

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE AQUIDAUANA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

**NÍVEIS PROTEICOS EM DIETAS PARA JUVENIS DE
PACU EM SISTEMA BIOFLOCOS**

Acadêmica: Dara Cristina Pires

Aquidauana - MS
Abril/2021

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE AQUIDAUANA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

NÍVEIS PROTEICOS EM DIETAS PARA JUVENIS DE PACU EM SISTEMA BIOFLOCOS

Acadêmica: Dara Cristina Pires
Orientador: Prof. Dr. Hamilton Hisano
Coorientador: Prof. Dr. Álvaro José de Almeida Bicudo

“Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Zootecnia, área de concentração em Produção Animal no Cerrado-Pantanal, da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Zootecnia”

Aquidauana - MS
Abril/2021

P743n Pires, Dara Cristina

Níveis proteicos em dietas para juvenis de pacu em sistema bioflocos / Dara Cristina Pires. – Aquidauana, MS: UEMS, 2021.

70 p.

Dissertação (Mestrado) – Zootecnia – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, 2021.

Orientador: Prof. Dr. Hamilton Hisano.

1. *Piaractus mesopotamicus* 2. Desempenho zootécnico 3. Proteína bruta I. Hisano, Hamilton II. Título

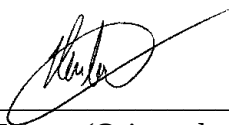
CDD 23. ed. - 597

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE AQUIDAUANA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM PRODUÇÃO ANIMAL**

DARA CRISTINA PIRES

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, área de concentração em Produção Animal, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Zootecnia.

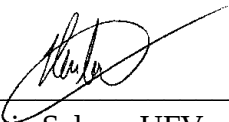
DISSERTAÇÃO APROVADA EM 13/04/2021.



Dr. Hamilton Hisano (Orientador)



Dr. Jener Alexandre Sampaio Zuanon, UFV
(via videoconferência)



Dra. Ana Lúcia Salaro, UFV
(via videoconferência)

"Se quer ir rápido, vá sozinho. Se quer ir longe, vá em grupo."

Provérbio Africano

Aos meus pais e irmãos dedico.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul e ao Programa de Pós Graduação em Zootecnia, pela oportunidade de realização deste curso, concedendo todo o suporte e auxílio necessário.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

A Usina Hidrelétrica de Itaipu (UH), pelo espaço concedido para realização do experimento e todo suporte para realização do mesmo.

A Embrapa Meio Ambiente, por ter realizado um acordo de cooperação com a usina e permitido a realização do projeto e todo procedimento que foi realizado durante as atividades.

A Deus por me permitir viver essa experiência com saúde, ânimo e força para concretizar mais um ciclo. Por nunca ter me desamparado nos momentos mais difíceis e por me enviar pessoas maravilhosas, que me acompanharam durante toda essa caminhada, as quais sou muito grata e que foram essenciais para conclusão dessa etapa.

Ao meu noivo Gabriel Artur Bezerra, por ter ajudado na realização do experimento, dando suporte emocional e nunca me deixar fraquejar, por todo apoio incondicional e ter sido a minha base durante esse período.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Hamilton Hisano, pela orientação desde o início do mestrado, por acompanhar e ensinar tudo o que foi necessário durante esta jornada.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Álvaro José de Almeida Bicudo que me acompanhou, ajudou e tirou todas as dúvidas durante esse tempo.

Aos engenheiros, André Luiz Watanabe e Celso Carlos Buglione Neto, funcionários da UH que me acompanharam e deram suporte na execução do experimento e estadia em Foz do Iguaçu-PR.

As minhas companheiras de trabalho Sara Simões Machado e Tainara Laise da Silva Blatt, pela ajuda nas análises durante o período experimental.

Aos técnicos de laboratório Isalina Ansilheiro Nascimento e Reinaldo Santos Shimabuku Junior pela ajuda na realização das análises do projeto.

A todos os funcionários do setor de ictiofauna do reservatório da UH, pela parceria e suporte na realização do experimento e amizade criada durante todo este período.

Aos supervisores e superintendentes da UH pela estadia e realização do experimento em Foz do Iguaçu.

Ao professor Arcangelo Augusto Signor, ao técnico Reginaldo dos Santos Araújo e ao aluno Guilherme Henrique de Paula do Instituto Federal do Paraná pela contribuição na execução das rações do experimento.

A todas as pessoas que de alguma forma acrescentaram para a realização e concretização desse trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	x
RESUMO.....	xi
ABSTRACT.....	xii
CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	1
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Produção da aquicultura mundial e nacional.....	3
2.2. Sistema bioflocos (Bioflocs Technology – BFT).....	5
2.3. O pacu (<i>Piaractus mesopotamicus</i>).....	8
2.4. A proteína em dietas para peixes.....	10
2.5. Modelos matemáticos para exigência proteica.....	12
2.6. Parâmetros hematológicos e bioquímicos na saúde dos peixes.....	14
3. OBJETIVOS.....	16
3.1. Objetivo geral.....	16
3.2. Objetivos específicos.....	17
4. REFERÊNCIAS.....	17
CAPÍTULO 2 - Níveis proteicos em dietas para juvenis de pacu em sistema bioflocos.....	26
Resumo.....	26
1.Introdução.....	27
2. Material e métodos.....	28

2.1 Condições experimentais e peixes.....	28
2.2 Delineamento e dietas experimentais.....	30
2.3 Análises hematológicas e bioquímicas.....	31
2.4 Desempenho zootécnico, índices somáticos e rendimentos.....	32
2.5 Procedimentos de análises químicas.....	33
2.6 Qualidade de água.....	34
2.7 Análise estatística.....	35
3. Resultados.....	37
4. Discussão.....	47
Referências.....	51
CAPÍTULO 3- CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Dietas experimentais para juvenis de pacu produzidos em sistema bioflocos.

Tabela 2. Desempenho zootécnico (médias $\pm$ desvios padrão) de juvenis de pacu (*Piaractus mesopotamicus*) alimentados com níveis de proteína bruta produzidos em sistema bioflocos durante 60 dias.

Tabela 3. Índice somático (médias $\pm$ desvios padrão) de juvenis de pacu (*Piaractus mesopotamicus*) alimentados com níveis de proteína bruta produzidos em sistema bioflocos durante 60 dias.

Tabela 4. Composição química corporal (médias $\pm$ desvios padrão) dos peixes inteiros de juvenis de pacu (*Piaractus mesopotamicus*) alimentados com níveis de proteína bruta em sistema bioflocos durante 60 dias.

Tabela 5. Parâmetros eritrocitários e índices hematimétricos (médias $\pm$ desvios padrão) de juvenis de pacu (*Piaractus mesopotamicus*) alimentados com níveis proteicos produzidos em sistema bioflocos durante 60 dias.

Tabela 6. Parâmetros bioquímicos (médias $\pm$ desvios padrão) de juvenis de pacu (*Piaractus mesopotamicus*) alimentados com níveis proteicos produzidos em sistema bioflocos durante 60 dias.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estimativa dos níveis de proteína bruta no GP em dietas de juvenis de pacu em sistema bioflocos; intercepto da equação quadrática com o platô do LRP.

Figura 2. Estimativa dos níveis de proteína bruta no CTC em dietas de juvenis de pacu em sistema bioflocos; intercepto da equação quadrática com o platô do LRP.

Figura 3. Efeito dos níveis dietéticos de proteína bruta sobre o CR de juvenis de pacu em BFT.

Figura 4. Efeito dos níveis dietéticos de proteína bruta sobre a TEP de juvenis de pacu em BFT.

Figura 5. Estimativa dos níveis de proteína bruta no VPP em dietas de juvenis de pacu em sistema bioflocos; intercepto da equação quadrática com o platô do LRP.

Figura 6. Efeito dos níveis de proteína bruta no RC em dietas de juvenis de pacu em sistema bioflocos.

Figura 7. Estimativa dos níveis de proteína bruta no RF em dietas de juvenis de pacu em sistema bioflocos; intercepto da equação quadrática com o platô do LRP.

RESUMO

O pacu (*Piaractus mesopotamicus*) é uma espécie onívora produzida amplamente na América do Sul, destacando-se pelo rápido crescimento, rusticidade, aceitação pelo mercado consumidor, além da adaptação a diversos sistemas de produção. Dentre os sistemas potenciais para a produção desta espécie, está o sistema bioflocos (BFT) que permite altos índices de produtividade com baixo impacto ambiental. A biomassa microbiana formada no sistema apresenta alto teor proteico e pode ser aproveitada por diversas espécies onívoras como alimento complementar. No presente estudo objetivamos avaliar os efeitos dos níveis proteicos da dieta sobre o desempenho zootécnico, parâmetros hematológicos e bioquímicos, composição química corporal, índices somáticos e rendimentos de carcaça e filé de juvenis de pacu produzidos em BFT. Foram testados cinco níveis de proteína bruta (PB) (19, 23, 27, 31 e 35%). Os juvenis de pacu ($3,16 \pm 0,3$ g) foram distribuídos aleatoriamente em vinte tanques com 50 L úteis com densidade de 300 peixes/m³ (15 peixes/caixa) em um delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. O ganho de peso (GP), o coeficiente térmico de crescimento (CTC), o valor produtivo da proteína (VPP) e o rendimento de filé (RF) apresentaram efeito quadrático com o aumento dos níveis proteicos. O consumo de ração (CR) e o rendimento de carcaça (RC) apresentaram efeito linear crescente, enquanto a taxa de eficiência proteica (TEP) diminuiu linearmente com a elevação da proteína bruta. A conversão alimentar (CA) não foi influenciada pelos tratamentos ($p > 0,05$). O hematócrito (Ht) foi reduzido nos peixes submetidos ao nível de proteína com 19 e 23% de PB. A atividade da enzima aspartato aminotransferase (AST) foi inferior no tratamento com 23% de PB ($p < 0,05$) e a fosfatase alcalina (ALP) apresentou valores superiores nos tratamentos com 19 e 35% de PB ($p < 0,05$). O nível ótimo em proteína foi estimado em 31,5% (27,2% PD) de PB para o melhor crescimento do pacu em sistema bioflocos.

Palavras-chave: *Piaractus mesopotamicus*; proteína bruta; exigências nutricionais.

ABSTRACT

Pacu (*Piaractus mesopotamicus*) is an omnivorous species widely cultured or reared in South America, and stands out for its rapid growth, rusticity, acceptance by the consumer market, in addition to adapting to various culture systems. Among the potential aquaculture systems biofloc technology (BFT) allows high levels of productivity with low environmental impact. The microbial biomass of BFT has a high protein content and can be used by several omnivorous species as a complementary food. The present study aimed to evaluate the effects of dietary protein levels on zootechnical performance, hematological and biochemical parameters, body chemical composition, somatic indexes and carcass and fillet yields of juvenile pacu reared in BFT. Five crude protein (CP) levels were tested (19, 23, 27, 31 and 35%). Pacu juveniles (3.16 ± 0.3 g) were randomly distributed in twenty 50 L tanks with a density of 300 fish / m³ (15 fish / aquarium) in a completely randomized design with four replications. Weight gain (WG), thermal growth coefficient (TGC), protein yield value (PPV) and fillet yield (FY) showed a quadratic effect with the increase in protein levels. Feed intake (FI) and carcass yield (CY) showed an increasing linear effect, while the protein efficiency rate (PER) decreased linearly with the increase in crude protein. Feed conversion rate (FCR) was not influenced by treatments ($p > 0.05$). The hematocrit (Ht) was reduced in fish submitted to the protein level with 19 and 23% CP. The biochemical variable aspartate aminotransferase (AST) was lower in the treatment with 23% CP ($p < 0.05$) and the alkaline phosphatase (ALP) showed higher values in the treatments with 19 and 35% CP ($p < 0.05$). The optimal protein level was estimated at 31.5% CP (27.2% DP) for the best growth of pacu in biofloc technology.

Keywords: *Piaractus mesopotamicus*; crude protein; nutritional requirements.

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

1. INTRODUÇÃO

Os custos com o alimento industrializado estão diretamente relacionados com a quantidade de proteína presente na dieta, principalmente de origem animal, podendo representar até 70% do custo de produção para peixes (BOLIVAR et al., 2010). Devido a este fator, são necessários estudos que determinem o nível dietético de proteína bruta que promova uma melhor relação custo/benefício para a espécie.

Além disso, a alimentação dos organismos aquáticos é um fator potencial de impacto na água podendo causar eutrofização dos ambientes da produção, aumento dos compostos nitrogenados e diminuição do oxigênio dissolvido, principalmente em sistemas intensivos que interferem diretamente no lucro e no potencial poluidor da atividade (PORTZ e FURUYA, 2013).

Estima-se que em um sistema convencional intensivo cerca de 70-75% do nitrogênio proteico da alimentação fornecida aos organismos aquáticos é liberado na água, seja pelo alimento não consumido ou resíduos metabólicos, que permanecem no sistema na forma de compostos nitrogenados em biomassa microbiana, servindo como alimento ou impactando na qualidade da água (BROWDY et al., 2012).

Desta forma, deve-se utilizar concentrações adequadas de proteína na dieta para evitar o excesso ou falta deste nutriente, em razão que esta condição pode prejudicar o desempenho dos peixes e o ambiente de produção. Todavia, o uso deste macronutriente pode ser afetado por diferentes fatores abióticos e bióticos, entre eles o sistema de produção (LIMA et al., 2015).

O sistema bioflocos (BFT), deste modo é uma alternativa para minimização dos impactos ambientais, através da diminuição de efluentes nos rios e redução da proteína via dieta com a melhora da conversão alimentar para a espécie que aproveite a reciclagem de nutrientes através da biomassa microbiana (LUO et al., 2014).

O sistema contém microrganismos (bactérias heterotróficas e outros organismos microbianos) mantidos de forma agregada com a matéria orgânica

particulada com o intuito de melhorar a qualidade de água, prevenção de doenças e o tratamento de resíduos (EL-SAYED, 2020). Deste modo, essa biomassa é responsável pela reciclagem de nutrientes do ambiente produtivo podendo o bioflocos ser reutilizado por mais de um ciclo de produção e servir como suplemento alimentar dos animais presentes no sistema (AZIM e LITTLE, 2008).

O “alimento natural” disponível dos flocos apresenta um teor de proteína entre 25 e 50% e conteúdo lipídico entre 0,5 e 15% (com base na matéria seca) (HARGREAVES, 2013), permitindo assim a redução do nível de proteína ofertada para os peixes, consequentemente no seu custo. Em contrapartida, a escolha adequada da espécie de peixe é de suma importância para que o animal consiga absorver os alimentos presentes no sistema como suplemento alimentar (AVNIMELECH, 2011).

A espécie escolhida para o BFT deve, entre outros fatores, ser de natureza filtradora ou detritívora para que consiga aproveitar os agregados microbianos e rastros branquiais desenvolvidos próximos uns dos outros possibilitando a captura de pequenas partículas; capacidade de tolerar níveis intermediários dos compostos nitrogenados, visto que pode ocorrer picos de amônia e nitrito durante os ciclos produtivos; e tolerância aos sólidos suspensos na água (EMERENCIANO et al., 2013).

A verificação do hábito alimentar, seja herbívoro ou onívoro, da espécie juntamente com seu aparato branquial é bastante importante no que diz respeito a peixes que consigam consumir os agregados que os microrganismos do bioflocos oferecem ao sistema, podendo ser utilizado com sucesso para estes animais atingindo um crescimento ideal (MAHANAND et al., 2013).

Considerando as características citadas para a escolha da espécie a ser utilizada no sistema bioflocos, o pacu é um peixe com potencial a ser produzido no sistema, devido as suas características morfológicas e hábito alimentar. Além, de ser uma das espécies nativas mais comercializadas no Brasil (IBGE, 2019) e produzida pela aquicultura continental, principalmente na Argentina e Paraguai (VALLADÃO et al., 2016).

Por outro lado, a produção de espécies nativas, ainda apresenta dificuldades, pela falta ou pouco conhecimento sobre a biologia, nutrição e reprodução destes animais (SAINT-PAUL, 2017), necessitando de estudos

nestas áreas para aumentar a produção destes organismos na aquicultura. Além da inexistência de informações sobre o efeito do nível proteico na dieta para pacu *Piaractus mesopotamicus* em sistema bioflocos, visto que no sistema de produção a disponibilidade do alimento natural pode influenciar e interferir na dependência e disponibilidade de nutrientes das dietas inertes, como a proteína.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Produção da aquicultura mundial e nacional

No ano de 2018 a aquicultura mundial atingiu 114,5 milhões de toneladas, sendo 82,1 milhões de toneladas de animais aquáticos, 32,4 milhões de algas aquáticas e 26 mil toneladas de pérolas ornamentais e conchas. A produção de organismos aquáticos, principalmente a piscicultura, teve um crescimento em média de 5,3% ao ano entre 2001 a 2018 (FAO, 2020).

Dentre os países produtores de pescado, a China permaneceu em primeiro lugar no ranking mundial do mesmo ano, sendo responsável por 35% da produção total, valor este que superou a produção dos continentes da Ásia (34%), Américas (14%), Europa (10%), África (7%) e Oceania (1%). No qual, as principais espécies produzidas foram as carpas (capim – *Ctenopharyngodon idellus* e prateada – *Hypothalmichthys molitrix*) e a Tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) (FAO, 2020).

O Brasil ocupa atualmente o 13º lugar na produção de peixes de cativeiro e o 8º na produção de peixes de água doce, por outro lado não há estatística pesqueira oficial no país e os dados obtidos são feitos por levantamentos realizados pela instituição e seus parceiros (FAO, 2020).

Grande parte do pescado brasileiro é destinado ao mercado interno, no qual a produção de peixes como a tilápia e nativos, são de suma importância para a economia. Dentre a comercialização de peixes nativos, a produção de peixes redondos tem maior destaque nacional (PEIXE BR, 2021).

O Brasil, no ano de 2020, produziu 802 mil toneladas de peixes provenientes da piscicultura, com um crescimento de 5,93% em relação ao ano

de 2019. Este dado é bastante positivo no que diz respeito a comparação com outras fontes proteicas (bovina, suína e aves), que se mantiveram estáveis no mesmo ano.

De acordo com dados do IBGE, no ano de 2018, o Brasil produziu mais de 154 mil toneladas de peixes redondos, destacando-se as espécies do pacu, tambaqui e pirapitinga (*Piaractus brachypomus*), e híbridos tambacu (*C. macropomum* × *P. mesopotamicus*), patinga (*P. mesopotamicus* × *P. brachypomus*) e tambatinga (*C. macropomum* × *P. brachypomus*).

Dentre as espécies nativas, o pacu apresenta características de destaque na produção nacional e internacional com potencial para seu aumento produtivo, como crescimento rápido, carne saborosa, alto rendimento de filé, adaptação à alimentação artificial e facilidade de manejo (VALLADÃO et al., 2016).

A produção internacional desta espécie, está em grande parte na Argentina e Paraguai e em pequenas quantidades no Chile, devido a adaptação da espécie nessas regiões pelas condições climáticas e hábito alimentar (VALLADÃO et al., 2016). Dados levantados pela FIGIS/FAO (2020), constataram que a produção do pacu no ano de 2018 no Paraguai foi de 2.445 toneladas e na Argentina 1.821 toneladas, aumentando substancialmente nos últimos anos, consequentemente alcançando um marco para a aquicultura paraguaia e argentina.

Deste modo, a busca pelo consumo de pescado no mundo, entre os anos de 1961 a 2017, aumentou em média 3,1% ao ano, sobrepondo-se ao crescimento populacional de 1,6% ao ano. No ano de 2018 o consumo de pescado foi de 20,5 kg per capita ao ano, representando 20% da proteína animal consumida mundialmente, dados estes que contribuem para a potencialização econômica da aquicultura no mundo (FAO, 2020).

O crescimento produtivo na aquicultura e o aumento pelo consumo de animais, principalmente, os peixes geram novos estudos sobre novas tecnologias, como o uso de sistemas produtivos que possibilitem o aumento da produção e diversificação de produtos oferecidos ao mercado. Assim, a escolha adequada do sistema, da espécie e sua nutrição é de suma importância para um melhor planejamento da atividade.

2.2 Sistema bioflocos (*Biofloc Technology - BFT*)

O sistema bioflocos (BFT) é uma tecnologia que atua na minimização do impacto ambiental, diminuindo o uso dos recursos hídricos e a redução do potencial poluidor dos efluentes para o ambiente, devido a troca mínima ou nula da água e o crescimento da comunidade microbiana podendo ser reutilizada por mais de um ciclo de produção evitando assim a liberação para o ambiente (KHANJANI e SHARIFINIA, 2019).

O BFT possibilita a utilização do sistema em locais com problemas relacionados com espaço disponível, altos custos de terra e redução da captação de recurso hídrico. Outra vantagem do sistema bioflocos é o controle dos compostos nitrogenados, principalmente devido à ação dos compostos heterotróficos e bactérias nitrificantes que se desenvolvem no sistema (GARCÍA-RÍOS et al., 2019).

O BFT inclui na sua composição compostos de matéria orgânica (60 a 70%), substâncias inorgânicas (30 a 40%) como polímeros orgânicos, coloides, íons binários, células mortas e sais; e combinação heterogênea de microrganismos (bactérias, fungos, protozoários, nematoides e rotíferos) (CHU e LEE, 2004).

Estes microrganismos presentes no sistema permitem a ciclagem de nutrientes da água, através da manutenção da relação carbono e nitrogênio (C:N) estimulando o crescimento microbiano, principalmente, das bactérias heterotróficas, que convertem os compostos nitrogenados em biomassa microbiana que posteriormente servirá como alimento para os organismos aquáticos (GREEN et al., 2019).

Definir a ótima relação carbono e nitrogênio (C:N) é a ferramenta fundamental para controlar o nitrogênio inorgânico e o consequente desenvolvimento dos flocos microbianos, o que indica a disponibilidade e competição por carbono orgânico e amônia no sistema (SILVA et al., 2017).

Em condições onde a relação C:N é baixa, os organismos autotróficos são favorecidos e em alta relação, as bactérias heterotróficas competem com as bactérias autotróficas por oxigênio dissolvido e espaço (MICHAUD et al., 2006). Deste modo, uma relação adequada pode melhorar a produção e a reciclagem de nutrientes no BFT.

Ainda são variadas as recomendações referentes a relação C:N, variando de 6:1 até 30:1 (LIMA et al., 2015; WASIELESKY et al., 2006), por outro lado a maioria relata que o ideal fica na faixa de 10:1 a 15:1 (BURFORD et al., 2003; PÉREZ-FUENTES et al., 2016; WIDANARNI et al., 2012).

Entre as fontes externas de carbono fornecidas no sistema para manutenção da relação carbono: nitrogênio, estão: melaço de cana de açúcar líquido ou em pó, glicose, dextrose, amido, sacarose, farinha de trigo e outros (AZIM e LITTLE, 2008; WANG et al., 2015; LI et al., 2018). Consequentemente, o nitrogênio inorgânico tóxico é mobilizado e direcionado para a síntese de novas células bacterianas, que realizarão a nitrificação no sistema (HARI et al., 2004);

No BFT a biomassa microbiana é uma rica fonte proteica, lipídica, de ácidos graxos e sais minerais, componentes estes importantes na nutrição dos organismos aquáticos (AZIM e LITTLE, 2008). O bioflocos pode conter de 20% a 45% de proteína bruta, 15% a 60% de cinzas, de 1% a 8% de lipídios, 1% a 15% de fibras e de 18% a 35% de carboidratos totais (EL-SAYED, 2020). Por outro lado, o perfil nutricional dos flocos microbianos tem bastante diversidade de nutrientes, podendo sofrer influência das diferentes fontes de carbono orgânico utilizadas e do tamanho do floco (WEI et al., 2016).

Visto que o nível proteico do bioflocos apresenta valores elevados de proteína bruta, com base na matéria seca, o uso dos flocos como suplemento alimentar é uma alternativa para redução com gastos na alimentação e melhora da conversão alimentar (GALLARDO-COLLÍ et al., 2019). A proteína presente no bioflocos pode ser utilizada pelos peixes que a aproveitam como alimento natural, melhorando o ganho de peso, resistência a doenças, conversão alimentar e sobrevivência (EL-SAYED, 2020).

Deste modo, o sistema possibilita a redução do nível proteico ofertado via dieta, como encontrado por Hisano et al. (2019) e Silva et al. (2018) para juvenis de tilápia, com peso de 6 a 30 g, 10 a 60 g e 60 a 230 g, com redução de 8, 5 e 11% de PB, respectivamente, baseado no maior nível de proteína ofertado no estudo.

Além dos aspectos nutricionais e de qualidade de água, o BFT atua na biossegurança, uma vez que, a diminuição da troca de água, reduz também a introdução de doenças no sistema (WASIELESKY et al., 2006). Com a redução da água, necessitando na maioria das vezes a reposição apenas em volumes

baixos ocasionado pela evaporação, a sustentabilidade do sistema é uns dos meios de diminuir o impacto ambiental, visto que muitas atividades agrícolas há a exploração desacerbada de recursos naturais, como a água (KRUMMENAUER et al., 2012).

O tratamento da água permite que ela seja frequentemente reutilizada, desde que o sistema mantenha as variáveis de qualidade de água controladas, podendo ser reciclada por até três anos (FÓES et al., 2012). Deste modo, a liberação de efluentes com altas taxas de nutrientes e de matéria orgânica ao ambiente são reduzidas (KHANJANI e SHARIFINIA, 2020).

Dentre as variáveis de qualidade de água que influenciam o sistema bioflocos, estão o teor de oxigênio, a alcalinidade e a amônia não-ionizada (NH_3), fatores estes limitantes para a suspensão dos sólidos suspensos e favorecimento do desenvolvimento microbiano (DAUDA et al., 2018).

Outra vantagem do sistema, está na produção de animais em altas densidades sem comprometer o desempenho zootécnico. Pesquisadores observaram que para juvenis ($38,4 \pm 1,49$ g) de tilápia em sistema bioflocos, a espécie pode alcançar densidades acima de 300 peixes/ m^3 (PÉREZ-FUENTES et al., 2016) e até 350 peixes/ m^3 para juvenis de tilápia GIFT ($0,98 \pm 0,06$ g) sem comprometer o crescimento, a sobrevivência e sua imunidade (HARIDAS et al., 2017).

Para a mesma espécie, os animais estocados na densidade de 12 kg/ m^3 , apresentaram pesos individuais 10% maiores nos tratamentos com bioflocos em relação ao tratamento controle (água clara), contribuindo com aumento de 45% na produtividade, baseado no ganho de peso total (AZIM e LITTLE, 2008).

Avaliando o desempenho zootécnico de juvenis ($123,0 \pm 0,6$ g) de tilápias em sistema bioflocos em diferentes densidades verificaram melhor resultado em densidade com 45 peixes/ m^3 , atingindo uma produtividade de 16,6 kg/ m^3 (LIMA et al., 2015). Em estudos mais recentes observando a mesma fase de produção ($3,06 \pm 0,2$ g) de tilápia em BFT em diferentes salinidades, identificaram que a salinidade de 8‰, a densidade no sistema pode chegar a 800 peixes/ m^3 (BROL et al., 2017).

De acordo com as vantagens citadas pelo sistema bioflocos, a utilização de espécies que possam aproveitar e se adaptar ao sistema é de suma importância para atingir o potencial do desempenho do organismo aquático, visto

que o BFT apresenta como requisito, principalmente, animais que suportem maiores concentrações de sólidos, altas densidades de estocagem e capacidade de filtração para aproveitamento do bioflocos (EMERENCIANO et al., 2013). Deste modo, avaliando espécies de peixes potenciais para o sistema, encontra-se o pacu, devido as suas características físicas e biológicas e de interesse comercial.

Por outro lado, ainda são inexistentes informações desta espécie no mesmo sistema, o que pode ser visto como uma possibilidade para aumento produtivo deste peixe tanto no âmbito nacional quanto internacional.

2.3 O pacu (*Piaractus mesopotamicus*)

O pacu pertence à ordem Characiforme, família Characidae e subfamília Myleinae, e é uma espécie originária da Bacia do Prata, encontrando-se entre os rios do Paraná, Paraguai e Uruguai (BICUDO et al., 2013). Classificado no grupo dos peixes redondos, apresenta corpo em forma de disco, grande quantidade de escamas de pequeno porte e dentes molariformes (URBINATI e TAKAHASHI, 2020).

A espécie possui hábito alimentar onívoro, o que permite a utilização de várias fontes de proteína na sua dieta, sejam elas de origem animal ou vegetal, apresentando a exigência proteica menor em relação a peixes carnívoros, podendo digerir e metabolizar mais eficientemente lipídios e carboidratos em sua alimentação (FERNANDES et al., 2001).

O pacu é uma espécie tropical que apresenta melhor desempenho zootécnico em temperaturas acima de 24°C, abaixo desta temperatura, há redução e estabilização do crescimento dos peixes (TORNOLI et al., 1984). No Brasil, as regiões que apresentam altas produções desta espécie estão no Sudeste e Centro-Oeste do país, devido ao clima, abundância em água doce e demanda de mercado (IBGE, 2019).

Dentre os sistemas utilizados na produção do pacu o tanque rede e o de recirculação de água, são os mais usuais (URBINATI e TAKAHASHI, 2020). Recomenda-se para estes sistemas a densidade de estocagem de 40 peixes/m³ e 150 peixes/m³ para juvenis de pacu com pesos de 142,11±10,54 g e 5,11-14,61

g, respectivamente, para tanques rede e recirculação de água (BITTENCOURT et al., 2010; DAVID et al., 2019). Em uma piscicultura de grande porte, juvenis de pacu com peso inicial de 0,5 g em três meses de produção podem atingir 145 g e conversão alimentar de 1,3 (BARROS et al., 2016) e para peixes adultos com peso médio de 1,3 kg podem produzir entre 9,6 e 17,5 ton/ha/ano, com densidades entre 1,0 a 1,5 peixes/m² (SCORVO-FILHO et al., 1998).

Além do uso da espécie em diferentes sistemas de produção e densidades de estocagem, a comercialização do pacu apresenta dificuldade no que diz respeito a gordura visceral e venda do peixe inteiro, devido as espécies apresentarem espinha em formato de “y” em sua musculatura, todavia, atualmente existem cortes específicos que possibilitam a retirada do mesmo, viabilizando os cortes do tipo filé (ANTUNES, 1997).

Outra alternativa para a comercialização do pacu é o uso do pescado na forma de carne mecanicamente separada (CMS) com a utilização de despoldadeiras (ANTUNES, 1997), visto que pode ser uma forma de incrementar a oferta de produtos à base de pescados e aumentar a produção, pois o rendimento do tronco limpo dos peixes redondos é de aproximadamente 60% (BENKE et al., 2005), devido à baixa porcentagem de cabeça.

A avaliação dos peixes em seus aspectos de rendimentos de carcaça e filé, por exemplo, garante a obtenção de indicadores para avaliação da qualidade do animal utilizado em indústrias para processamento de pescado (Carneiro et al., 2004). Para pacus com peso de 70,96 g em tanques-rede, os rendimentos de carcaça (sem vísceras e brânquias) e filé ficaram entre 22,41 a 24,09% e 81,3 a 84,4%, respectivamente (BOMBARDELLI et al., 2007). O rendimento de filé sem pele para a espécie com peso médio de 816±74 g foi de 46,73% (FARIA et al., 2003).

Os peixes com cabeça grande e comprimida proporcionam baixos rendimentos de filé, como no caso da tilápia, o rendimento ótimo é de 35%, ao passo que os peixes com cabeça pequena, como o pacu, o rendimento atinge valores mais elevados (aproximadamente 52%), tornando evidente uma relação inversamente proporcional entre o tamanho da cabeça e rendimento de filé (FARIA et al., 2003).

Estudos sobre o desempenho produtivo do pacu em experimentos desenvolvidos a campo sobre sistemas de produção, densidade de estocagem

e outros, foram na maioria executados na década de 80 e início de 90, quando a maioria das dietas disponíveis no mercado eram oriundas da avicultura (URBINATI e GONÇALVES, 2005).

Deste modo, avaliar aspectos nutricionais e o sistema de produção que permita o ótimo desempenho do peixe, visando aspectos econômicos e sustentáveis são essenciais para o aumento produtivo da espécie, visto que com a intensificação da produção, há aumento da demanda por alimento industrializado fornecido ao animal, necessitando assim de estudos que determinem as exigências em nutrientes essenciais, como a proteína (CYRINO e FRACALLOSSI, 2013).

2.4 A proteína em dietas para peixes

As proteínas são macromoléculas compostas por 50% carbono, 16% nitrogênio, 21,5% oxigênio e 6,5% hidrogênio. Elas são formadas por ligações de aminoácidos individuais por um agrupamento amino-terminal, que são as principais moléculas orgânicas presentes no tecido dos peixes (BRODY, 1999).

Quando a proteína da dieta é digerida pelo animal ela é hidrolisada em aminoácidos livres que serão distribuídos através da corrente sanguínea para os órgãos e tecidos, formando novas proteínas que serão destinadas para seu crescimento, manutenção e reprodução (NRC, 2011). Logo, o consumo adequado de proteínas e aminoácidos essenciais são de suma importância para a manutenção ou a produção de novas proteínas (síntese de proteínas) e desenvolvimento do animal.

O fornecimento inadequado deste nutriente na dieta do animal, seja pela falta ou excesso, resulta em interferências no desenvolvimento dos peixes (PORTZ e FURUYA, 2013). A deficiência de proteína limita o crescimento do animal e o ganho de peso corporal, devido à degradação de proteína dos tecidos, feita com o intuito de manter as funções vitais do organismo, consequentemente influenciando na desnutrição do mesmo (PORTZ e FURUYA, 2013).

A proteína ingerida em excesso pelo animal, será transformada em energia, por meio do processo de catabolismo, podendo acumular gordura corporal no peixe e excretada como amônia na água. Diante disto, as proteínas

em sistemas de produções, são moléculas de fator primordial para o desempenho dos peixes e estão interligadas com os níveis adequados de lipídios e carboidratos presentes na dieta (CHO et al., 2005).

À medida que os peixes vão crescendo, suas necessidades proteicas geralmente diminuem em porcentagem da dieta, pelo fato de realizarem síntese proteica corporal de acordo com seu crescimento, idade ou peso corporal e disponibilidade de aminoácidos nos alimentos (VERSTEGEN e JONGBLOED, 2003).

A exigência em proteína varia também, de acordo com as condições do ambiente, temperatura e qualidade da água, taxas de alimentação e a composição genética do animal. Portanto é de suma importância quantificar o nível proteico adequado para cada espécie em sua fase de produção (CRAIG e HELFRICH, 2002), uma vez que, a redução de custos e do impacto ambiental, devido a excreção de amônia no sistema, devem ser utilizados para uma aquicultura ambientalmente sustentável e rentável.

Posto que a proteína é o macronutriente mais oneroso da ração, a pesquisa sobre a nutrição dos peixes prioriza determinar os níveis mínimos que garantam o máximo desempenho da espécie (NRC, 2011). Trabalhos realizados com juvenis de pacu, de 4,6 a 11,31 g e 79,99 a 144,31 g, para estimar sua exigência proteica, determinaram que o ótimo desempenho dos peixes foi com rações contendo 26 e 22% de proteína bruta (PB) para juvenis de 4,6-11,31 g e 79,99-144,31 , respectivamente (FERNANDES et al., 2000 e 2001).

Outros trabalhos realizados nos últimos anos, recomendam o uso de rações contendo 27% PB para juvenis de pacu com peso inicial de $15,5 \pm 0,4$ g (Bicudo et al., 2010) e para juvenis com peso inicial de $10,82 \pm 0,14$ g, recomenda-se dietas contendo 32,6% de proteína digestível (KHAN et al., 2020).

Posto que a proteína é essencial na dieta para peixes, nota-se que a sua exigência está diretamente relacionada ao desenvolvimento do animal, o sistema de produção, à qualidade desta proteína e, sobretudo, ao consumo proteico pelo animal (ABIMORAD, 2004). Visto que os estudos realizados com pacu foram apenas em sistemas convencionais, o estudo desta espécie com novas tecnologias, possibilitaria a redução proteica via dieta, como relatado no sistema bioflocos.

Todavia, inicialmente para determinar a exigência em nutrientes, é necessário a escolha do modelo estatístico adequado permitindo assim, o melhor aproveitamento do nutriente evitando gastos e desperdício com o alimento.

2.5 Modelos matemáticos para exigência proteica

Para estimar a exigência correta de proteína na dieta do animal deve-se usar um adequado modelo matemático. Estes, podem ser utilizados para melhorar o desempenho, minimizar a oferta em excesso de nutrientes por meio de melhores estimativas da exigência, reduzir os custos com a produção e a utilização de alimentos em vários cenários produtivos (TEDESCHI et al., 2005).

Para a determinação do modelo matemático a ser utilizado no experimento deve-se seguir alguns critérios, entre eles estão: o estabelecimento do propósito do modelo, os riscos e benefícios associados com o uso do modelo estatístico na produção animal, escolha da melhor combinação de equações empíricas e teóricas para representar as funções fisiológicas do animal e informações usualmente encontradas a nível de campo (TEDESCHI et al., 2005).

Diversos trabalhos que avaliam o desempenho do animal pelo tipo dose-resposta, são comumente empregados em diferentes áreas da experimentação, utilizados para estimar os níveis ótimos de um determinado nutriente, bem como de ingredientes presentes na ração de diferentes espécies. Assim, os modelos matemáticos de natureza linear ou não linear podem ser utilizados para descrever as respostas de desempenho zootécnico do animal aos níveis de proteína bruta, porém os modelos amplamente utilizados têm sido os de natureza linear (SIQUEIRA et al., 2009).

Os modelos lineares são caracterizados quando as variáveis independentes estão linearmente dispostas com os coeficientes paramétricos, mesmo que existam termos elevados ao quadrado, ao cubo, e outros (SALL et al., 2001; OVIEDO-RONDÓN et al., 2002). Dentre estes modelos, estão o de regressão segmentada com duas inclinações, utilizados por vários pesquisadores (ROBBINS, 1986; PORTZ et al., 2000; LAMBERSON e FIRMAN, 2002; LESKE e COON, 2002), no qual se diferencia do LRP por compor-se de

duas retas com inclinações diferentes de zero; o *Linear Response Plateau* (LRP) e o polinomial quadrático (SIQUEIRA et al., 2009).

Os modelos lineares são amplamente difundidos na nutrição de aves por serem facilmente implementados nas análises estatísticas (OVIEDO-RONDÓN et al., 2002), podendo o uso destes modelos na piscicultura desempenhar um papel fundamental para a exigência de nutrientes.

O uso destes modelos é amplamente difundido, devido a sua fácil interpretação nas respostas biológicas, promovendo a determinação matemática de um único valor, considerado a exigência. As exigências estimadas pelos modelos lineares podem ser interpretadas como concentrações de proteína presentes na ração acima das quais não serão observadas respostas adicionais no desempenho zootécnico do animal (PACK et al., 2003).

O modelo LRP ou *broken-line* combina um teste de média para determinação do platô e geralmente ajusta uma equação linear aos dados que apresentam respostas a níveis crescente de nutriente (ROBBINS et al., 1979), por outro lado o uso do LRP pode subestimar os resultados, visto que as respostas de desempenho do animal se aproximam da “lei dos mínimos retornos” (PACK et al., 2003).

O modelo polinomial quadrático determina a exigência pelo nutriente pelo ponto máximo da curva, porém dependendo do comportamento dos dados e do experimento, este modelo poderá ocasionar ajustes inadequados (superestimar), causando falsa segurança, em razão da curvatura ser muito sensível às variações nos intervalos dos tratamentos (MORRIS, 1983; RUNHO et al., 2001). Considerando estes aspectos, o uso simultâneo destes dois modelos para ajustar os dados de desempenho zootécnico é uma importante ferramenta para a estimativa do melhor nível proteico (BAKER et al., 2002).

Desta maneira, a descrição mais detalhada do desempenho dos peixes pode ser obtida com o uso de modelos lineares, visto as vantagens e desvantagens de cada modelo utilizado para ajustes dos dados de desempenho da espécie obtidos em experimentos que visem utilizar o método dose-resposta.

Além, da determinação da exigência em nutrientes ser empregada principalmente no ganho em peso do animal (BAKER et al., 2012), outras variáveis que influenciam o desempenho dos animais interligadas com a saúde

do animal podem ser utilizadas para estimar o ótimo valor proteico, como no por exemplo os parâmetros hematológicos.

2.6 Parâmetros hematológicos e bioquímicos na saúde dos peixes

O estudo dos parâmetros hematológicos e bioquímicos é uma ferramenta que possibilita a realização do diagnóstico de distúrbios metabólicos e hematológicos dos peixes, bem como avaliar alterações morfológicas das células sanguíneas, estando intimamente interligada com a saúde do animal (RANZANI-PAIVA et al., 2013). Estas avaliações permitem identificar a resposta dos peixes quando doentes, de maneira eficaz, prática, rápida e com baixo custo (SATAKE et al., 2009).

A hematologia estuda as modificações dos padrões e dos distúrbios morfológicos das células do sangue. O sangue é um tecido conectivo de propriedades especiais, compreendendo em sua matriz extracelular líquida o plasma, composta por 90% de água, 7% de proteínas, conhecidas como albumina e globulinas, e composto por metabólitos como hormônios, enzimas e eletrólitos variados (SILVA et al., 2012).

A bioquímica estuda as estruturas moleculares, processos químicos e os mecanismos responsáveis pela vida. Os peixes continuamente realizam atividades que permitem que cresçam, reproduzam e sobrevivam. Para realizar as suas funções, eles dependem da capacidade de obter, armazenar, transformar e utilizar energia, onde há falta desta energia ocorre a perda da vitalidade e morte das células. Logo, na bioquímica, a estrutura, as atividades potenciais e a organização dessas moléculas são analisadas com o propósito de verificar as transformações que ocorrem nas substâncias e moléculas dos organismos (TAVARES-DIAS, 2015).

As alterações da dieta e condições de manejo inadequados podem afetar os parâmetros hematológicos do organismo (TAVARES-DIAS, 2015), além da fase de crescimento dos peixes podendo influenciar as variáveis eritrocitárias (CAMARGO et al., 2005). A proteína é essencial para a eritropoiese, aumentando os teores de hemoglobina e mantendo a saúde dos peixes (KLINGER et al., 1996).

A oferta de proteínas em altas concentrações podem aumentar os níveis plasmáticos de glicose e redução dos triacilgliceróis do animal, sugerindo que o peixe para suprir as fontes de carboidratos, mobilizam os lipídios nas células para metabolizar aminoácidos através dos músculos (VIEIRA et al., 2005). Por outro lado, a diminuição do nível proteico em dietas pode reduzir os níveis de albumina e globulina circulante, uma vez que a fração proteica do sangue é constituída por essas proteínas (THRALL, et al., 2015).

O excesso ou a diminuição dos níveis proteicos também podem influenciar nas enzimas transaminases, visto que a proteína pode ser catabolizada para energia e gliconeogênese, o qual diminui a retenção de proteína e aumenta a excreção de amônia na água (FRACALOSSI et al., 2013).

Os exames hematológicos são necessários para caracterizar fisiologicamente uma espécie no ambiente em que vive, posteriormente, ajudar nos trabalhos de manejo das produções, relacionando-as à presença de infecções ou infestações nos peixes, bem como às alterações ambientais (RANZANI-PAIVA et al., 1999). Proporciona também o conhecimento das condições de equilíbrio normais e patológicos (AZEVEDO et al., 2006).

Por outro lado, por mais que existem inúmeros trabalhos com parâmetros sanguíneos em peixes, a literatura apresenta diversas informações diferentes com relação a diferenciação celular, nomenclaturas, função e maturação das células sanguíneas dos organismos aquáticos (TAVARES-DIAS e MORAES, 2004). Deste modo, estudos relacionados ao manejo, nutrição de peixes produzidos em sistemas intensivos vem sendo realizados com o objetivo de caracterizar as consequências e os efeitos que determinados nutrientes e/ou condições de desafios podem causar no estado de higidez dos animais.

A partir das análises hematológicas e bioquímicas é possível avaliar o estado nutricional e saúde dos peixes, devido o sangue ser um dos tecidos mais dinâmicos do animal e refletir alterações da dieta (HIGUCHI et al., 2011).

O conhecimento dos valores médios dos parâmetros hematológicos e bioquímicos na natureza ou nos mais diversos sistemas de produção são essenciais para identificar as alterações fisiológicas derivadas da nutrição desses animais (ARAÚJO et al., 2011).

O sistema de produção pode, entre outros fatores, induzir alterações nos parâmetros hematológicos e bioquímicos, tais como: concentração de

hemoglobina ou o tamanho e/ou o número de seus eritrócitos, no qual o animal apresenta uma resposta desencadeada pela estimulação adrenérgica para a circulação (MARTINEZ e CÓLUS, 2002).

A composição hematológica estar suscetível a fatores ecológicos e fisiológicos, como o estágio de desenvolvimento gonadal, o sexo, infecções, estresse, comprimento corporal e o peso do peixe (MCCORMICK e NAIMAN, 1985), bem como a dieta fornecida ao animal (GODOY et al., 2008).

O desenvolvimento do estado fisiológico dos peixes pode ser avaliado pelos índices hematimétricos (VOSYLIENÉ, 1999). A avaliação destes parâmetros propicia na determinação da influência de condições fisiopatológicas que possam afetar a homeostase, auxiliando, desta maneira, no diagnóstico de condições adversas (TAVARES-DIAS et al., 1999).

Nos parâmetros bioquímicos avaliados nos peixes, a atividade enzimática é uma das mais utilizadas, por exemplo, a avaliação da fosfatase alcalina, alanina aminotransferase e aspartato aminotransferase, pois são normalmente relacionadas com a nutrição do animal (COSTA et al., 2011).

Estas enzimas podem estar relacionadas com dados hepáticos do animal ou catabolismo proteico fornecido pelo excesso de proteína na dieta, responsável pela remoção do grupo amino do aminoácido e transferência para α -cetoglutarato (α -cetoácido), formando glutamato e piruvato (VOET e VOET, 2013). Deste modo, estas enzimas são fundamentais para a determinação em exigência proteica fornecida aos peixes por via de ração.

Portando, o estudo dos parâmetros sanguíneos para identificar o estado de saúde dos peixes é fundamental para o melhor entendimento do metabolismo dos nutrientes e da fisiologia de digestão, possibilitando na elaboração correta de dietas para os peixes (BRAGA et al., 2004).

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo Geral

Avaliar os efeitos dos níveis proteicos das dietas para juvenis de pacu (*Piaractus mesopotamicus*) produzidos em sistema bioflocos sobre o crescimento, a eficiência de utilização dos nutrientes e metabolismo de aminoácidos.

3.2. Objetivos Específicos

- Determinar o nível ótimo de proteína bruta em dietas para juvenis de pacu baseado no desempenho zootécnico da espécie em sistema bioflocos;
- Determinar a composição química corporal e o valor produtivo da proteína dos juvenis de pacu alimentados com dietas com níveis de proteína bruta;
- Determinar os índices somáticos (víscerossomático, lipossomático e hepatossomático) e os rendimentos de carcaça e filé;
- Analisar os efeitos dos níveis de proteína bruta sobre os parâmetros hematológicos, bioquímicos e enzimáticos dos juvenis de pacu alimentados com níveis de proteína bruta.

4. REFERÊNCIAS

ABIMORAD, E.G. *Relation between levels of protein and energy digestibilities diets with different proportions of lipids and carbohydrates for the growth of pacu, Piaractus mesopotamicus*. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal-SP. p.89. 2004.

ALVES, L.F.S. et al. Determinação de padrão morfológico de brânquias de pacu (*Piaractus mesopotamicus*). **Scientia Agraria Paranaensis**. 2017.

ANTUNES, S. A. Recentes avanços e perspectivas da industrialização do pescado de água doce. CBNA. Campinas-SP. 1997.

ARAÚJO, D.M. et al. Hematologia de tilápias do nilo alimentadas com dietas com óleos vegetais e estimuladas pelo frio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, vol.46, n. 3, p. 294-302. 2011.

AVNIMELECH, Y. Biofloc Technology: A Practical Guide Book. 2. ed. World **Aquaculture Society**, 2009.

AVNIMELECH, Y. Tilapia production using biofloc technology—Saving water, waste recycling improves economics. **Global Aquaculture Advocate**, p.66-68. 2011.

AZEVEDO, T. M. P. et al. Hematologia de *Oreochromis niloticus*: comparação entre peixes mantidos em piscicultura consorciada com suínos e em pesque-pague no vale do rio Tijucas, Santa Catarina, Brasil. **Boletim Instituto de Pesca**, n.32, vol.1, p.41-49, 2006.

AZIM, M. E. e LITTLE, D. C. The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: Water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, vol. 283, n. 1–4, p. 29–35, 2008.

BAKER, D.H.; BATAL, A.B. e PARR, T.M. et al. Ideal ration (relative to lysine) of tryptophan, threonine, isoleucine and valine for chicks during the second and third weeks posthatch. **Poultry Science**, vol.81, p.485-494, 2002.

BARROS, A. F. et al. Custo de implantação e planejamento de uma piscicultura de grande porte no Estado de Mato Grosso, Brasil. **Archivos de Zootecnia**, vol.65, p. 21-28. 2016.

BENKE, B. et al. Características morfológicas e rendimento de cortes da carne do pacu (*Piaractus mesopotamicus*) cultivado em tanques-rede no reservatório de Itaipu. CONBEP. 2005.

BICUDO, A.J.A.; ABIMORAD, E.G e CARNEIRO, D.J. Exigências nutricionais e alimentação do pacu. In: CYRINO, J.E.P.; FRACALLOSSI, D.M. (Ed.). Nutriaqua: nutrição e alimentação de espécies de interesse para aquicultura brasileira. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, p.1-8. 2013.

BICUDO, A.J.A. et al. Growth performance and body composition of pacu *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg 1887) in response to dietary protein and energy levels. **Aquaculture Nutrition**. 16, 213-222. 2010.

BITTENCOURT, F. et al. Densidade de estocagem e parâmetros eritrocitários de pacus criados em tanques-rede. **Revista Brasileira de Zootecnia**. Viçosa-MG, vol.39, n.11. 2010.

BOLIVAR, R. B., et al. Feeding reduction strategies and alternative feeds to reduce production costs of tilapia culture. Technical Reports: Investigations 2007-2009. AquaFish Collaborative Research Support Program. Oregon State University. vol. 1, p. 50-78. 2010.

BOMBARDELLI, R. A; BENCKE, B. C. e SANCHES, E. A. Processamento da carne do pacu Processamento da carne do pacu (*Piaractus mesopotamicus*) cultivado em tanques rede no reservatório de Itaipu. **Acta Sci. Anim. Sci.** Maringá-PR, vol.29, n. 4, p.457-463. 2007.

BURFORD, M. A. et al. Nutrient and microbial dynamics in high-intensity, zero-exchange shrimp ponds in Belize. *Aquaculture*, Amsterdam, v. 219, n. 1-4, p. 393-411, 2003.

BRAGA, L.G.T. et al. Atividade da tripsina em rã-touro na fase pós-metamórfica. **Revista Brasileira de Zootecnia**, vol.33, n.4, p.821-827. 2004.

BRODY, T. Classification of biological structure. In *Nutritional Biochemistry*, Second Edition. San Diego, CA: Academic Press. p. 1-56. 1999.

BROL, J. et al. Tecnologia de bioflocos (BFT) no desempenho zootécnico de tilápias: efeito da linhagem e densidades de estocagem. **Arch. Zootec.** 66 (254): 229-235. 2017.

BROWDY, C.L. et al. Biofloc based Aquaculture Systems. In: TIDWELL, J (ed.). **Aquaculture Production Systems**. 1 ed. Kentucky State University, 278-307. 2012.

BUZOLLO, H. et al. Digestible protein requirements and muscle growth in juvenile tambaqui (*Colossoma macropomum*). **Aquaculture Nutrition**, 1-11. 2019.

CAMARGO, S.O., POUEY, J.L. e MARTINS, C. Parâmetros eritrocitários do jundiá (*Rhamdia quelen*) submetido à dieta com diferentes níveis de proteína. **Ciência Rural**, vol.35, n.6, p.1406-1411, 2005.

CARNEIRO, P. C. F. et al. Processamento de Jundiá *Rhamdia quelen*: rendimento de carcaça. **Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais**, Curitiba, vol.2 n.3, p. 11-17. 2004.

CHO, S. H., LEE, S. M. e LEE, J. H. Effect of dietary protein and lipid levels on growth and body composition of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L) reared under optimum salinity and temperature conditions. **Aquaculture Nutrition**, Oxford, vol. 11, n. 4, p. 235-240, 2005.

CHU, C. e LEE, D. Multiscale structures of biological flocs. *Chemical Engineering Science* 59: 1875–1883. 2004.

CONTRERAS-GUZMÁN, E. *Bioquímica de Pescados e Derivados*. Jaboticabal: FUNEP, 409p. 1994.

COSTA, M.L. et al. Enzimas digestivas de juvenis de carpa capim alimentados com forragem e ração. **Archivos de Zootecnia**, vol.60, n.231, p.563-570. 2011.

CRAIG, S. e HELFRICH, A. *Understanding Fish Nutrition, Feeds, and Feeding*. Virginia Cooperative Extension. Publication 420-256. 2002.

CYRINO, J.E.P. e FRACALLOSSI, D.M. Pesquisa em nutrição de peixes e o desenvolvimento da aquicultura no Brasil: uma perspectiva histórica. In:

CYRINO, J.E.P.; FRACALOSSO, D.M. (Ed.). Nutriaqua: nutrição e alimentação de espécies de interesse para aquicultura brasileira. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, p.1-8. 2013.

DAUDA, A., B. et al. Differences in feeding habits influence the growth performance and feeding efficiencies of African catfish (*Clarias gariepinus*) and lemon fin barb hybrid (*Hypsibarbus wetmorei* ♂ × *Barboides gonionotus* ♀) in glycerol-based biofloc technology system versus a recirculating system. **Aquacultural Engineering**. 82 (31-37). 2018.

DAVID, L. H. C. et al. Influência da densidade de estocagem no desempenho zootécnico do pacu durante a pré-engorda. **Arq. Ciên. Mar**, Fortaleza, 52(1): 50 – 56. 2019.

DE SCHRYVER, P., et al. The basics of bioflocs technology: the added value for aquaculture. **Aquaculture** 277, 125–137. 2008.

DRUZIAN, J. I. et al. Perfil de ácidos graxos e composição centesimal de carpas (*Cyprinus carpio*) alimentadas com ração e com dejetos suínos. **Ciência Rural**. Santa Maria-RS. vol.37, n. 2. 2007.

EL-SAYED, A. F. M. Use of biofloc technology in shrimp aquaculture: a comprehensive review, with emphasis on the last decade. Reviews in **Aquaculture**, 1-30. 2020.

EMERENCIANO, M.; GAXIOLA, G.; CUZON, G. Biofloc Technology (BFT): A review for aquaculture application and animal food industry. Intech. c.12, 2013.

ENKE, D.B.S.; CYRINO, J.E.P e FRACALOSSO, D.M. Tabelas de composição de alimentos. In: CYRINO, J.E.P.; FRACALOSSO, D.M. (Ed.). Nutriaqua: nutrição e alimentação de espécies de interesse para aquicultura brasileira. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, p.1-8. 2013.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). World fisheries and aquaculture: Sustainability in action. Rome, Italy, 224p. 2020.

FARIA, R. H. S. Rendimento do processamento da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1757) e do pacu (*Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887). **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, vol. 25, n.1, p.21-24, 2003.

FERNANDES, J. B. K.; CARNEIRO, D. J.; SAKOMURA, N.K. Fontes e níveis de proteína bruta em dietas para alevinos de pacu (*Piaractus mesopotamicus*). **Revista Brasileira de Zootecnia** 29: 646-653. 2000.

FERNANDES, J. B. K.; CARNEIRO, D. J.; SAKOMURA, N.K. Fontes e níveis de proteína bruta em dietas para juvenis de pacu (*Piaractus mesopotamicus*). **Revista Brasileira de Zootecnia** 30: 617-626. 2001.

FIGIS/FAO. Global Production Statistics 1950–2018. Available

from URL: <http://www.fao.org/fishery/statistics/global-production/query/en>. 2018.

FÓES, G. K.; GAONA, C. A. P. e POERSCH, L. H. Cultivo em bioflocos (BFT) é eficaz na produção intensiva de camarões. **Visão Agrícola**, n. 11. 2012.

GALLARDO-COLLÍ, A. et al. Microeukaryote community and the nutritional composition of the biofloc during Nile tilapia culture in water-reusing biofloc systems. **Aquaculture International**, 27:381–398. 2019.

GARCÍA-RÍOS, L. et al. Biofloc technology (BFT) applied to tilapia fingerlings production using different carbon sources: Emphasis on commercial applications. **Aquaculture**, vol. 502, p. 26–31, 2019.

GODOY, H.B.R. et al. O uso da silagem de subprodutos da filetagem de peixe na alimentação de suínos em crescimento – parâmetros séricos. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, vol.45, n.6, p.429-436, 2008.

GREEN, B., W. et al. Effects of dietary protein content on hybrid tilapia (*Oreochromis aureus*×*O. niloticus*) performance, common microbial off flavor compounds, and water quality dynamics in an outdoor biofloc technology production system. **Aquaculture** 503, 571–582. 2019.

HARI, B. et al. Effects of carbohydrate addition on production in extensive shrimp culture systems. **Aquaculture**, vol. 241, n. 1–4, p. 179–194, 26 nov. 2004.

HARIDAS, H. et al. Enhanced growth and immuno-physiological response of Genetically Improved Farmed Tilapia in indoor biofloc units at different stocking densities. **Aquaculture Research**, 1–10. 2017.

HARGREAVES, J. Biofloc production systems for aquaculture. Southern Regional Aquaculture Center publication. 2013.

HIGUCHI, L.H. et al. Avaliação eritrocitária e bioquímica de jundiás (*Rhamdia quelen*) submetidos à dieta com diferentes níveis proteicos e energéticos. **Ciência Animal Brasileira**, vol.12, n.1, p.70-75. 2011.

HISANO, H. et al. Dietary protein reduction for Nile tilapia fingerlings reared in biofloc technology. **J. World Aquacult Soc**, 1–11. 2019.

IBGE – Instituto Brasileiro de geografia Estatística. Produção da Pecuária Municipal. Brasil, 2019.

KHAN, K. U. et al. Response of juvenile pacu (*Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887) to balanced digestible protein. **Aquaculture Research**. 1-12. 2020.

- KHANJANI, M. H. e SHARIFINIA, M. Biofloc technology as a promising tool to improve aquaculture production. **Aquaculture**, 1-15. 2019.
- KLINGER, R.C.; BLAZER, V.S. e ECHEVARRIA, C. Effects of dietary lipid on the hematology of channel catfish, *Ictalurus punctatus*. **Aquaculture**, vol.147, p.225- 233, 1996.
- KRUMMENAUER, D. et al. Cultivo de camarões marinhos em sistema de bioflocos: análise da reutilização da água. *Atlântica*, Rio Grande, 34(2) 103-111. 2012.
- LAMBERSON, W.R.; FIRMAN, D. A comparison of quadratic versus segmented regression procedures for estimating nutrient requirements. **Poultry Science**, vol.81, p.481-484, 2002.
- LESKE, K.; COON, C. The development of feedstuff retainable phosphorus values for broilers. **Poultry Science**, vol.81, p.1681-1693, 2002.
- LI, H. D. et al. Effect of biofloc technology on water quality and feed utilization in the cultivation of gibel carp (*Carassius auratus gibelio* var. CAS III). **Aquaculture Research**, vol. 49, n. 8, p. 2852–2860, 2018.
- LIMA, C. S., SILVEIRA, M. M. e TUESTA, G. M. R. Nutrição proteica para peixes. **Ciência Animal** 25 (4): 27-34, 2015.
- LIMA, E.C.R.S et al. Cultivo da tilápia do Nilo *Oreochromis niloticus* em sistema de bioflocos com diferentes densidades de estocagem. **Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.**, Salvador, vol.16, n.4, p.948-957, 2015.
- LUO, G. et al. Growth, digestive activity, welfare, and partial cost-effectiveness of genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultured in a recirculating aquaculture system and an indoor biofloc system. **Aquaculture**, v. 422-423, p. 1-7, 2014.
- MAHANAND, S. S., MOULICK, S. e RAO, P. S. Optimum formulation of feed for rohu, *Labeo rohita* (Hamilton), with biofloc as a component. *Aquaculture International* 21: 347–360. 2013.
- MARTINEZ, C. B. R. e CÓLUS, I. M. S. Biomarcadores em peixes neotropicais para o monitoramento da poluição aquática na bacia do rio Tibagi In: Medri, M.E.; Bianchini, E.; Shibatta, O.A.; Pimenta, J.A. (Eds.) A bacia do rio Tibagi. Londrina. Cap. 29, p. 551 – 577. 2002.
- MCCORMICK, S.D. e NAIMAN, R.J. Hypoosmoregulation in an anadromus teleost: influence of sex and maturation. *J. Exp. Zool.*, v.234, p.193-198. 1985.
- MENTON, D.J. Research considerations into the nutrition of *Colossoma* and *Piaractus* in relation to culture conditions. In: Hernandez, R. (Ed.). *Produção de Colossoma*. Bogotá: Guadalupe. p.75-84, 1989.

MICHAUD, L. et al. Effect of particulate organic carbon on heterotrophic bacterial populations and nitrification efficiency in biological filters. *Aquacultural Engineering*, Oxford, v. 34, n. 3, p. 224-233, 2006.

MORRIS, T. R. The interpretation of response data from animal feeding trials. In: HARESIGN, W. Recent advances in animal nutrition. London: Butterworths, p. 13-23. 1983.

NRC (National research council). Nutrient requirement of fish and shrimp. Washington: National Academic Press, 376 p. 2011.

OVIEDO-RONDÓN, E.O.; MURAKAMI, A.E. e SAKAGUTI, E.S. Modelagem computacional para produção e pesquisa em avicultura. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, vol.4, p.199-207, 2002.

PACK, M.; HOEHLER, D. e LEMME, A. Economic assessment of amino acid responses in growing poultry. In: D'MELLO, J.P.F. (Ed.) **Amino acids in animal nutrition**. Cambridge: CABI Publishing, p.459-483. 2003.

PEIXE BR. Anuário Peixe BR da Piscicultura 2021. 2021.

PÉREZ-FUENTES, J. A. et al. C:N ratios affect nitrogen removal and production of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* raised in a biofloc system under high density cultivation. **Aquaculture**, Amsterdam, vol. 452, n. 1, p. 247-251, 2016.

PORTZ, L., DIAS, C. T. S. e CYRINO, J. E. P. Regressão segmentada como modelo na determinação de exigências nutricionais de peixes. **Sci. Agric**, Piracicaba-SP, vol.57, n.4. 2000.

PORTZ, L e FURUYA, W. M. Energia, Proteína e Aminoácidos. In: FRACALLOSSI, D. M. e CYRINO, J. E. P. Nutriaqua – Nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aquicultura brasileira. 1ª edição ampliada. Florianópolis. 2013.

RANZANI-PAIVA, M. J. T. et al. Análises hematológicas de curimatá (*Prochilodus scrofa*), pacu (*Piaractus mesopotamicus*) e tambaqui (*Colossoma macropomum*) das estações de piscicultura do instituto de pesca, estado de São Paulo. **Boletim do Instituto de Pesca**, vol.25, p.77-83, 1999.

RANZANI-PAIVA, M. J. et al. Métodos para análise hematológica em peixes. Fapesp. Maringá. Eduem, 2013.

ROBBINS, K.R. A method, program, and example for fitting the broken-line to growth data. Tennessee: University of Tennessee, Agricultural Experimental Station (Research Report 86/09), 8p. 1986.

ROBBINS, K.R.; NORTON, H.W. e BAKER, D.H. Estimation of nutrient requirement from growth data. **Journal of Nutrition**, vol.109, p.1710-1714, 1979.

RUNHO, R. C., et al. Exigência de fósforo disponível para frangos de corte machos e fêmeas de 1 a 21 dias de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, vol. 30, n. 1, p. 187-196, 2001.

SALL, J.; LEHMAN, A. e CREIGHTON, L. JMP start statistics: A guide to statistics and data analysis. 2.ed. Duxbury: SAS Institute, 491p. 2001.

SATAKE, F.; PÁDUA, S. B. de; ISHIKAWA, M. M. Distúrbios morfológicos em células sanguíneas de peixes em cultivo: uma ferramenta prognóstica. In: TAVARES-DIAS, M. (Org.). Manejo e sanidade de peixes em cultivo. Macapá: Embrapa Amapá, p. 330-345, 2009.

SAINT-PAUL, U. Native fish species boosting Brazilian's aquaculture development. Acta of Fisheries and Aquatic Resources. 2017.

SCORVO-FILHO, J. D., MARTIN, N. B.; AYROZA, L. M. S. Piscicultura em São Paulo: custos e retornos de diferentes sistemas de produção na safra de 1996/1997. Informações Econômicas, São Paulo, vol. 28, n. 3, p. 41-60. 1998.

SILVA, A. S. E., LIMA, J. T. A. X. e BLANCO, B. S. Hematologia em peixes. **Revista Centauro**, vol.3, n.1, p24 – 3., 2012.

SILVA, M. A. et al. Crude protein levels in diets for two growth stages of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in a biofloc system. **Aquaculture Research**, 49(8), 2693–2703. 2018.

SILVA, U. L. et al. Carbon sources and C:N ratios on water quality for nile tilapia farming in biofloc system. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 30, n. 4, p. 1017 – 1027, out. – dez., 2017.

SIQUEIRA, J. C. et al. Modelos matemáticos para estimar as exigências de lisina digestível para aves de corte ISA Label. **Revista Brasileira de Zootecnia**, vol.38, n.9, p.1732-1737. 2009.

TAVARES-DIAS, M.; MARTINS, M. L. e KRONKAM S. N. Evaluation of the haematological parameters in *Piaractus mesopotamicus* Holmberg (Osteichthyes, Characidae) with *Argulus* sp. (Crustácea, Branchiura) infestation and treatment with organophosphate. **Revista Brasileira de Zoologia**, Curitiba, v.16, n.2, p.553- 555. 1999.

TAVARES-DIAS, M. e MORAES, F. R. Hematology of Teleosts Fish. Villimpress, Ribeirão Preto, SP, Brazil. 2004.

TAVARES-DIAS, M. Parâmetros sanguíneos de referência para espécies de peixes cultivados. In: Aquicultura no Brasil – novas perspectivas. São Carlos: Pedro e João Editores, vol. 1, 429p. 2015.

TEDESCHI, L. O. et al. Mathematical models in ruminant nutrition. **Sci. Agric.** Piracicaba-SP, vol.62, n.1, p.76-91, 2005.

THRALL, M.A; WEISER, G.; ALLISON, R. W.; CAMPBELL, T. W. Hematologia e bioquímica clínica veterinária. São Paulo: Roca, 1590p. 2015.

TORLONI, C. E.C, et al. Estudos experimentais sobre o cultivo intensivo do pacu, *Colossoma mitrei*, no Sudeste do Brasil. ABRAq. São Carlos. 1984.

URBINATI, E. C. e GONÇALVES, F. D. Pacu (*Piaractus mesopotamicus*). In: BALDISSEROTO, B. e GOMES, L. C. **Espécies nativas para piscicultura no Brasil**. Santa Maria: Editora UFSM, 470p. 2005.

URBINATI, E. C. e TAKAHASHI, L. S. Pacu (*Piaractus mesopotamicus*). In: BALDISSEROTTO, B. **Espécies nativas para piscicultura no Brasil**. Editora UFSM. 3ª edição revista e ampliada – 1ª reimpressão, 530 p., 2020.

VALLADÃO, G. M. R.; GALLANI, U. e PILARSKI, F. South American fish for continental aquaculture. **Reviews in Aquaculture**. p. 1-19. 2016.

VERSTEGEN, M.W.A. e JONGBLOED, A.W. Cristalline amino acids and nitrogen emission. Publishing, Wallingford, Oxfordshire, UK – 2003.

VIEIRA, V. L. P.; INOUE, L. A. K.; MORAES, G. Metabolic responses of matrinxã (*Brycon cephalus*) to dietary protein level. Comparative Biochemistry and Physiology, A, vol.140, p. 337-342, 2005.

VOET, D. e VOET, J. G. Metabolismo dos aminoácidos. In: VOET, D. e VOET, J. G. (Eds), Bioquímica, quarta ed. Artmed. Porto Alegre/RS. p. 1019-1087.

VOSYLIENÉ, M.Z. The effects of heavy metals on hematological indices of fish (Survey). Acta Zoologica Lituanica. v. 9, p.76-82. 1999.

WASIELESKY, W, H ATWOOD, A STOKES & CL BROWDY. Effect of natural production in a zero exchange suspended microbial floc based super-intensive culture system for white shrimp *Litopenaeus vannamei*. **Aquaculture**, 258: 396-403. 2006.

WANG, G. et al. Effect of C/N ratio on water quality in zero-water exchange tanks and the biofloc supplementation in feed on the growth performance of crucian carp, *Carassius auratus*. **Aquaculture**, vol. 443, p. 98–104, 2015.

WEI, Y. F.; LIAO, S. A.; WANG, A. LI. The effect of different carbon sources on the nutritional composition, microbial community and structure of bioflocs. **Aquaculture**, vol. 465, p. 88–93, 2016.

WIDANARNI.; EKASARI, J. e MARYAM, S. Evaluation of biofloc technology application on water quality and production performance of red tilapia *Oreochromis sp.* cultured at different stocking densities. Hayati Journal of Biosciences, Hayati, v. 19, n. 2, p. 73-80, 2012.

CAPÍTULO 2- NÍVEIS PROTEICOS EM DIETAS PARA JUVENIS DE PACU EM SISTEMA BIOFLOCOS

Artigo elaborado segundo normas adaptadas da revista “**Aquaculture**”

Resumo

Com o objetivo de avaliar os efeitos dos níveis proteicos da dieta sobre o desempenho zootécnico, parâmetros hematológicos e bioquímicos, rendimentos de carcaça e filé, índices somáticos e composição química corporal de juvenis de pacu em sistema bioflocos, foi definido o delineamento inteiramente casualizado com cinco tratamentos (19, 23, 27, 31 e 35% de proteína bruta) e quatro repetições. Utilizou-se 300 juvenis de pacu com peso médio de $3,16 \pm 0,3$ g distribuídos de forma aleatória em vinte tanques com 50 L úteis (15 peixes/unidade experimental), alimentados quatro vezes ao dia. O ganho de peso (GP), o coeficiente térmico de crescimento (CTC), o valor produtivo da proteína (VPP) e o rendimento de filé (RF) apresentaram efeito quadrático ($p < 0,05$) com o aumento dos níveis proteicos. O consumo de ração (CR) e o rendimento de carcaça (RC) apresentaram efeito linear crescente ($p < 0,05$), enquanto a taxa de eficiência proteica (TEP) diminuiu linearmente ($p < 0,05$) com a elevação da proteína bruta. A conversão alimentar (CA) não apresentou diferença entre os tratamentos ($p > 0,05$). O hematócrito (Ht) foi reduzido ($p < 0,05$) nos peixes submetidos ao nível de proteína com 19 e 23% de PB. A variável bioquímica aspartato aminotransferase (AST) foi inferior no tratamento com 19 e 23% de PB ($p < 0,05$) e a fosfatase alcalina (ALP) foi superior ($p < 0,05$) nos tratamentos com 19 e 35% de PB ($p < 0,05$). O nível ótimo em proteína foi estimado em 31,5% de PB (27,2% PD) para o melhor crescimento de juvenis de pacu produzidos em sistema bioflocos.

Palavras-chave: *Piaractus mesopotamicus*, Biomassa microbiana, Nutrição, Coeficiente térmico de crescimento, Desempenho zootécnico.

1. Introdução

O pacu (*Piaractus mesopotamicus*) pertence a ordem Characiforme e está entre os grupos predominantes de peixes de água doce da América do Sul (Holmberg, 1897). Encontrado nos rios Paraná, Uruguai, Paraguai e seus afluentes, o pacu apresenta hábito onívoro com grande potencial para aumentar sua produção, tanto no âmbito nacional quanto no internacional (Bicudo et al., 2013).

Para intensificar a produção desta espécie é necessário desenvolver dietas completas e balanceadas com baixo custo. A alimentação dos peixes em sistemas de produção intensiva é feita exclusivamente com o uso de rações, podendo representar até 70% dos custos da produção (Bolivar et., 2010), ao passo que a proteína é o nutriente mais oneroso da dieta.

Deste modo, o uso de medidas para minimizar o uso deste recurso podem ser utilizadas, como: aumento da energia proveniente de lipídios ou carboidratos (efeito poupador de proteína), aumento da frequência alimentar, uso de fertilizantes para produção de fito e zooplâncton e suplementação de fontes de carbono para microrganismos aquáticos no sistema bioflocos.

O sistema bioflocos permite a produção de peixes com alta produtividade visando a economia e sustentabilidade da produção, através da reciclagem de nutrientes por meio de microrganismos heterotróficos. O crescimento destes organismos no sistema é chamado de biomassa microbiana estimulado pela oferta de fonte de carbono e matéria orgânica no sistema (Avnimelech, 2007).

As bactérias heterotróficas presentes nos flocos microbianos, principalmente as aeróbicas, assimilam a amônia da água convertendo-a em proteína microbiana, permitindo a redução do uso desta proteína na dieta do animal, mantendo a qualidade de água e consequente aumento da produtividade para espécies capazes de aproveitar este alimento (Khanjani e Sharifinia, 2019).

O aproveitamento dos flocos para a redução da proteína foram identificados em trabalhos realizados com tilápia, demonstrando redução de 5, 8 e 11 % de proteína bruta para juvenis com peso de 10 a 60 g, 6 a 30 g e 60 a 230 g, respectivamente (Silva et al., 2018; Hisano et al., 2019).

O BFT atua também na biossegurança do sistema, reduzindo a introdução de doenças e diminuição da troca de água, no qual o tratamento da

água pelos organismos permite que ela seja frequentemente reutilizada por outros ciclos de produção, desde que o sistema mantenha as variáveis de qualidade de água controladas (Avnimelech, 2009). Deste modo, o uso reduzido da água permite minimizar o efeito poluidor com a eliminação de efluentes para o ambiente (Avnimelech, 2009).

As exigências em proteína na produção dos peixes são influenciadas, principalmente, pela composição e qualidade das fontes proteicas, sistema de produção, teor de energia da dieta, fase de desenvolvimento do animal e seu hábito alimentar (NRC, 2011). Desta forma, o conhecimento das necessidades nutricionais dos peixes, permite uma melhora na eficiência nutricional e diminuição dos impactos ambientais no sistema (Buzollo et al, 2019).

A determinação das exigências nutricionais da espécie devem ser realizadas para as diferentes fases de desenvolvimento do animal, todavia o uso de peixes em fase inicial de crescimento, como os juvenis, são amplamente utilizados para estimar a exigência pela sua capacidade de rápido crescimento obtendo informações sobre sua resposta ao aumento do conteúdo de proteína dietética e empregado para melhorar sua taxa de desenvolvimento e diminuir os custos de produção em relação as outras fases de produção para os produtores (El-Sayed e Teshima, 1992).

Estudos em relação a exigência proteica do pacu já foram previamente realizados em sistemas convencionais (Fernandes et al., 2000 e 2001; Bicudo et al., 2010; Khan et al., 2020), porém ainda são inexistentes informações desta espécie em sistema bioflocos.

Logo, objetivou-se com este trabalho avaliar os efeitos dos níveis proteicos no desempenho zootécnico, parâmetros hematológicos e bioquímicos, análise química corporal, índices somáticos e rendimentos de carcaça e filé de juvenis de pacu em sistema bioflocos.

2. Material e Métodos

2.1 Condições experimentais e peixes

O trabalho foi realizado na Estação de Piscicultura da Usina Hidrelétrica de Itaipu (Foz do Iguaçu-PR), durante 60 dias em um delineamento inteiramente casualizado. Todos os procedimentos realizados no presente estudo foram previamente aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Universidade Federal do Paraná/Setor Palotina (Protocolo nº 45/2019). Os peixes (± 2 g) foram adquiridos de piscicultura comercial (Dal Bosco, Toledo, Paraná, Brasil) e submetidos a aclimação em caixa com 1m³ durante uma hora com bioflocos, e transferidos para um tanque com bioflocos de 5m³ durante sete dias, e posteriormente classificados e divididos entre os tanques para realização do experimento.

No ambiente do estudo, foi instalado um sistema de aeração constante, com recirculação de água, a fim de simular um sistema de produção. O tipo de sistema utilizado foi o *macrocosmo-microcosmo* (Wasielesky et al., 2006), a água do macrocosmo era bombeada para as unidades experimentais (microcosmos), com o retorno por gravidade. O objetivo foi manter a mesma qualidade de água e o mesmo perfil quali-quantitativo de microrganismos em todas as unidades experimentais, evitando que estes fatores interferissem nos tratamentos. As unidades experimentais (microcosmos) contavam com aeração individual através de pedra porosa e taxa de recirculação de água de 250 L h⁻¹.

Para a formação do bioflocos, foram utilizados inóculos já existentes da Estação de Piscicultura da Usina de Itaipu e repicados para um tanque *macrocosmo*. Neste tanque adicionou-se água decolorada, sal agrícola (2 %) apenas para manutenção do sistema, fonte de carbono (açúcar) e fonte de matéria orgânica (ração) apenas para estabilização dos compostos nitrogenados presentes no sistema (Ebeling et al., 2006). Após trinta dias de maturação (estabilização dos compostos nitrogenados), o bioflocos foi bombeado para as vinte caixas retangulares (50 L).

Durante todo o período experimental e de formação do bioflocos, o sistema manteve a aeração constante para a suspensão dos sólidos e manutenção das bactérias. A relação carbono/nitrogênio foi mantida na proporção de 15:1 (Avnimelech, 1999). As correções com uso de cal hidratada foram realizadas quando observado o declínio (abaixo de 100 mg/L) da alcalinidade e pH (7,5) no sistema. Quando os sólidos sedimentáveis atingiam níveis acima de 40 mL/L

(Avnimelech, 2011), filtrava-se por duas horas com o uso de clarificador, e em seguida, a água decolorada era repostada.

Após o período de aclimação, os juvenis foram classificados e pesados ($3,16 \pm 0,3$ g), estocados em caixas com a densidade de 300 peixes/m³ (15 peixes/unidade experimental).

A alimentação foi ofertada até a saciedade aparente, quatro vezes ao dia (8h:00; 11h:00; 14h:00 e 17h:00). O consumo de ração foi mensurado diariamente e a biometria foi realizada a cada trinta dias.

2.2 Delineamento e dietas experimentais

Os tratamentos consistiram de dietas isocalóricas (3200 kcal/kg ED) com cinco níveis de PB (19, 23, 27, 31 e 35%) e quatro repetições. Os níveis de PB utilizados no experimento foram baseados no nível ótimo (27%), proposto por Bicudo et al. (2010) para a fase inicial de juvenis com peso médio de $15,5 \pm 0,4$ g de pacu em sistema de água clara. Para formulação das dietas experimentais, foi realizada análise prévia da composição química dos ingredientes.

Os níveis de lisina e metionina total foram ajustados de acordo com o conteúdo de PB mantendo a relação aminoácidos e proteína bruta. O fornecimento de proteína de origem animal em relação a proteína total da ração também foi constante (30%), por isso os valores de farinha de vísceras de aves aumentaram em função dos níveis de PB ofertado nas dietas (Tabela 1). A energia digestível (ED) e a proteína digestível (PD) foram estimadas com base nos coeficientes de digestibilidade aparente (CDA) disponíveis para a espécie (Bicudo et al., 2013), com base na proteína bruta dos ingredientes. Os ingredientes de cada dieta foram moídos para atingir 0,3 mm, homogeneizados em betoneira, extrusados com diâmetro de 3 mm (EX-30, Exteec, Ribeirão Preto, SP, Brasil) e secos em estufa a 105°C. Os grânulos de ração foram mantidos em recipientes plásticos sob refrigeração (4°C) durante todo o período experimental. Antes do início do experimento, foram feitas análises prévias das rações, verificando o nível de proteína bruta presente na dieta.

Tabela 1. Dietas experimentais para juvenis de pacu produzidos em sistema bioflocos.

INGREDIENTES	Níveis de proteína bruta				
	19 %	23%	27%	31%	35%
Farelo de soja	16,18	25,01	33,84	42,67	51,50
Milho	61,28	50,83	40,38	29,92	19,47
Farelo de trigo	4,50	5,38	6,25	7,13	8,00
Farinha de vísceras de aves	9,50	11,50	13,50	15,50	17,50
Óleo de soja	3,20	3,14	3,08	3,02	2,96
Fosfato bicálcico	1,74	1,32	0,90	0,48	0,06
Lisina	0,69	0,52	0,35	0,17	0,00
Celulose microfina	2,40	1,90	1,41	0,92	0,43
Suplemento vitamínico e mineral ^a	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
BHT	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Composição aproximada e estimada					
ED (kcal/kg) ^b	3200	3200	3200	3200	3200
EB (kcal/kg) ^d	4361	4430	4377	4514	4576
PB (%) ^d	19,42	23,23	27,87	31,6	35,93
PD (%) ^b	15,75	19,40	23,05	26,70	30,35
Metionina (%) ^c	0,32	0,38	0,44	0,50	0,55
Lisina (%) ^c	1,50	1,63	1,76	1,89	2,02
Extrato etéreo (%) ^d	2,58	2,82	2,72	3,04	3,5
Matéria mineral (%) ^d	5,21	5,32	5,54	6,44	6,62
Cálcio (%) ^c	0,91	0,92	0,94	0,95	0,96
Fibra bruta (%) ^c	4,11	4,05	3,98	3,92	3,85
Fósforo disponível (%) ^c	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64

^a Composição do suplemento vitamínico e mineral (Tectron, Toledo, Paraná, Brasil), ingrediente kg⁻¹: vitamina A 1.000.000 UI, vitamina D3 500.000 UI, vitamina E 20.000 UI, vitamina K3 500 mg, vitamina B1 1.900 mg, vitamina B2 2.000 mg, vitamina B6 2.400 mg, vitamina B12 3.500 mcg, vitamina 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 12,5 g, cobre 2.000 mg, iodo 200 mg, selênio 70 mg, BHT 300 mg.

^b Valores estimados com base na digestibilidade de nutrientes compilados por Bicudo et al. (2013).

^c Valores calculados com base na tabela brasileira de aves e suínos (2017)

^d Valores analisados de acordo com metodologia AOAC (2005).

2.3 Análises hematológicas e bioquímicas

Após o ensaio de crescimento, 24 peixes por tratamento foram aleatoriamente coletados e anestesiados com benzocaína (50 mg L⁻¹) para coleta de sangue por punção na veia caudal com o auxílio de seringas (1 mL)

contendo heparina (5.000 UI). Para as análises do eritograma foram coletadas três amostras de sangue de três peixes/unidade experimental e para as análises bioquímicas foram retiradas três amostras de sangue de três peixes em cada unidade experimental e agrupadas, formando uma única amostra. As amostras coletadas foram acondicionadas em microtubos (1,5 mL) e refrigeradas até posterior processamento.

A taxa de hemoglobina (Hb, g.dL⁻¹) foi determinada pelo método da cianometahemoglobina (Collier, 1944) com o kit comercial (Labtest, São Paulo, Brasil) em analisador semi-automático (Celm SB-190, Medsystem, Sorocaba, SP, Brasil). O hematócrito (Ht, %) foi analisado pelo método do microhematócrito (Ranzani-Paiva et al., 2013) em centrífuga (NI 1807 Nova Instruments, Piracicaba, SP, Brasil) a 10.000 rpm por 5 min e posteriormente feita a leitura em escala graduada. O teor de proteína plasmática total (PPT, g.dL⁻¹), foi determinado em refratômetro (Hand-Held Pocket, ATAGO, Vantaa, Finlândia).

A contagem total das hemácias (Er, 10⁶/μL) foi determinada após a diluição sanguínea (1: 200) em solução de formalina-citrato (Ranzani-Paiva et al., 2013) e a leitura na câmara de Neubauer com o auxílio de microscópio óptico (Eclipse E100 – Nikon, Tóquio, Japão). Os índices hematimétricos foram calculados através dos resultados obtidos pela taxa de hemoglobina, hematócrito e a contagem total de hemácias (Hisano et al., 2019).

Através das amostras de sangue coletadas com solução de heparina, os microtubos foram colocados em centrífuga durante 10 minutos a 3500 rpm para obtenção do soro, para retirada do sobrenadante. Em cada caixa foi retirado aproximadamente 1ml de plasma e colocado os respectivos reagentes para determinação das concentrações de: albumina, globulina, alanina aminotransferase, aspartato aminotransferase, fosfatase alcalina, glicose, colesterol e triglicerídeos (Labtest, São Paulo, Brasil) e analisadas em analisador bioquímico automático, exceto para a globulina (Labmax 560, Labtest, São Paulo, Brasil).

2.4 Desempenho zootécnico, índices somáticos e rendimentos

Ao final do experimento, após 24 horas de jejum, todos os peixes foram anestesiados e pesados para determinação dos parâmetros de desempenho e

valor produtivo da proteína: taxa de sobrevivência (%), ganho de peso (GP, g), consumo individual de ração (CR, g), conversão alimentar (CA), taxa de eficiência proteica (TEP, %) (Hisano et al., 2019), uniformidade do lote (COUTO et al., 2018). Para o coeficiente térmico de crescimento (CTC, g) e o valor produtivo da proteína (VPP, %), utilizou-se a seguinte fórmula:

$$(CTC, g): [(^3\sqrt{W_t} - ^3\sqrt{W_o}) / (T \times t)] \times 1000;$$

$$(VPP, \%) = 100 \times [(Pf \times PBC_f) - (Pi \times PBC_i)] \div AC_t \times PBC;$$

Onde W_t = peso final; W_o = peso inicial; T = temperatura; t = tempo da produção; AC_t = alimento consumido total; PBC = proteína bruta corporal; PBC_f = proteína corporal final; PBC_i = proteína corporal inicial; Pf = peso médio final; Pi = peso médio inicial.

Os mesmos peixes utilizados nas análises do eritrograma, foram posteriormente eutanasiados por dose letal de benzocaína (500 mg/L) e utilizados para determinação dos índices somáticos, pesados e posteriormente necropsiados para obtenção do peso do fígado, gordura visceral e vísceras. Com os dados foram calculados: índice viscerossomático, hepatossomático e índice lipossomático (Silva et al., 2018).

Após a evisceração dos juvenis, obteve-se o peso do filé (PF) e o peso da carcaça (PC) com cabeça. O PC foi obtido através da abertura ventral da cavidade abdominal, desde do orifício urogenital até os ossos da mandíbula, fazendo a retirada das vísceras cuidadosamente. O PF foi realizado pelo corte iniciando na região dorsal, lateralmente á nadadeira dorsal, depois da região craniana até a extremidade caudal (Carneiro et al., 2004). A partir do peso inicial do peixe inteiro e dos cortes realizados, foram calculados os rendimentos de carcaça e de filé.

2.5 Procedimentos de análises químicas

Após a pesagem dos juvenis, 40 peixes após o jejum, foram eutanasiados por overdose de benzocaína (500 mg/L), moídos, homogeneizados e armazenados em congelador (-4°C) para determinação da composição corporal e valor produtivo da proteína. A determinação da composição corporal total inicial foi realizada por meio de uma amostra contendo

vinte peixes ao início do experimento. As amostras dos peixes inteiros, coletadas no início e final do experimento foram congeladas.

Para a análise do BFT, semanalmente eram retiradas três amostras de sólidos do macrocosmo e reservadas em congelador. Foi realizado a pré-secagem das amostras dos peixes e bioflocos em estufa a 60°C por 24 hrs. Após a secagem das amostras foram colocadas em dessecador até atingir peso constante e embaladas juntamente com as rações em recipientes plásticos separados e enviados para o Laboratório de Nutrição Animal da Universidade Federal do Paraná (Palotina, PR) para realização das análises químicas.

As amostras pré-secas foram homogeneizadas novamente em processador e realizadas as análises (matéria seca, umidade, proteína bruta, energia bruta, extrato etéreo, matéria mineral e valor produtivo da proteína), de acordo com as metodologias propostas pela AOAC (2005).

2.6 Qualidade de água

O monitoramento diário (07:30 hrs e 16:00 hrs) da temperatura, oxigênio e pH foram realizados por sonda multiparâmetros (Professional Plus, Ysi, Nova Iorque, Estados Unidos). Durante todo o período experimental, não houve controle da luminosidade e temperatura constante, devido ao uso de um sistema similar ao utilizado em escala comercial de produção. Os sólidos suspensos totais (SST) foram determinados pelo método gravimétrico utilizando papel filtro de fibra de vidro GF/C conforme descrito no APHA (2014), o qual realiza a secagem prévia do filtro em mufla a 550°C durante 30 minutos. A amostra foi seca em estufa a 60°C durante 72 horas até peso constante. Após serem secas, foram armazenadas em dessecador por 30 minutos e posteriormente pesadas. Semanalmente eram coletadas três amostras do *macrocosmo* para realização das análises.

Para as análises de sólidos sedimentáveis totais utilizou-se cone Imhoff de um litro, mensurados semanalmente, com o tempo de decantação de 20 minutos (Avnimelech, 2009). Os compostos nitrogenados (amônia, nitrito e nitrato) e alcalinidade, foram avaliados duas vezes na semana, por meio do kit comercial e fotômetro (Hanna Instruments, Nova Deli, Índia).

Para determinação da clorofila *a* foi utilizado o método espectrofotométrico monocromático proposto por Lorenzen (1967), por meio de leituras espectrofotométricas antes e depois da acidificação da amostra. Semanalmente eram coletadas três amostras de água em recipientes escuros, e filtradas em filtro de fibra de vidro GF/C em bomba à vácuo e, posteriormente, submetidas a extração em acetona 90%, centrifugação e leitura espectrofotométrica.

O sistema bioflocos, possibilitou a manutenção dos parâmetros físico-químicos da água em níveis recomendados para espécie e fase de desenvolvimento. O oxigênio, pH e temperatura apresentaram os seguintes valores: $7,45 \pm 0,41$ mg.L⁻¹, $8,17 \pm 0,31$ e $27,2 \pm 2,86^\circ\text{C}$, respectivamente. Os compostos nitrogenados mantiveram o processo de nitrificação da água apresentando amônia total com $0,32 \pm 0,12$ mg.L⁻¹, nitrito com $2,62 \pm 3,17$ mg.L⁻¹ e nitrato com $18,98 \pm 15,51$ mg.L⁻¹. A alcalinidade se manteve com valores mais altos devido ao sistema de produção ($183,11 \pm 34,68$ mg.L⁻¹ de CaCO₃) necessitar deste aumento para o processo de nitrificação. Os sólidos suspensos totais e o sedimentáveis totais apresentaram média de $284,8 \pm 147,22$ mg.L⁻¹ e $23,79 \pm 16,34$ mg.L⁻¹, respectivamente. Como indicador da biomassa fitoplanctônica no sistema bioflocos foi quantificado a concentração de clorofila *a*, ($228,14 \pm 140,87$ µg/L) e realizada a contagem das microalgas ($5,1 \times 10^4 \pm 1,33$ células).

2.7 Análise estatística

Todos os dados foram submetidos a testes de normalidade (teste de ShapiroWilk) e homogeneidade das variâncias (teste de Bartlett). Após atendidos os pressupostos, foram submetidos a análise de variância de uma via (*one-way* ANOVA), e quando significativa ($p < 0,05$) submetidos ao teste de Tukey (parâmetros hematológicos e bioquímicos, composição química e índices somáticos) para comparação de médias. Os dados foram expressos como média $\pm$ desvio padrão.

Adicionalmente, os dados foram submetidos à análise de regressão (parâmetros de desempenho e rendimentos de carcaça e filé). Considerando a possível superestimação e subestimação das exigências nutricionais dos

animais respectivamente, pelos modelos polinomiais quadrático e *Linear Response Plateau* - LRP (Dumas et al, 2010), a exigência de proteína bruta foi determinada pela combinação dos dois modelos como proposto por Baker et al. (2002), utilizando a primeira intersecção da equação quadrática com LRP. Todas as análises estatísticas utilizadas foram realizadas com o auxílio do software SAS (versão 9.1).

3. Resultados

A taxa de sobrevivência foi de 100%. Os resultados da avaliação de desempenho zootécnico dos juvenis de pacu são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Desempenho zootécnico (médias±desvios padrão) de juvenis de pacu (*Piaractus mesopotamicus*) alimentados com níveis de proteína bruta cultivados em sistema bioflocos durante 60 dias.

Variáveis	Níveis de proteína bruta					Valor de P
	19%	23%	27%	31%	35%	
GP (g)	22,21±0,98	28,88±1,96	34,78±2,22	34,92±1,3	40,33±3,53	<0,0001
CTC (g)	0,9±0,02	1,04±0,04	1,16±0,04	1,16±0,02	1,26±0,05	<0,0001
CR (g/px)	32,30±0,89	47,9±1,11	51,57±2,45	53,62±1,71	58,50±2,99	<0,0001
CA	1,45±0,07	1,65±0,13	1,47±0,13	1,5±0,14	1,41±0,12	0,0878
TEP	3,62±0,06	2,99±0,06	2,54±0,04	2,22±0,04	1,96±0,04	<0,0001
VPP (%)	50,6±3	36,37±2,35	35,18±2,64	32,38±0,87	30,3±1,92	0,0050
UNI (%)	58,33±10	58,33±14,78	56,67±15,87	68,33±10	66,67±12,17	0,5217

GP – ganho de peso; CTC – coeficiente térmico de crescimento; CR – consumo de ração; CA – índice de conversão alimentar; TEP – taxa de eficiência proteica; VPP – valor produtivo da proteína; UNI – uniformidade do lote.

Os níveis proteicos ideais determinados das exigências por meio do primeiro ponto de intersecção da curva quadrática com o platô do LRP para GP e CTC dos juvenis de pacu foi de 31,7% e 31,5%, respectivamente (Figuras 1 e 2). O consumo de ração aumentou ($p < 0,05$) linearmente à medida que o nível de proteína aumentou nas dietas (Figura 3). A TEP diminuiu linearmente ($p < 0,05$) à medida que o nível de proteína dietética aumentou (Figura 4). O VPP apresentou efeito quadrático ($p < 0,05$) com dietas contendo PB para juvenis de pacu em sistema bioflocos (Figura 5). No entanto, não foi observada diferença ($p > 0,05$) na CA e UNI dos peixes alimentados com os níveis proteicos.

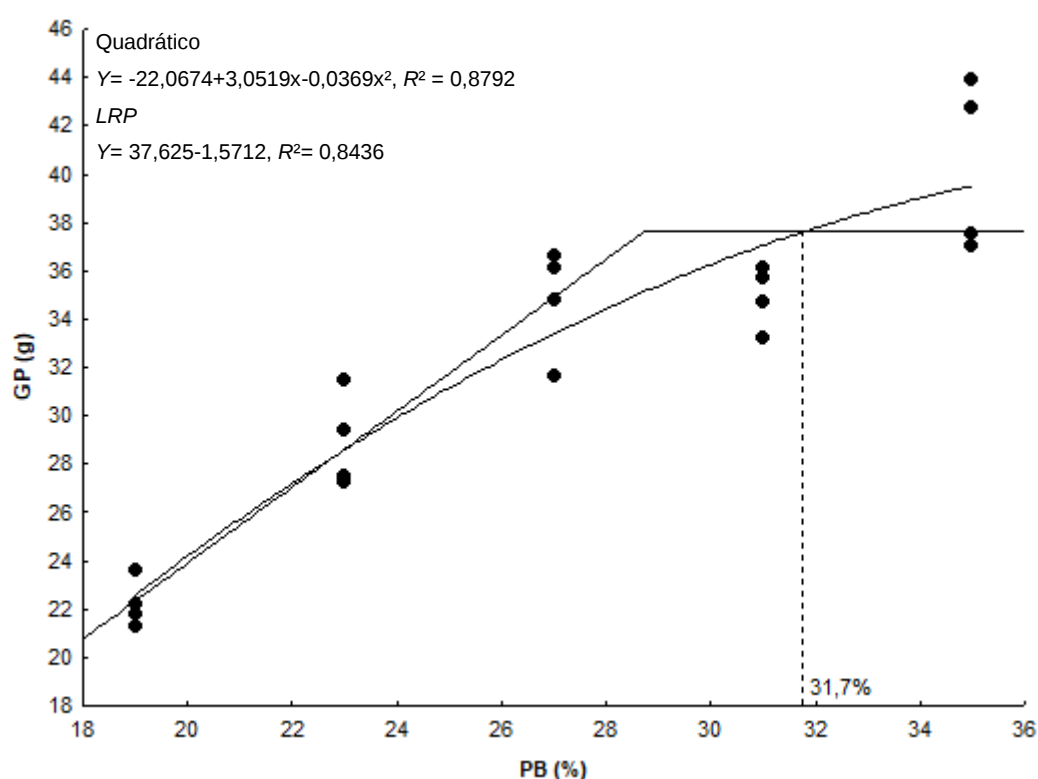


Figura 1. Estimativa dos níveis de proteína bruta no GP em dietas de juvenis de pacu em sistema bioflocos; intercepto da equação quadrática com o platô do LRP.

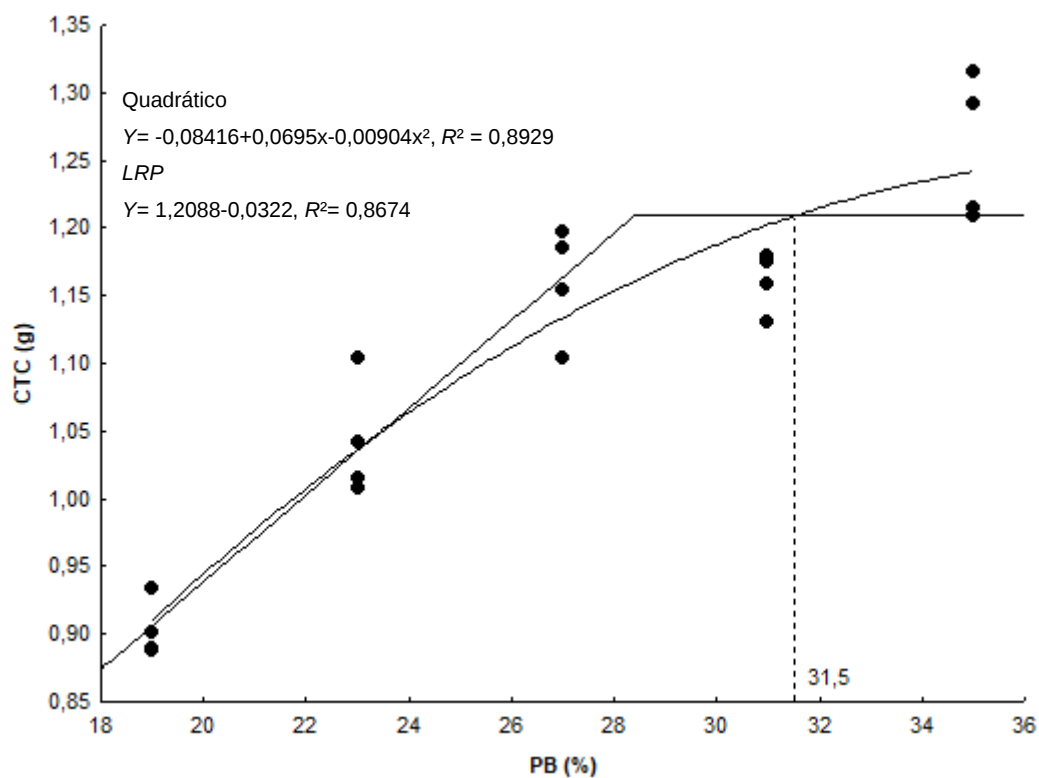


Figura 2. Estimativa dos níveis de proteína bruta no CTC em dietas de juvenis de pacu em sistema bioflocos; intercepto da equação quadrática com o platô do LRP.

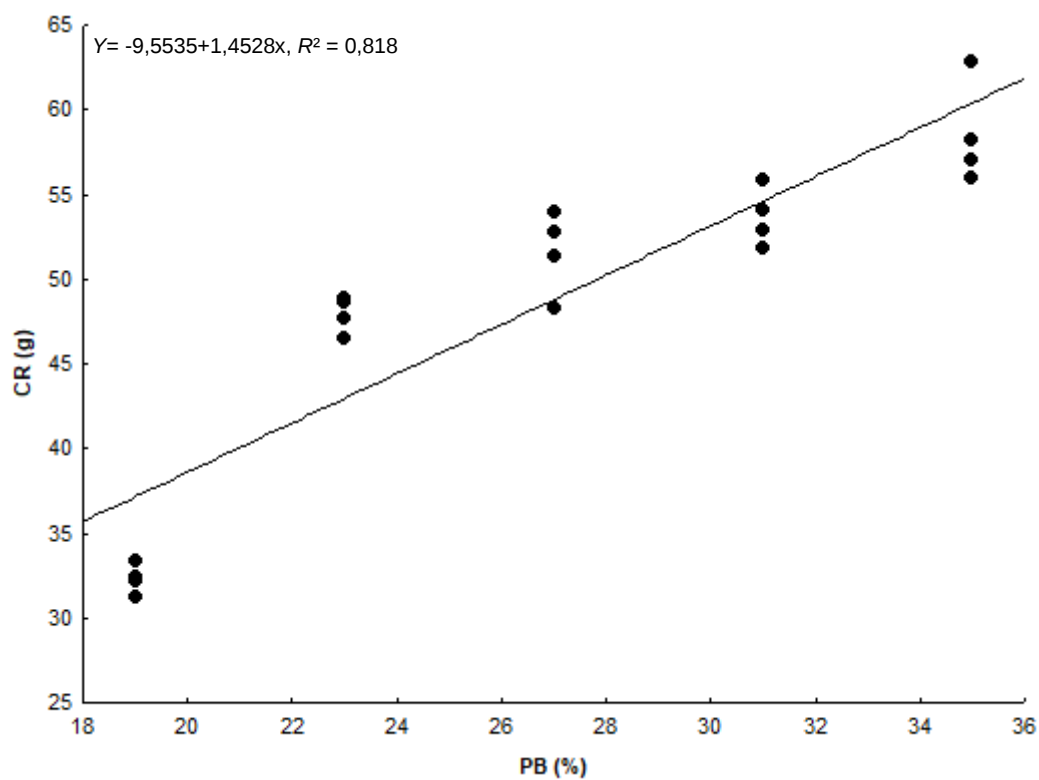


Figura 3. Efeito dos níveis dietéticos de proteína bruta sobre o CR de juvenis de pacu em BFT.

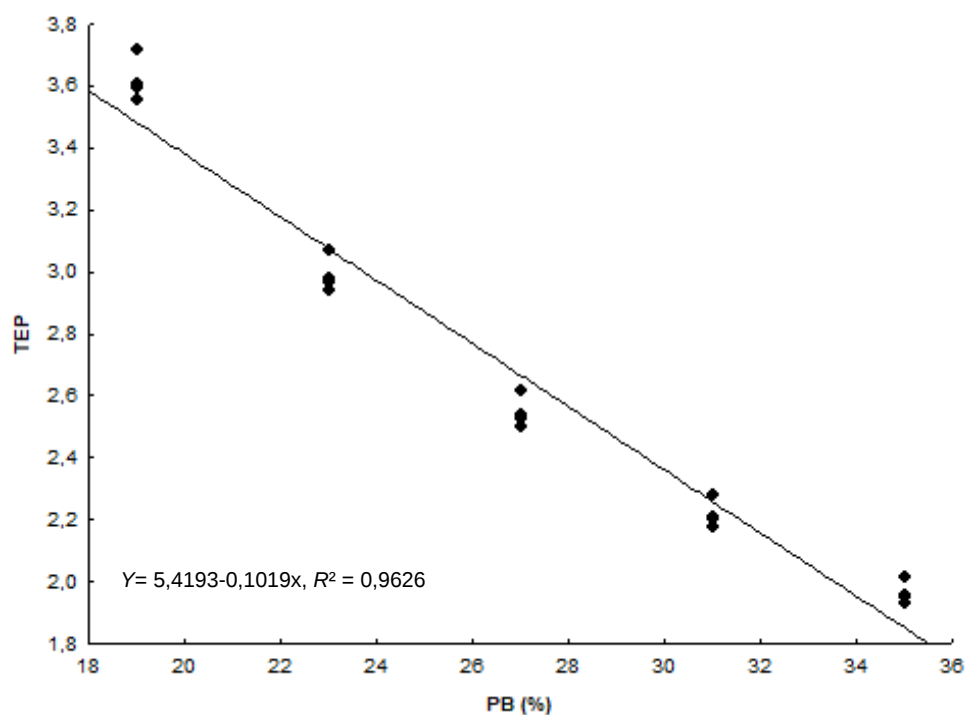


Figura 4. Efeito dos níveis dietéticos de proteína bruta sobre a TEP de juvenis de pacu em BFT.

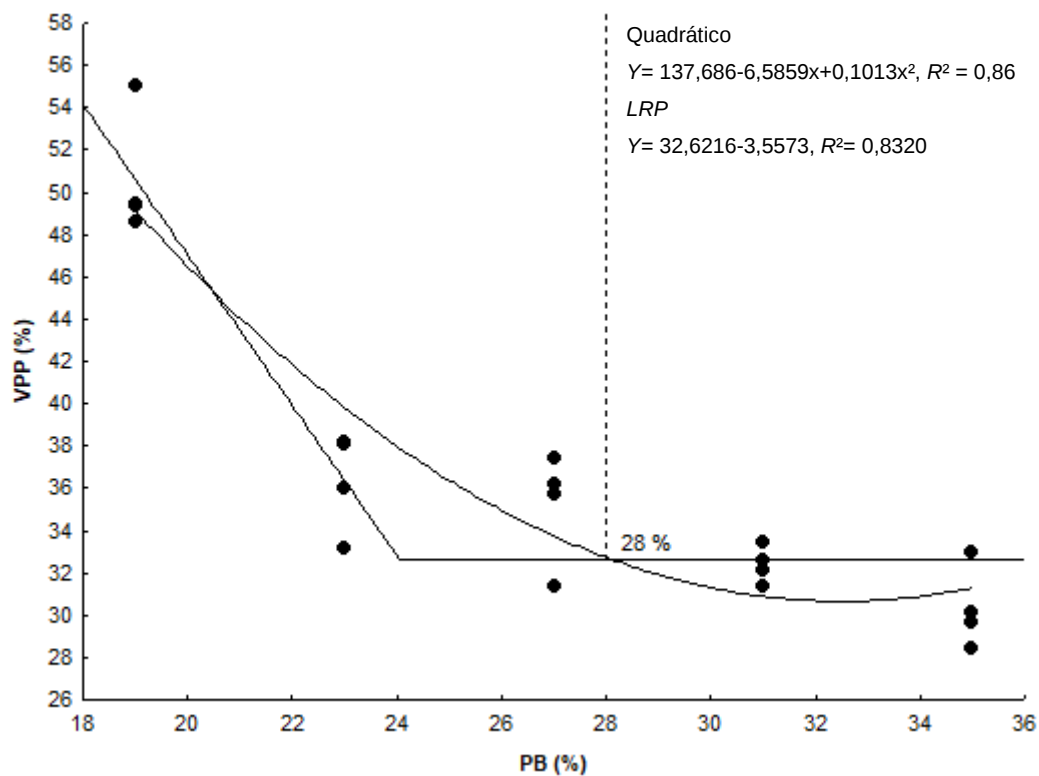


Figura 5. Estimativa dos níveis de proteína bruta no VPP em dietas de juvenis de pacu em sistema bioflocos; intercepto da equação quadrática com o platô do LRP.

Os valores de rendimento de carcaça (RC) aumentaram em relação ao nível de proteína. Porém o rendimento de filé (RF) apresentou efeito quadrático positivo. A exigência proteica utilizando o rendimento de filé, foi de 26,7% PB (Figuras 6 e 7).

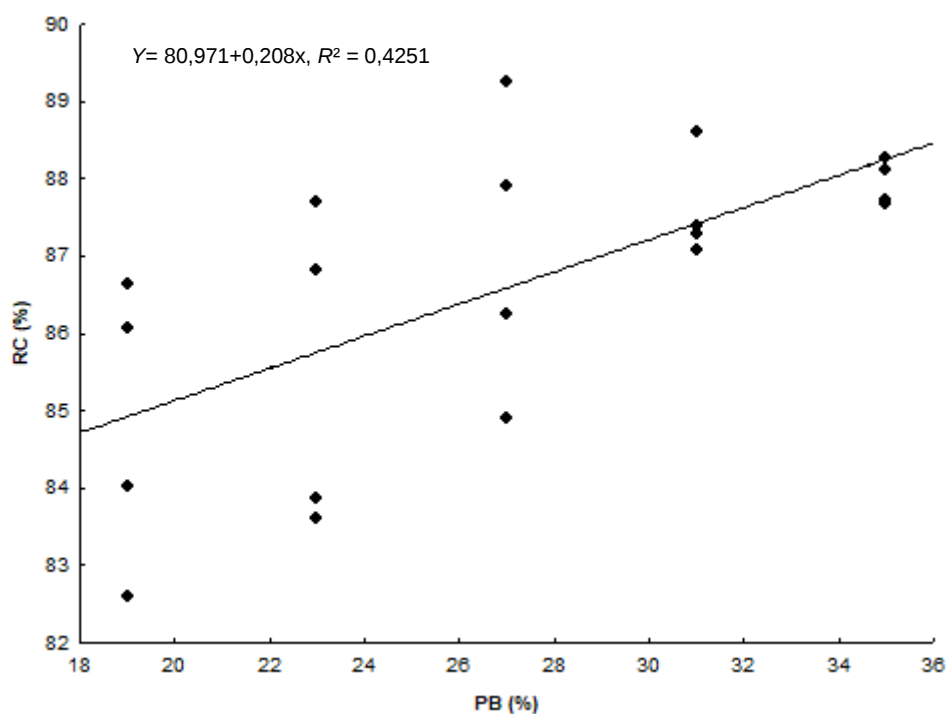


Figura 6. Efeito dos níveis de proteína no rendimento de carcaça (RC) em dietas de juvenis de pacu em sistema bioflocos.

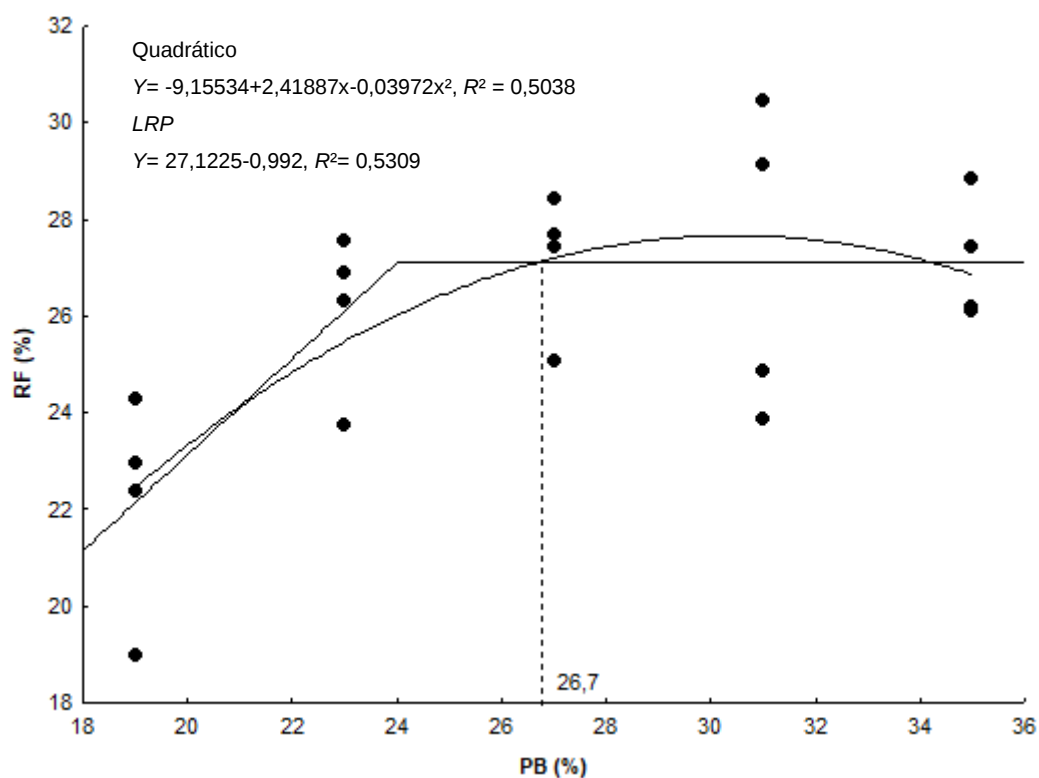


Figura 7. Estimativa dos níveis de proteína bruta no RF em dietas de juvenis de pacu em sistema bioflocos; intercepto da equação quadrática com o platô do LRP.

No sistema de produção em bioflocos, os juvenis de pacu não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos em relação ao índice viscerossomático e o hepatossomático. O índice lipossomático apresentou maiores resultados nos tratamentos com 19 e 23% PB (Tabela 3).

Tabela 3. Índice somático (médias±desvios padrão) de juvenis de pacu (*Piaractus mesopotamicus*) alimentados com níveis de proteína bruta cultivados em sistema bioflocos durante 60 dias.

Variáveis	Níveis de proteína bruta					Valor de <i>P</i>
	19%	23%	27%	31%	35%	
IHS (%)	0,99±0,06	0,94±0,08	1,31±0,2	1,13±0,22	1,04±0,21	0,0558
IVS (%)	11,02±1,19	10,40±0,93	8,87±1,55	9,65±0,4	8,95±1,17	0,0660
ILS (%)	3,4±0,44 ^{ab}	3,82±0,41 ^b	3,12±0,18 ^{ab}	2,37±0,78 ^a	2,3±0,56 ^a	0,0030

Médias e desvios padrão na mesma linha com letras distintas diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). IHS – índice hepatossomático; IVS – índice viscerossomático; ILS – índice lipossomático.

Os valores médios da composição química corporal e o valor produtivo da proteína dos peixes inteiros de juvenis de pacu em sistema bioflocos estão na Tabela 4. Apenas a matéria mineral (cinzas) não apresentou diferença ($p < 0,05$) entre os tratamentos.

O teor de proteína bruta corporal nos juvenis de pacu em sistema bioflocos aumentou ($p < 0,05$) com o nível proteico ofertado na dieta. A energia bruta e o extrato etéreo aumentaram até o tratamento com 23% PB e diminuí em relação aos outros tratamentos. O aumento na gordura corporal dos animais pela oferta de proteína bruta promoveu o decréscimo nos teores de umidade corporal.

A composição do bioflocos no experimento foi de 27,8% de PB; 1,05% de lipídios; 26,9% de cinzas e 3.130 kcal/kg de energia bruta.

Tabela 4. Composição química corporal (médias±desvios padrão) dos peixes inteiros de juvenis de pacu (*Piaractus mesopotamicus*) alimentados com níveis de proteína bruta em sistema bioflocos durante 60 dias.

Variáveis	Níveis de proteína bruta					Valor de <i>P</i>
	19%	23%	27%	31%	35%	
MS (%)	31,68±0,61 ^{bc}	32,42±1,24 ^c	29,77±1,55 ^{ab}	30,04±0,66 ^{ab}	29,38±0,64 ^a	0,0025
UM (%)	68,32±0,61 ^{ab}	67,58±1,24 ^a	70,23±1,55 ^{bc}	69,96±0,66 ^{bc}	70,62±0,64 ^c	0,0025
PB (%)	13,73±0,52 ^a	13,69±0,53 ^a	13,89±0,34 ^a	15,13±0,62 ^b	15,14±0,26 ^b	0,0003
EB (kcal/kg)	1967,42±126,87 ^{ab}	2019,72±123,29 ^b	1828,58±163,75 ^{ab}	1808,89±32,98 ^{ab}	1749,63±48,23 ^a	0,0176
EE (%)	12,47±0,91 ^b	12,86±0,94 ^b	10,35±1,03 ^a	10,11±0,7 ^a	9,43±0,98 ^a	0,0003
MM (%)	3,51±0,24	3,56±0,18	3,56±0,09	3,43±0,29	3,46±0,37	0,9204

Médias e desvios padrão na mesma linha com letras distintas diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). MS – matéria seca; UM – umidade; PB – proteína bruta; EB – energia bruta; EE – extrato etéreo; MM – matéria mineral.

A concentração de hemoglobina (Hb), eritrócitos (Er), os índices hematimétricos (HCM, VCM e CHCM) e a proteína plasmática total (PPT) dos peixes não diferiram ($p > 0,05$) entre os tratamentos. O tratamento com 23% PB apresentou a menor porcentagem de hematócrito (Ht) no sistema bioflocos ($p < 0,05$) apresentando valores similares ao tratamento com 19% PB (Tabela 5).

Tabela 5. Parâmetros eritrocitários e índices hematimétricos (médias±desvios padrão) de juvenis de pacu (*Piaractus mesopotamicus*) alimentados com níveis proteicos produzidos em sistema bioflocos durante 60 dias.

Variáveis	Níveis de proteína bruta					Valor de P
	19%	23%	27%	31%	35%	
Ht (%)	31,17±1,04 ^{ab}	29,38±0,29 ^a	31,67±0,82 ^b	32,67±0,98 ^b	31,67±1,15 ^b	0,0020
PPT (gdL ⁻¹)	2,67±0,23	2,72±0,15	2,74±0,1	2,9±0,1	2,7±0,19	0,3362
Hb (gdL ⁻¹)	7,94±0,69	8,54±0,95	8,43±1,1	8,69±0,75	7,9±1,3	0,7162
Er (10 ⁶ IL)	1,72±0,33	1,64±0,26	1,72±0,19	1,78±0,27	1,67±0,11	0,9282
VCM (fL)	186,32±36,43	182,65±29,3	185,42±16,45	185,95±29,12	190,4±17,44	0,9958
CHCM (gdL ⁻¹)	47,62±11,39	53,07±10,33	49,72±10,47	49,18±6,64	47,6±9,16	0,9284
HCM (dL ⁻¹)	25,46±1,61	29,09±3,42	26,62±3,41	26,58±2,13	24,99±4,34	0,4270

Médias e desvios padrão na mesma linha com letras distintas diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Ht – hematócrito; PPT – proteína plasmática total; Hb – taxa de hemoglobina; Er – contagem de eritrócitos; VCM – volume corpuscular médio; CHCM – concentração de hemoglobina corpuscular média; HCM – hemoglobina corpuscular média.

Os dados bioquímicos de AST foram menores ($p < 0,05$) no tratamento com 23% de proteína bruta. A fosfatase alcalina apresentou valores superiores ($p < 0,05$) nos tratamentos com 19 e 35% de PB. As demais variáveis bioquímicas plasmáticas dos pacus não foram influenciadas pelos níveis de proteína da dieta (Tabela 6).

Tabela 6. Parâmetros bioquímicos (médias±desvios padrão) de juvenis de pacu (*Piaractus mesopotamicus*) alimentados com níveis proteicos produzidos em sistema bioflocos durante 60 dias.

Variáveis	Níveis de proteína bruta					Valor de P
	19%	23%	27%	31%	35%	
ALB (g.dL)	2,35±0,13	2,41±0,19	2,6±0,34	2,8±0,26	2,4±0,32	0,1297
GLOB (g.dL)	0,34±0,14	0,31±0,09	0,49±0,33	0,31±0,120	0,37±0,26	0,7211
ALT (U/L)	8,75±0,5	9,75±0,5	9,75±1,89	7,75±1,26	9,5±2,89	0,4130
AST (U/L)	74,5±10,54 ^a	32,5±7,05 ^b	54,75±12,55 ^a	75,75±7,5 ^a	74±10,42 ^a	<0,0001
ALP (UI/L)	43,75±3,4 ^a	37±1,15 ^b	36,25±3,59 ^b	33,5±1,91 ^b	44,25±4,19 ^a	0,0004
GLIP (mg.dL)	99,5±8,81	96,5±12,07	94,75±8,73	83,75±7,93	96,75±14,17	0,3056
COT (mg.dL)	103,5±7,77	99,75±3,59	100,5±8,85	92±9,42	101,25±10,44	0,3954
TG (mg.dL)	221,5±55,84	199,5±41,41	158±35,17	197,75±35,68	192,5±41,88	0,3362

Médias e desvios padrão na mesma linha com letras distintas diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). ALB – albumina; GLOB – globulina; ALT – alanina amino transferase; AST – aspartato amino transferase; ALP – fosfatase alcalina; GLIP – glicose plasmática; COT – colesterol; TG – triglicerídeos.

4. Discussão

O presente estudo mostra que o nível de proteína na dieta afetou significativamente o crescimento, consumo de ração e o estado fisiológico dos juvenis de pacu em sistema bioflocos. A proteína dietética ideal necessária para a fase de 3,16 a 43,45 g exigiu 31,5% PB para um crescimento ótimo dos animais. Estes resultados foram superiores em comparação com outras pesquisas realizadas com a mesma espécie, que determinaram os níveis ideais em 26% PB (Fernandes et al., 2000) e 27% PB (Bicudo et al., 2010). Por outro lado, foi inferior ao de 32,6% PD ($\approx$ 36,5% PB) (Khan et al., 2020). As diferenças nos resultados entre os estudos podem estar relacionadas com os métodos estatísticos, sistema de produção, densidade de estocagem, condições experimentais e fase de desenvolvimento dos peixes. Este último fator é o mais importante, pois a exigência em proteína diminui com o aumento de peso e idade dos peixes (El-Sayed e Teshima, 1992).

A diferença entre a média inicial e final do peso do *Piaractus mesopotamicus* indicou um aumento significativo da massa muscular quando a proteína dietética aumentou. Este fato pode ser atribuído à grande oferta de proteína na dieta e consequente conversão para ganho corporal. Por outro lado, uma fração desta proteína pode ter sido utilizada como fonte de energia, possivelmente para suprir as necessidades dos peixes para manutenção dos processos vitais e ganho muscular.

O fornecimento da dieta até a saciedade aparente e a frequência alimentar quatro vezes ao dia pode ter influenciado os peixes a atingirem a maior parte das necessidades nutricionais via dieta. Além disso, as dietas com os menores níveis proteicos podem ter piorado a palatabilidade das rações (NRC, 2011), ocasionando na inibição do consumo de ração.

Nota-se que a utilização de níveis proteicos inadequados em rações para peixes interfere negativamente no crescimento, uma vez que a proteína é exigida para funções plásticas, hormonais e enzimáticas (NRC, 2011), e que foi evidenciado no presente estudo pela resposta dos peixes que receberam rações com proteína abaixo do nível ótimo estimado. Os resultados do presente estudo mostraram que o pacu não utilizou eficientemente o biofloco para compensar sua deficiência proteica, posto que o desempenho zootécnico dos animais

alimentados com 19 e 23% de PB foram inferiores aos demais tratamentos. Por outro lado, não há recomendações específicas para as dietas e exigências nutricionais para o pacu em BFT, necessitando da avaliação em outras fases de desenvolvimento para a espécie.

O rendimento de carcaça (RC) apresentou comportamento linear e o rendimento de filé (RF) quadrático com coeficiente de determinação de 0,4251 e 0,5309, respectivamente. Apesar de significativo, os modelos não foram eficientes para estimar o nível proteico ideal. Por outro lado, estas respostas foram fundamentais para elucidar o comportamento das demais variáveis sobre o desempenho dos juvenis de pacu.

Os tratamentos com menores níveis de PB apresentaram menor RC e RF e aumento do ILS, presumindo que o crescimento destes animais interferiu diretamente nestas variáveis, possivelmente devido a estes tratamentos apresentaram maiores quantidades de carboidratos na dieta o que teria agravado maior deposição de gordura corporal e baixa utilização dos outros nutrientes para ganho muscular ocasionado pela diminuição no consumo de ração (Tibbets et al., 2005; NRC, 2011).

Todavia, o ILS dos tratamentos foram abaixo do que o encontrado por pesquisadores para a espécie (Muñoz-Ramírez e Carneiro, 2002; Signor et al, 2010; Dieterich et al., 2013) que apresentaram peso inicial maior que o presente estudo. Ao analisar o ILS, observou-se que os peixes possuem menor tendência em acumular gordura em um curto período de produção, como relatado por Fernandes et al. (2010), bem como o tamanho dos juvenis apresentarem menor deposição de gordura na cavidade celomática devido ao metabolismo do animal nesta fase de desenvolvimento.

A composição corporal química do peixe é influenciada pela alimentação e estágio de desenvolvimento do animal. Conhecer a composição química do mesmo e os fatores que influenciam sua composição possibilita a determinação do valor nutritivo e calórico do alimento dado ao peixe (NRC, 2011).

A incorporação de proteína na dieta e consequentemente de aminoácidos, tem efeito significativo no metabolismo dos nutrientes como a transaminação e desaminação de aminoácidos e utilização do esqueleto de carbono para glicólise, por exemplo (Cho et al, 2005). Deste modo, a falta ou

excesso deste nutriente influência diretamente na composição corporal e o quanto deste nutriente está sendo aproveitado pelo animal.

Embora o presente estudo analisou a composição química corporal dos peixes inteiros de pacu, não foi observada diferença com trabalhos realizados com análises de filé e carcaça com a mesma espécie, com pesos médios de 1 kg e 100 g (Guinazi et al., 2006; Fujimoto et al., 2007).

No tratamento com 23% de proteína bruta, os valores de EB e EE foram mais elevados, variáveis estas intimamente interligadas, no qual a energia que sustenta as funções metabólicas dos animais é oriunda basicamente das fontes de lipídios e seus constituintes (Signor et al., 2010). Este acréscimo estabeleceu uma relação inversa com a umidade e a proteína corporal dos juvenis de pacu, devido ao excedente energético na forma de tecido adiposo em substituição a água (McCue, 2010), corroborando com o aumento do ILS no mesmo tratamento.

A deficiência nutricional pode ocasionar alterações dos parâmetros hematológicos dos peixes. O estudo da série vermelha é uma ferramenta importante para a avaliação das respostas orgânicas envolvendo a nutrição. As variáveis Er, Hb, Ht, VCM, CHCM e PPT estão de acordo com a espécie, segundo os trabalhos realizados pelos autores Hisano et al. (2016), Tavares-Dias e Mataqueiro (2004) e Tavares-Dias et al. (2000), com valores mínimo e máximo de $1,7 - 1,8 \times 10^6/\mu\text{L}$ Er; 7,1 - 8,9 g/dL Hb; 24,0 - 40,0% Ht; 190,1 - 215,20 fL VCM; 6 - 23,3 % CHCM e 3,7 - 4 PPT.

O Ht foi semelhante nos tratamentos com 19, 27, 31 e 35% PB. Apenas o tratamento com 23% PB não diferiu do 19%, podendo estar relacionado com a quantidade mais baixa de eritrócitos e o volume corpuscular médio nos animais do mesmo grupo, por mais que estas variáveis não diferiram entre os tratamentos, apresentando valores mais baixos em relação aos mesmos. Em contrapartida, as concentrações do Ht permaneceram entre os padrões para a espécie.

Visto que os parâmetros eritrocitários podem ser um indicativo da condição de saúde do peixe e seu estado nutricional (Tavares-Dias e Mataqueiro, 2004), nota-se que o sistema bioflocos permitiu boas condições ambientais e nutricionais aos animais, principalmente nos tratamentos com

níveis de proteína abaixo do recomendado para a espécie nesta fase de produção.

As análises bioquímicas do plasma sanguíneo refletem às condições metabólicas dos tecidos dos animais, permitindo a avaliação de alterações que ocorrem no funcionamento dos órgãos, por exemplo, como resposta adaptativa do animal diante dos desafios fisiológicos e nutricionais (Sheridan e Mommsen, 1991). Portanto, estas análises podem ser utilizadas como indicadores do perfil nutricional do animal, corroborando juntamente com a análise hematológica.

A oferta de proteína na dieta dos peixes influencia as atividades das enzimas aspartato aminotransferase (AST) e fosfatase alcalina (ALP) ligadas ao metabolismo de aminoácidos, responsável pelo processo de transaminação consideradas indicativas de catabolismo proteico e hidrólise de éster em ésteres fosfóricos (Rossato et al., 2012). Algumas espécies de peixes podem modular a atividade das enzimas metabólicas em resposta da modificação na composição da dieta (German et al., 2004).

A ALP é uma enzima lisossomal presente em células de diversos tecidos dos animais aquáticos e realiza atividades de transporte de membrana. Uma vez que é liberada no sangue resulta no aumento da atividade osteoblástica, decorrente do crescimento do animal ou dano muscular, pela falta ou excesso de proteína (Labarrère et al., 2013), corroborando com os resultados encontrados nos tratamentos com 19 e 35% PB.

A diminuição da AST no tratamento com 23% de PB, pode ter sido influenciada pelo aumento de fontes energéticas como observado na EB, EE e ILS no mesmo tratamento, deste modo não necessitando da realização do catabolismo de aminoácidos para síntese de ATP (Cardoso et al., 2020).

Nota-se que os peixes mesmo em níveis de proteína abaixo do recomendado para a exigência da espécie nesta fase de desenvolvimento durante o período experimental, não apresentaram valores distintos dos recomendados para a espécie, quando analisados os parâmetros hematológicos e bioquímicos durante o período experimental.

Uma vez que o bioflocos pode ser utilizado como fonte de alimento complementar por diversas espécies de peixes (Hisano et al., 2019), o estabelecimento do nível proteico ótimo para pacus em sistema BFT é essencial

para o desenvolvimento de rações balanceadas específicas que potencializem o desempenho zootécnico e diminuam o custo da ração e o impacto ambiental.

Conclui-se que o nível ótimo de proteína bruta para juvenis (3,16 a 43,45 g) de pacu em sistema bioflocos foi de 31,5% PB ($\approx$ 27,2% PD).

Referências

American Public Health Association (APHA); American Water Works Association (AWWA); Water Environment Federation (WEF). 2014. Standard methods for the examination of water and wastewater: online. Washington, DC: APHA/AWWA/WEF.

AOAC International. 2005. Official methods of analysis of AOAC International. 18 ed. Gaithersburg, MD: AOAC International.

Avnimelech, Y. 1999. Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. *Aquaculture*, 176 (3-4), 227-235. 10.1016/S0044-8486(99)00085-X.

Avnimelech, Y. 2009. *Biofloc Technology: A Practical Guide Book*. 2. ed. World Aquaculture Society.

Avnimelech, Y. 2011. Tilapia production using biofloc technology—Saving water, waste recycling improves economics. *Global Aquaculture Advocate*, 66-68.

Baker, D. H. et al. 2002. Ideal Ratio (Relative to Lysine) of Tryptophan, Threonine, Isoleucine, and Valine for Chicks During the Second and Third Weeks Posthatch. *Poultry Science*, 81, 485-494. 10.1093/ps/81.4.485.

Bicudo, A.J.A.; Abimorad, E.G e Carneiro, D.J. 2013. Exigências nutricionais e alimentação do pacu. In: Cyrino, J.E.P.; Fracalossi, D.M. (Ed.). *Nutriaqua: nutrição e alimentação de espécies de interesse para aquicultura brasileira*. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, p.217-226.

Bicudo, A.J.A.; Sado, R.Y. e Cyrino, J.E.P. 2010. Growth performance and body composition of pacu *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg 1887) in response to dietary protein and energy levels. *Aquaculture Nutrition*, 16, 213-222. 10.1111/j.1365-2095.2009.00653.x.

Botaro, D. et al. 2007. Redução da proteína da dieta com base no conceito de proteína ideal para tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*) criadas em tanques-rede. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36 (3), 517-525. 10.1590/S1516-35982007000300001.

- Buzollo, H. et al. 2019. Digestible protein requirements and muscle growth in juvenile tambaqui (*Colossoma macropomum*). *Aquaculture Nutrition*, 25 (3), 669-679. 10.1111/anu.12888.
- Cardoso, A. J. S. et al. 2020. Ginger oil, *Zingiber officinale*, improve palatability, growth and nutrient utilisation efficiency in Nile tilapia fed with excess of starch. *Animal Feed Science and Technology*, 272. 10.1016/j.anifeedsci.2020.114756.
- Collier, H.B. 1944. The standardizations of blood haemoglobin determinations. *Canadian Medical Association Journal*, 50: 550-552.
- Couto, M. V. S. et al. 2018. Effects of live feed containing *Panagrellus redivivus* and water depth on growth of *Betta splendens* larvae. *Aquaculture Research*. 49 (8), 2671–2675. 10.1111/are.13727.
- Cho, S. H., Lee, S. M. e Lee, J. H. 2005. Effect of dietary protein and lipid levels on growth and body composition of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L) reared under optimum salinity and temperature conditions. *Aquaculture Nutrition*, Oxford, 11 (4), 235-240. 10.1111/j.1365-2095.2005.00338.x.
- Dieterich, T. G. et al. 2013. Parâmetros zootécnicos de juvenis de pacu alimentados a diferentes frequências de arraçoamento em tanques-rede. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 48 (8), 1043-1048. 10.1590/S0100-204X2013000800033.
- Dumas, A. et al. 2010. Modeling growth and body composition in fish nutrition: where have we been and where are we going?. *Aquaculture Research*, 41, 161-181. 10.1111/J.1365-2109.2009.02323.X.
- Ebeling, J. M.; Timmons, M. B. e Bisogni, J. J. 2006. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia-nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture*, 257 (1–4), 346–358. 10.1016/j.aquaculture.2006.03.019.
- El-Sayed, A. F. M e Teshuma, S. 1992. Protein and energy requirements of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, fry. *Aquaculture*, 103, 55-63. 10.1016/0044-8486(92)90278-S.
- Emerenciano, M.; Gaxiola, G.; Cuzon, G. 2013. Biofloc Technology (BFT): A review for aquaculture application and animal food industry. *Intech. c.12*. 301-328. 10.5772/53902.
- Fernandes, T. R. C., Doria, C. R. C. e Menezes, J. T. B. 2010. Características de carcaça e parâmetros de desempenho do tambaqui (*Colossoma macropomum*, Cuvier, 1818) em diferentes tempos de cultivo e alimentado com rações comerciais. *Bol. Inst. Pesca*, São Paulo, 36(1), 45-52.
- Fernandes, J. B. K.; Carneiro, D. J. e Sakomura, N.K. 2000. Fontes e níveis de proteína bruta em dietas para alevinos de pacu (*Piaractus mesopotamicus*).

Revista Brasileira de Zootecnia, 29, 646-653. 10.1590/S1516-35982000000300002.

Fugimura, M. R. F. H. et al. 2014. Brewery residues as a source of organic carbon in *Litopenaeus schmitti* white shrimp farms with BFT systems. Aquac. Int., 23, 509-522. 10.1007/s10499-014-9832-0.

Fujimoto, R. Y. et al. 2007. Composição corporal e eficiência de utilização de nutrientes por pacus alimentados com ração suplementada com cromo trivalente. Pesq. agropec. bras., Brasília, 42 (12), 1763-1768. 10.1590/S0100-204X2007001200014.

German, D. P., Horn, M. H. e Gawlicka, A. 2004. Digestive enzyme activities in herbivorous and carnivorous prickleback fishes (Teleostei: Stichaeidae): ontogenetic, dietary, and phylogenetic effects. Physiological and Biochemical Zoology. 77, 789–804. 10.1086/422228.

Guinazi, M. et al. 2006. Composição química de peixes de água doce frescos e estocados sob congelamento sob congelamento. Acta Scientiarum Technology. Maringá, 28 (2), 119-124. 10.4025/actascitechnol.v28i2.1167.

Hisano, H. et al. 2016. Corn gluten meal in pacu *Piaractus mesopotamicus* diets: effects on growth, haematology, and meat quality. Aquaculture International. 24, 1049-1060. 10.1007/s10499-016-9970-7.

Hisano, H. et al. 2019. Dietary protein reduction for Nile tilapia fingerlings reared in biofloc technology. J World Aquacult Soc, 51, 452-462. 10.1111/jwas.12670.

Holmber, E. L. 1897. Sobre algunos peces nuevos o poco conocidos de la República Argentina. Revista Argentina de Historia Natural, 180-193.

Khan, K. U. et al. 2020. Response of juvenile pacu (*Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887) to balanced difestible protein. Aquaculture Research. 51 (9), 3729-3740. 10.1111/are.14722.

Khanjani, M. H. e Sharifinia, M. 2019. Biofloc technology as a promising tool to improve aquaculture production. Aquaculture, 12 (3), 1836-1850. 10.1111/raq.12412.

Labarrère, C. R. 2013. Blood chemistry profile of surubim hybrid fish (*Pseudoplatystoma reticulatum* x *P. corruscans*) raised in diferente stocking densities. Ciênc. agrotec., Lavras, 37 (3), 251-258.

Lorenzen, C. J. 1967. Determination of chlorophyll and pheopigments: spectrophotometric equations. Limnol. Oceanogr., Texas, US, 12 (2), 343-346. 10.4319/lo.1967.12.2.0343.

McCue, M. D. 2010. Starvation physiology: Reviewing the different strategies animals use to survive a common challenge. Comparative Biochemistry and

Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology, 156 (1), 1-18.
10.1016/j.cbpa.2010.01.002.

Muñoz-Ramírez, A. P. e Carneiro, D. J. 2002. Suplementação de lisina e metionina em dietas com baixo nível proteico para o crescimento inicial do pacu, *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg). Acta Scientiarum. Maringá-PR, 24 (4), 909-916. 10.4025/actascianimsci.v24i0.2343.

NRC (National Research Council). 2011. Nutrient requirements of warmwater fishes and shrimp. Washington, DC: National Academy Press.

Ranzani-Paiva, M. J. et al. 2013. Métodos para análise hematológica em peixes. Fapesp. Maringá. Eduem.

Rossato, S. et al. 2012. Incorporação de farinhas de resíduos de Jundiá na dieta: bioquímica plasmática, parâmetros hepáticos e digestivos. Ciência Rural Online. 43 (6), 1063-1069. 10.1590/S0103-84782013000600019.

SAS INSTITUTE INC. 2014. Statistical Analysis System – SAS®.

Sheridan, M. A.; Mommsen, T. P. 1991. Effects of nutritional state on in vivo lipid and carbohydrate metabolism of coho salmon, *Oncorhynchus kisutch*. General And Comparative Endocrinology, 81 (3), 473-483.10.1016/0016-6480(91)90175-6.

Signor, A. A. et al. 2010. Proteína e energia na alimentação de pacus criados em tanques-rede. Revista Brasileira de Zootecnia, 39 (11), 2336-2341. 10.1590/S1516-35982010001100004.

Silva, M. A. et al. 2018. Crude protein levels in diets for two growth stages of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in a biofloc system. Aquaculture Research, 49(8), 2693–2703. 10.1111/are.13730.

Tavares-Dias, M. e Mataqueiro, M.I. 2004. Características hematológicas, bioquímicas e biométricas de *Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887 (Osteichthyes: Characidae) oriundos de produção intensivo. Acta Sci Biol Sci 26 (2), 157–162. 10.4025/actascibiolsci.v26i2.1647.

Tavares-Dias, M.; Martins, M.L.; Moraes, F.R. 2000. Relação hepatossomática e esplenosomática em peixes teleósteos de produção intensivo. Revista Brasileira de Zoologia, Curitiba, 17 (1), 273-281. 10.1590/S0101-81752000000100024.

Tibbetts, S. M., Lall, S. P. e Milley, J. E. 2005. Effects of dietary protein and lipid levels and DP DE⁻¹ ratio on growth, feed utilization and hepatosomatic index of juvenile haddock, *Melanogrammus aeglefinus* L. Aquaculture Nutrition, 11 (1), 67-75. 10.1111/j.1365-2095.2004.00326.x.

Wasielesky, W. J. et al. 2006. Effect of natural production in a zero exchange suspended microbial floc based super-intensive culture system for white shrimp

Litopenaeus vannamei. Aquaculture, 258, 396-403.
10.1016/j.aquaculture.2006.04.030.

CAPÍTULO 3- CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Brasil ocupa posição de destaque no cenário mundial na produção de organismos aquáticos, entretanto, se torna necessário uma contínua adaptação às novas tecnologias do sistema produtivo. O pacu é uma das espécies de água doce com maior potencial para a aquicultura tanto no âmbito nacional, quanto no internacional.

A proteína é um dos principais nutrientes que afeta o desempenho zootécnico dos peixes, deste modo, a avaliação do nível ótimo que garanta o aumento da produtividade e redução de custos para piscicultores, é de suma importância.

Cabe destacar que o presente estudo foi pioneiro ao estabelecer o nível ótimo proteico para juvenis de pacu em sistema BFT, no entanto, novas pesquisas na área da nutrição, alimentação e manejo produtivo em geral devem ser incentivadas para subsidiar o desenvolvimento de pacote tecnológico para esta espécie nativa. Além disso, a validação em escala comercial dos resultados experimentais será fundamental para que as tecnologias geradas possam ser transferidas para o setor produtivo.