fatores podem influenciar a qualidade do pescado, dentre os fatores externos, o estresse associado com o transporte pode resultar em carne com um rápido declínio no pH, valores mais elevados de luminosidade, aumento da perda de água e textura menos consistente, sendo aspectos depreciadores do produto final (Faucitano 1998; Skjervold et al. 2001).

Embora a pigmentação seja desejável para algumas espécies de peixes, os consumidores de bagre-do-canal estão acostumados a uma carne branca e tendem a

rejeitar produtos com colorações diferenciadas (Lovell 1984). A pigmentação indesejada do bagre-do-canal é a coloração amarelada (b^*) que costuma aparecer na região anterior e dorsal do músculo, e sua presença em filés vem sendo um grande problema para as indústrias processadoras (Lovell 1984; Shahidi et al., 1998; Li et al. 2013).

Estudos sobre os pigmentos que promovem a coloração avermelhada (a^*) em filés de bagre-do-canal são escassos, isso pode ser explicado porque o pigmento mais comum nos filés é o amarelo, oriundo dos carotenoides luteína e zeaxantina (Li et al. 2007). De acordo com Li et al. (2009) e Li et al. (2011), os valores do presente estudo para a cor b^* encontraram-se dentro dos padrões aceitáveis para a comercialização do bagre-do-canal, visto que valores superiores a 30 são considerados impróprios, no quesito escolha visual pelos consumidores.

Os peixes alimentados com dietas contendo níveis proteicos de 29,50 e 35,71% apresentaram filés com maior retenção de líquido, enquanto que aqueles que receberam dietas com 29,50 e 33,09% apresentaram maior retenção de água, configurando filés de melhor qualidade, quando comparados aos peixes que receberam a dieta de 24,36% de proteína bruta. A menor capacidade de retenção de água ou a maior perda de líquido e água que acometeram os filés do peixe alimentado com a dieta de 24,36% de proteína (quando comparado aos filés do peixe alimentado com 29,50% de proteína bruta) é um indício de filés com menor valor nutricional, devido à perda de nutrientes contidos no líquido que foi eliminado, além de resultar em carne com menor teor de umidade e menor maciez (Moreno et al. 2008; Goñi e Salvadori, 2010).

Morfometria das fibras musculares

A dinâmica do crescimento muscular dos peixes devido à hiperplasia e hipertrofia celular relaciona-se com o crescimento corporal e o tamanho em teleósteos. Considerando que fibras com diâmetros menores que 20 μm indicam ocorrência de hiperplasia, enquanto diâmetros maiores que 50 μm se relacionam com a hipertrofia (Valente et al. 1999; Rowleron e Veggetti 2001), foi observado no presente estudo, que independente das dietas, o crescimento muscular no bagre-do-canal ocorreu pelos dois mecanismos, mas predominantemente por hipertrofia. Verificou-se uma relação entre o maior consumo de proteína dietética com o maior diâmetro das fibras musculares, assim como observado por Furuya et al. (2005) trabalhando com a tilápia-do-Nilo (Oreochromis niloticus).

Apesar do nível de proteína bruta não ter influenciado na frequência de distribuição das fibras musculares em classes de diâmetro, verificou-se um aumento gradativo na hipertrofia celular (classe $> 50 \mu\text{m}$) conforme acréscimo, a partir do nível de 33,09%, na concentração de proteína bruta da dieta, que pode estar relacionado com o maior tamanho corporal desses animais, tendo em vista que o tamanho dos peixes estava relacionado ao consumo de proteína bruta.

Corroborando com este estudo, Carani et al. (2014) trabalhando com o pirarucu (Arapaima gigas) e Alami-Durante et al. (2010) com a truta arco-íris (Oncorhynchus mykiss) verificaram que a frequência das fibras musculares está relacionada com o peso corporal do peixe, onde exemplares de menor peso possuem fibras com melhor diâmetro, devido a atividade hiperplástica, e exemplares maiores possuem fibras com maior diâmetro devido a hipertrofia celular.

De acordo com Furuya et al (2005), a mensuração do diâmetro das fibras constitui-se em um atributo importante na avaliação do crescimento muscular. Dessa

forma, o fornecimento de dieta com nível de proteína acima de 33,09%, que apresentou fibras musculares com prevalência da hipertrofia, é importante para um bom desenvolvimento muscular e conseqüente melhor peso final do bagre-do-canal.

Parâmetros hematológicos e bioquímicos

Há uma grande dificuldade em comparar resultados de diferentes estudos em relação aos parâmetros hematológicos e bioquímicos em peixes pela falta de padronização de métodos e nomenclatura, das diferentes espécies, em função da idade, sexo, variação genética, estado nutricional, maturação gonadal, qualidade de água e métodos de captura contribuem para a grande variabilidade de resultados (Klinger et al. 1996). Essa grande discrepância de valores pode ser notada ao comparar os resultados deste estudo com aqueles observados por Tavares-Dias e Morais (2007a), onde se verificou que os valores dos parâmetros sanguíneos encontrados no presente estudo não se enquadram dentro dos intervalos de referência considerados “seguros” pelos autores (50% dos dados medianos observados), para o eritrócitos ($3 \pm 0,16 \times 10^6/\mu\text{L}$), hemoglobina ($7 \pm 0,6 \text{ g/dL}$), hematócrito ($31 \pm 3\%$), VCM ($108,1 \pm 6,6 \text{ fL}$), glicose ($35,1 \pm 7,5 \text{ mg/dL}$) e proteína total ($4,2 \pm 0,4 \text{ g/dL}$), para o bagre-do-canal dentro da mesma variação de peso e/ou idade.

Não foi verificada diferença para os parâmetros sanguíneos do bagre-do-canal quando alimentados com dietas contendo diferentes níveis de proteína bruta, indicando que os níveis de proteína testados foram suficientes para manter uma condição de equilíbrio com manutenção da homeostase animal. A mobilização de proteína corporal é uma maneira de manter os processos de vitalidade em peixes quando submetidos a períodos de restrição alimentar ou deficiência nutricional (Sheridan e Mommsen 1991;

Jobbling 1994). Neste estudo, a exigência dos peixes foi atendida em todas as dietas, não sendo necessário, portanto, a mobilização das proteínas corporais.

Corroborando com os resultados obtidos no presente trabalho, Robinson e Li (1999) não encontraram diferenças para o hematócrito dos bagres-do-canal alimentados com dietas com níveis crescentes de proteína bruta. O hematócrito é expresso como um volume percentual das células sedimentadas no sangue após a centrifugação, sendo que a maioria das espécies dos animais domésticos tem hematócritos variando entre 38 e 45% com média de 40% (Swenson 1996), e de acordo com Tavares-Dias e Morais (2007a) a variação desse parâmetro leva em consideração os fatores nutricionais e idade.

Diferindo do resultado deste estudo, Melo et al. (2006) observaram em jundiás (Rhamdia quelen), que a contagem de eritrócitos aumentou com o acréscimo da proteína dietética de 20 até 27% e então permaneceu estável quando a proteína foi aumentada em até 41% nas dietas, enquanto que a hemoglobina e o hematócrito apresentaram aumento significativo até 27% de proteína da dieta, com posterior queda desses parâmetros quando os peixes eram arraçoados com dietas contendo 34% de proteína. Os diferentes níveis de proteína dietéticas do presente estudo não influenciaram os parâmetros hematimétricos de VCM, HCM e CHCM, corroborando com os estudos anteriormente realizados por Camargo et al. (2005) e Melo et al. (2006) em exemplares de jundiás alimentados com dietas com diferentes níveis proteicos.

Diferindo do resultado encontrado no presente estudo, Melo et al. (2006) em trabalho realizado com jundiás, verificaram que peixes alimentados com dieta de 34% de proteína apresentaram maior glicose sanguínea quando comparado aos peixes que foram alimentados com dietas contendo 20% de proteína bruta. Os autores também verificaram que o teor de triglicerídeos, importante fonte de reserva energética para os

momentos de jejum prolongado ou alimentação insuficiente, foi mais elevado em peixes quando o nível proteico das dietas era menor que 27% de proteína, fato que não foi verificado neste estudo.

Embora o bagre-do-canal apresente grande potencial para a piscicultura brasileira, sobretudo para as regiões mais temperadas do país, poucos são os estudos realizados com a espécie visando subsidiar um melhor sistema de produção, com informações ao desenvolvimento da atividade. Para isso, a determinação da exigência de proteína para o bagre-do-canal, na fase de crescimento-terminação faz-se necessária, pois a utilização de dados produtivos como o ganho em peso e a conversão alimentar, comumente utilizados, podem não ser, isoladamente, os melhores parâmetros para determinar as exigências dos peixes destinados para industrialização.

A utilização de estudos que visem estabelecer a exigência dos peixes, e que leve em consideração além do parâmetro produtivo, a qualidade do produto final, tanto visual, química e nutricionalmente; o crescimento das fibras musculares, estimulando o melhor potencial de crescimento e, o perfil hematológico, podendo estabelecer uma dieta que vise a homeostasia animal; devem ser levados em consideração na determinação da exigência de proteína. Em resumo, o fornecimento de dieta com nível de 33,88% de proteína bruta proporciona adequado desempenho produtivo, com elevado rendimento de filé, menor retenção de gordura corporal e elevada qualidade da carne para o bagre-do-canal.

Agradecimentos

À Universidade Estadual de Maringá, Universidade Estadual do Oeste do Paraná e ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq.

Literatura Citada

- Alami-Durante, H., F. Médale, M. Cluzeauda and S. J. Kaushik. 2010. Skeletal muscle growth dynamics and expression of related genes in white and red muscles of rainbow trout fed diets with graded levels of a mixture of plant protein sources as substitutes for fishmeal. *Aquaculture* 303:50–58.
- Almeida, F. L. A., R. F. Carvalho, D. Pinhal, C. R. Padovani, C. Martins and M. Dal Pai-Silva. 2008. 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* 39:1306-1311.
- Almeida, F. L. A., N. S. Pessotti, D. Pinhal, C. R. Padovani, N. J. Leitão, R. F. Carvalho, C. Martins, M. C. Portella and M. Dal Pai-Silva. 2010. Quantitative expression of myogenic regulatory factors MyoD and myogenin in pacu (*Piaractus mesopotamicus*) skeletal muscle during growth. *Micron* 41:997-1004.
- Ando, M., A. Nishiyabu, Y. Tsukamasa and Y. Makinodan. 1999. Post-mortem softening of fish muscle during chilled storage as affected by bleeding. *Journal Food Science* 64:423-428.
- Boccard, R., L. Buchter, E. Cassels, E. Cosentino, E. Dransfield, D. Hood, R. Joseph, D. MacDougall, D. Rhodes, I. Schon, B. J. Tinbergen, and C. Tourailee. 1981. Proceedings for measuring meat quality characteristics in beef production experiments. *Livestock Production Science* 8(3):385-397.
- Bowen, S. H. 1987. Dietary protein requirements of fishes - A reassessment. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 44:1995-2001.

- Brandão, F. R., L. C. Gomes and E. C. Chagas. 2006. Respostas de estresse em pirarucu *Arapaima gigas* durante práticas de rotina em piscicultura. *Acta Amazônica* 36:343-350.
- Britz, J. P. and G. A. Pienaar. 1992. Laboratory experiments on the effect of light and cover on the behavior and growth of African catfish, *Clarias gariepinus* (Pisces: *Clariidae*). *Journal of Zoology* 227:43-62.
- Camargo, S. O., J. L. Pouey and C. Martins. 2005. Parâmetros eritrocitários do jundiá (*Rhamdia quelen*) submetido à dieta com diferentes níveis de proteína. *Revista Ciência Rural* 35(6):1406-1411.
- Carani, F. R., B. O. da S. Duran, W. P. Piedade, F. A. A. da Costa, V. M. F. de Almeida-Val and M. Dal-Pai-Silva. 2014. Expression of growth-related factors in skeletal muscle of pirarucu (*Arapaima gigas*) during growth. *Journal of Aquaculture Research & Development* 5(6):1-7.
- Collier, H. B. 1944. The standardization of blood haemoglobin determinations. *Canadian Medical Association Journal* 50:550-552.
- Cyrino, J. E. P., Á. J. A. Bicudo, R. Y. Sado, R. Borghesi and J. K. Dairiki. 2010. A piscicultura e o ambiente: o uso de alimentos ambientalmente corretos em piscicultura. *Revista Brasileira de Zootecnia* 39:68-87.
- Dabrowski, K., and H. Guderley. 2002. Intermediary metabolism. Pages 309-365 in Halver, J. E. and R. W. Hardy. (Eds.) *Fish nutrition*. Academic Press, Washington, D.C, United States.
- Dal Pai, V., M. Dal Pai-Silva, E. D. Carvalho, C. Y. Fujihara, E. A. Gregório and P. R. Curi. 2000. Morphological, histochemical and morphometric study of the myotomal muscle tissue of pacu (*Piaractus mesopotamicus*, Holmberg, 1887:

- Serrasalminae, Characidae, Teleostei*). Anatomia, Histologia, Embriologia 29:283-289.
- Dal Pai-Silva, M., E. M. S. Freitas, V. Dal Pai and A. C. Rodrigues. 2003. Morphological and histochemical study of myotomal muscle in pacu (*Piaractus mesopotamicus*) during the initial growth phases. Archive of Fishery and Marine Research 50(2):149-160.
- Dubowitz, V. and M. H. Brooke. 1973. Muscle biopsy: a modern approach. Saunders, London, England.
- Espe, M., K. Ruohonen, M. Bjornevik, L. Froyland, R. Nortvedt and A. Kiessling. 2004. Interaction between ice storage time, collagen composition, gaping and textural properties in farmed salmon muscle harvested at different times of the year. Aquaculture 240:489-504.
- Faucitano, L. 1998. Preslaughter stressors effects on pork: a review. Journal of Muscle Foods 9:293-303.
- Ferreira, R. A. R., A. L. Cavenaghi, E. D. Valini, M. R. Corrêa, E. Negrisoli, L. F. N. Bravin, M. L. B. Trindade, and F. S. Padilha. 2005. Monitoramento de fitoplâncton e microcistina no reservatório da UHE Americana. Planta Daninha 23(2):203-214.
- Figueiredo, R. A. C. R., R. C. Souza, K. S. Bezerra, D. F. B. Campeche, R. M. L. Campos, A. M. Souza and J. F. B. Melo. 2014. Relação proteína:carboidrato no desempenho e metabolismo de juvenis de pacamã (*Lophiosilurus alexandri*). Arquivos Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia 66(5):1567-1576.
- Furuya, W. M., D. Botaro, R. M. G. Macedo, V. G. Santos, L. C. R. Silva, T. C. Silva, V. R. B. Furuya and P. J. P. Sales. 2005. Aplicação do conceito de proteína ideal

- para redução dos níveis de proteína em dietas para tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*). Revista Brasileira de Zootecnia 34:1433-1441.
- Garling, D. L. 1992. Making plans for commercial aquaculture in the North Central Region. North Central Regional Aquaculture Center. Michigan State University, East Lansing, Michigan, United States.
- Gasparino, E., A. T. Campos, E. S. Klosovski, P. K. Guerreiro, V. M. Fulber, D. M. Leal and I. de Sousa. 2002. Estudos de parâmetros corporais em tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Pages 183 in Aqüicultura Brasil, Anais, ABRAq, Goiânia, Goiás, Brazil.
- Goldenfarb, P. B., F. P. Bowyer, E. E. Hall and E. Brosius. 1971. Reproducibility in the hematology laboratory: the microhematocrit determinations. American Journal Clinical of Pathology 56:35-39.
- Gomes, L. C., A. R. Chippari-Gomes, N. P. Lopes, R. Roubach and C. A. R. Araujolima. 2001. Efficacy of benzocaine as an anesthetic in juvenile tambaqui *Colossoma macropomum*. Journal of the World Aquaculture Society 32:426-431.
- Gomes, S. Z. and A. P. Schlindwein. 2000. Efeitos de períodos de cultivo e densidades de estocagem sobre o desempenho do catfish (*Ictalurus punctatus*) nas condições climáticas do litoral de Santa Catarina. Revista Brasileira de Zootecnia 29(5):1266-1272.
- Gómez-Guillén, M. C., P. Montero, O. Hurtado and A. J. Borderias. 2000. Biological characteristics affect the quality of farmed Atlantic salmon and smoked muscle. Journal of Food Science 65:53-60.
- Goñi, S. M. and V. O. Salvadori. 2010. Prediction of cooking times and weight losses during meat roasting. Journal of Food Engineering 100:1-11.

- Hoppe, R. 2008. Avaliação de três arranjos de densidade de cultivo de catfish americano *Ictalurus punctatus*, no sul do Brasil. Master's thesis. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brazil.
- Iwama, G.K. 1998. Stress in fish. *Annals of the New York Academy of Sciences* 851:304-310.
- Jackson, L. S., E. H. Robinson and M. H. Li. 2003. Restricted and satiate feeding of two genetically isolated strains of juvenile channel catfish *Ictalurus punctatus* reared on 28% and 32% protein diets. *Journal of the World Aquaculture Society* 34(4):478-486.
- Jobbling, M. 1994. Fish bionergetics. Chapman e Hall, London, England.
- Khan, M. S., K. J. Ang, M. A. Ambak and C. R. Saad. 1993. Optimum dietary protein requirement of Malaysain freshwater catfish, *Mystus nemurus*. *Aquaculture* 112:227-235.
- Klinger, R.C., V. S. Blazer and C. Echevarria. 1996. Effects of dietary lipid on the hematology of channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Aquaculture* 47:225-233.
- Lambooij, B., K. Kloosterboer, M. A. Gerritzen, G. André, M. Veldman and H. Van De Vis. 2006. Electrical stunning followed by decapitation or chilling of African catfish (*Clarias gariepinus*): assessment of behavioral and neural parameters and product quality. *Aquaculture Research* 37:61-70.
- Lawrie, R. A. 2005. Ciência da carne. Artmed, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brazil.
- Leary, S., W. Underwood, R. Anthony, S. Cartner, D. Corey, T. Grandin, C. Greenacre, S. Gwaltney-Brant, M. A. McCrackin, R. Meyer, D. Miller, J. Shearer and R. Yanong. 2013. AVMA Guidelines for the Euthanasia of Animals: 2013 Edition. American Veterinary Medical Association, Schaumburg, Illinois, United States.

- Lee, J. S. 1991. Commercial catfish farming. Interstate press, Danville, Illinois, United States.
- Lewis, G. W. 1985. Channel catfish production in ponds. Cooperative Extension Service. University of Georgia-College of Agriculture. Athens, Greece.
- Li, M. H., B. B. Manning, E. H. Robinson, B. G. Bosworth and W. R. Wolters. 2001. Comparison of growth, processing yield, and body composition of USDA103 and Mississippi “normal” strains of channel catfish fed diets containing three concentrations of protein. *Journal of the World Aquaculture Society* 32(4):402-408.
- Li, M. H., B. G. Bosworth and E. H. Robinson. 2000. Effect of dietary protein concentration on growth and processing yield of channel catfish *Ictalurus punctatus*. *Journal of the World Aquaculture Society* 31(4):592-598.
- Li, M. H., E. H. Robinson and D. Oberle. 2009. Yellow pigments in catfish. *The Catfish Journal* 23(6):11.
- Li, M. H., E. H. Robinson and W. R. Wolters. 1998. Evaluation of three strains of channel catfish *Ictalurus punctatus* fed diets containing three concentrations of protein and digestible energy. *Journal of the World Aquaculture Society* 29(2):155-160.
- Li, M. H., E. H. Robinson, B. C. Peterson and T. D. Bates. 2008a. Growth and feed efficiency of juvenile channel catfish reared at different water temperatures and fed diets containing various levels of fish meal. *North American Journal of Aquaculture* 70:347-352.
- Li M. H., E. H. Robinson, D. F. Oberle and P. V. Zimba. 2007. Effects of various dietary carotenoid pigments on fillet appearance and pigment absorption in

- channel catfish, *Ictalurus punctatus*. Journal of the World Aquaculture Society 38:557-563.
- Li, M. H., E. H. Robinson, D. F. Oberle and B. G. Bosworth. 2006. Effects of dietary protein concentration and feeding regimen on channel catfish, *Ictalurus punctatus*, production. Journal of the World Aquaculture Society 37(4):370-377.
- Li, M. H., E. H. Robinson, B. G. Bosworth, D. F. Oberle and P. M. Lucas. 2010. Effects of varying dietary compositions using common feed ingredients on growth and feed efficiency of pond-raised channel catfish *Ictalurus punctatus* (Rafinesque). Aquaculture Research 41:1133-1139.
- Li, M. H., E. H. Robinson, C. S. Tucker, D. F. Oberle and B. G. Bosworth. 2008b. Comparison of channel catfish, *Ictalurus punctatus*, and blue catfish, *Ictalurus furcatus*, fed diets containing various levels of protein in production ponds. Journal of the World Aquaculture Society 39(5):646-655.
- Li, M. H., E. H. Robinson, D. F. Oberle, P. M. Lucas, B. C. Peterson and T. D. Bates. 2011. Clearance of yellow pigments lutein and zeaxanthin in channel catfish, *Ictalurus punctatus*, reared at different water temperatures. Journal of the World Aquaculture Society 42(1):105-110.
- Li, Y., S. Liu, D. Cline, S. Chen, Y. Wang and L. N. Bell. 2013. Chemical treatments for reducing the yellow discoloration of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) fillets. Journal of Food Science 78(10):1609-1613.
- Lovell, T. 1984. The yellow fat problem in fish flesh. Aquaculture 10:39-40.
- Lovell, T. 1989. Nutrition and feeding of fish. Van Nostrand Reinhold, New York, New York, United States.
- Ludke, M. C. M. M. and J. Lopez. 1999. Colesterol e composição dos ácidos graxos nas dietas para humanos e na carcaça suína. Ciência Rural 29:181-187.

- Macedo-Viegas, E. M. and M. L. R. Souza. 2004. Pré-processamento e conservação do pescado produzido em piscicultura. Pages 406-480 in Cyrino, J. E. P., E. C. Urbinati, D. M. Fracalossi, N. Castagnolli. Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva. São Paulo, Brazil.
- Melo, J. F. B., M. Tavares-Dias, L. M. Lundstedt and G. Moraes. 2006. Efeito do conteúdo de proteína na dieta sobre os parâmetros hematológicos e metabólicos do bagre sul americano *Rhamdia quelen*. Revista Ciência Agroambiental 1:43-51.
- Meyer, G. and D. M. Fracalossi. 2004. Protein requirement of jundia fingerlings, *Rhamdia quelen*, at two dietary energy concentrations. Aquaculture 240:331-343.
- Moreno, G. M. B., C. M. B. Loureiro and H. B. A. Souza. 2008. Características qualitativas da carne ovina. Revista Nacional da Carne 381:76-90.
- NRC (National Research Council). 2011. Nutrient requirements of fish and shrimp. National Academy Press, Washington, United States.
- Oliveira-Ribeiro, C. A., E. Pelletier, W. C. Pfeiffer and C. Rouleau. 2000. Comparative uptake, bioaccumulation, and gill damages of inorganic mercury in tropical and Nordic freshwater fish. Environmental Research 83:286-292.
- Piedras, S. R. 1990. Manual prático para o cultivo do channel catfish (*Ictalurus punctatus*). Educat press, Pelotas, Rio Grande do Sul, Brazil.
- Piedras, S. R. N., P. R. N. Morais and A. R. V. Ladeira. 1991. Viabilidade do cultivo intensivo do channel catfish (*Ictalurus punctatus*) na zona sul do RS. Pages 73-77 in 2 Encontro Riograndense de técnicos em aquicultura. FURG, Rio Grande. Rio Grande do Sul, Brazil.
- Robinson, E. H. and M. H. Li. 1998. Comparison of practical diets with and without animal protein at various concentrations of dietary protein on performance of

- channel catfish *Ictalurus punctatus* raised in earthen ponds. Journal of the World Aquaculture Society 29(3):273-280.
- Robinson, E. H. and M. H. Li. 1999. Evaluation of practical diets with various levels of dietary protein and animal protein for pond-raised channel catfish *Ictalurus punctatus*. Journal of the World Aquaculture Society 30(2):147-153.
- Robinson, E. H., M. H. Li and B. B. Manning. 2000. Evaluation of various concentrations of dietary protein and animal protein for pond-raised channel catfish *Ictalurus punctatus* fed to satiation or at a restricted rate. Journal of the World Aquaculture Society 31(4):503-510.
- Robinson, E. H., M. H. Li, B. B. Manning and C. C. Mischke. 2004. Effects of dietary protein and feeding rate on channel catfish *Ictalurus punctatus* production, composition of gain, processing yield, and water quality. Journal of the World Aquaculture Society 35(4):468-477.
- Rowlerson, A. and A. Veggetti. 2001. Cellular mechanisms of post-embryonic muscle growth in aquaculture species. Pages: 103-139 in: Muscle Development and Growth. Johnston, I.A. (ed). Academic Press, London, England.
- SAS Institute Inc. 2002. Statistical Analysis user's guide. Version 9.0. Cary, Statistical Analysis Institute.
- Shahidi, F., J. Metusalach and J. A. Brown. 1998. Carotenoid pigments in seafoods and aquaculture. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 38(1):1-67.
- Sheridan, M. A. and T. P. Mommsen. 1991. Effects of nutritional state on in vivo lipid and carbohydrate metabolism of coho salmon, *Oncorhynchus kisuth*. General and Comparative Endocrinology 81:473-483.

- Sigurgisladottir, S., H. Ingvarsdottir, O. J. Torrissen, M. Cardinal and H. Hafsteinsson. 2000. Effects of freezing/thawing on the micro-structure and the texture of smoked Atlantic salmon (*Salmo salar*). Food Research International 33:857-865.
- Silva, D. J. and A. C. Queiroz. 2002. Análise de Alimentos: métodos químicos e biológicos. UFV, Viçosa, Minas Gerais, Brazil.
- Skjervold, P. O., S. O. Fjaera, P. B. Ostby and O. Einen. 2001. Live-chilling and crowding stress before slaughter of Atlantic salmon (*Salmo solar*). Aquaculture 192:265-280.
- Southworth, B. E., N. Stone and C. R. Engle. 2006. Production characteristics, water quality, and costs of producing channel catfish *Ictalurus punctatus* at different stocking densities in single-batch production. Journal of the World Aquaculture Society 37(1):21-31.
- Souza, L. S. 2002. Avaliação do desempenho de Jundiá (*Rhamdia* sp.) e catfish (*Ictalurus punctatus*) em tanque de terra. Master's thesis. Universidade Federal de Pelotas. Faculdade de Agronomia "Eliseu Maciel". Pelotas, Rio Grande do Sul, Brazil.
- Souza, M. L. R., S. Lima, A. A. Pinto, W. M. Furuya and B. T. R. R. Lourdes. 1998. Sex related effects on the processing yield of African cathfish (*Clarias gariepinus*). Pages 321 in Valenti, W. C., S. Zimmermann, C.R. Poli, A. T. B. Poli, F. R. De Moraes, G. Volpato and M. R. Câmara (Eds.). 10 Simpósio brasileiro de aqüicultura, Recife, Pernambuco, Brazil.
- Swenson M. J. 1996. Propriedades fisiológicas e constituintes químicos e celulares do sangue. Pages 856 in Swenson, M. J., W. O. Reece. Dukes: Fisiologia dos animais domésticos. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, Brazil.

- Tavares-Dias, M. and F. R. Moraes. 2004. Hematologia de peixes teleósteos. Villimpres Complexo Gráfico, Ribeirão Preto, São Paulo, Brazil.
- Tavares-Dias, M. and F. R. Moraes. 2007a. Haematological and biochemical reference intervals for farmed channel catfish. *Journal of Fish Biology* 71:383-388.
- Tavares-Dias, M. and F. R. Moraes. 2007b. Leukocyte and thrombocyte reference values for channel catfish (*Ictalurus punctatus* Raf.), with an assessment of morphological, cytochemical, and ultrastructural features. *Veterinary Clinical Pathology* 36:49-54.
- Tavares-Dias, M., M. M. Ishikawa, M. L. Martins, F. Satake, H. Hisano, S. B. Pádua, G. T. Jerônimo and A. R. S. Sá. 2009. Tópicos especiais em saúde e produção animal. Pages 43-80 in Brito, P. A. M., J. R. M. Brito and V. Miotello (Eds.). Hematologia - Ferramenta para o monitoramento do estado de saúde de peixes em cultivo. Pedro e João Editores, São Carlos, São Paulo, Brazil.
- Valente, L. M. P., E. Rocha, E. F. S. Gomes, M. W. Silva, M. H. Oliveira, R. A. F. Monteiro and B. Fauconneau. 1999. Growth and dynamics of white and red muscle fibres in fast- and slow-growing strains of rainbow trout. *Journal of Fish Biology* 55:675-691.
- Viddoti, R. M., D. J. Carneiro and E. B. Malheiros. 2000. Diferentes teores protéicos e de proteína de origem animal em dietas para o bagre africano, *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) na fase inicial. *Acta Scientiarum – Animal Science* 22(3):717-723.
- Vosylienié, M. Z. 1999. The effects of heavy metals in haematological indices of fish (Survey). *Acta Zoologica Lituanica* 9:76-82.
- Wellborn, T. L. 1987. Catfish farmer's handbook. Mississippi State University. Mississippi, United States.

- Wellborn, T. L. 1988. Channel catfish: Life history and biology. Southern Regional Aquaculture Center - Publication n° 180. University of Florida. Florida, United States.
- Wilson, R. P. 2002. Amino acid and proteins. Pages 143-179 in Halver, J. E. and R. W. Hardy (Eds.). Fish nutrition. Academic Press, Amsterdam, Netherlands.
- Wintrobe, M. M. 1934. Variations in the size and hemoglobin content of erythrocytes in the blood of various vertebrates. *Folia Hematologica* 51:32-49.
- Wu, G. 2013. Functional amino acids in nutrition and health. *Springer* 45:407-411.
- Yildirim-Aksoy, M., R. Shelby, C. Lim and P. H. Klesius. 2007. Growth performance and proximate and fatty acid compositions of channel catfish, *Ictalurus punctatus*, fed for different duration with a commercial diet supplemented with various levels of menhaden fish oil. *Journal of the World Aquaculture Society* 38(4):461-474.
- Zimmerman, A. M. and M. S. Lowery. 1999. Hyperplastic development and hypertrophic growth of muscle fibers in the white seabass (*Atractoscion nobilis*). *Journal of Experimental Zoology* 284:299-308.