

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL
CURSO DE DOUTORADO

RESTRIÇÃO ALIMENTAR PARCIAL EM JUVENIS DE TAMBQUI
(Collossoma Macropomum)

THIAGO SANTANA COTRIM

CAMPO GRANDE/ MS, 2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL
CURSO DE DOUTORADO

RESTRIÇÃO ALIMENTAR PARCIAL EM JUVENIS DE TAMBAQUI
(Collossoma Macropomum)

PARTIAL FOOD RESTRICTION IN TAMBAQUI JUVENILES
(Collossoma Macropomum)

Thiago Santana Cotrim

Orientador:

Prof. Dr. Ruy Alberto Caetano Corrêa Filho

Tese apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como requisito à obtenção do título de Doutor em Ciência Animal.
Área de concentração: Produção Animal

CAMPO GRANDE/ MS, 2023



Serviço Público Federal
Ministério da Educação

Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



Certificado de aprovação

THIAGO SANTANA COTRIM

Restrição alimentar parcial em juvenis de tambaqui (*Colossoma macropomum*)
Partial feed restriction in tambaqui (*Colossoma macropomum*) juveniles

Tese apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como requisito para obtenção do título de Doutor em Ciência Animal.

Área de concentração: Produção Animal.

Aprovado em: 30-06-2023

BANCA EXAMINADORA:

Dr. Ruy Alberto Caetano Correa Filho
(UFMS) – Presidente

Dr. Jayme Aparecido Povh
(UFMS)

Dr. Julio Guerra Segura
(UFMS)

Dra. Milena Wolff Ferreira
(UCDB)

Dra. Susana Amaral Teixeira
(UFMS)



Documento assinado eletronicamente por **Jayme Aparecido Povh, Professor do Magisterio Superior**, em 04/07/2023, às 17:17, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Julio Guerra Segura, Professor do Magisterio Superior - Visitante**, em 04/07/2023, às 17:52, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Susana Amaral Teixeira, Professora do Magistério Superior**, em 05/07/2023, às 08:46, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Milena Wolff Ferreira, Usuário Externo**, em 05/07/2023, às 16:11, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ruy Alberto Caetano Correa Filho, Professor do Magisterio Superior**, em 06/07/2023, às 16:57, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4168528** e o código CRC **42CC255A**.

COLEGIADO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL

Av Costa e Silva, s/nº - Cidade Universitária

Fone:

CEP 79070-900 - Campo Grande - MS

Dedicatória

A Deus.

Aos meus pais, Helena Santana Cotrim e Valdemir Pereira Cotrim, por terem me proporcionado uma vida digna e por terem me ensinado lições que me fizeram crescer acreditando no meu potencial e a importância da educação. Agradeço profundamente pelos sacrifícios feitos em prol da minha educação. Vocês foram exemplos de dedicação, perseverança e amor. Sou imensamente grato pelos valores que me transmitiram e por terem acreditado em mim. Cada conquista que alcanço é um reflexo do amor, apoio e investimento que depositaram em mim ao longo dos anos. Vocês são minha constante inspiração e motivação.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Ruy Alberto Caetano Corrêa Filho, pelos valiosos momentos de aprendizado que compartilhamos. Um exemplo inspirador de um profissional dedicado e comprometido com a transmissão do conhecimento. Sua orientação e apoio foram fundamentais para o meu desenvolvimento acadêmico e profissional. Sou imensamente grato por ter tido a oportunidade de aprender com alguém tão experiente e comprometido.

Ao Prof. Dr. Danilo Henrique Aguiar pela confiança que sempre depositou em mim, pela oportunidade que me concedeu e pelos ensinamentos inestimáveis que recebi. Suas críticas construtivas e incentivos foram sempre oferecidos com humildade, e tenho certeza de que levarei essas lições para toda a minha vida. Agradeço por ser um exemplo notável tanto como profissional quanto como pessoa humana. Muito obrigado por tudo!

Ao Prof. Dr. Jayme Aparecido Povh pela confiança, pela oportunidade e pelos ensinamentos. Sou imensamente grato por ter sido o responsável por me apresentar à linha de pesquisa na qual atuo hoje. Sua generosidade ao compartilhar conhecimento foram fundamentais para o meu crescimento acadêmico e pessoal.

Gostaria de expressar minha profunda gratidão aos meus amigos, Giovanna Rodrigues Stringhetta, Ricardo Bastos, Giselly Juchnievski de Oliveira, Milena Cassaniga Cardoso, Carlos Eduardo Gonçalves de Souza, Lauro Enrique Hintz, Lucas de Oliveira Brasileiro, Louise Nex Spica, Alessandra Luiza Salierno, Anna Paula Costa Scherer, João Vitor Gobis Verges, Gisele Wmayma e Tulio Martines pelo companheirismo e pelas demonstrações de apoio nos momentos difíceis. Vocês foram fundamentais para que tudo desse certo. Sou extremamente grato.

A equipe do projeto e colocadores do IFMT Campus Avançado Guarantã do Norte : Bruna Vougado da Silva e Raychson de Oliveira Ferreira , Iara Gonçalves de Souza, Lucas Moltovane, Carlos Roberto Amorim, Antonio Navarro, André de Paula Oliveira Pereira, Joselito “baiano” e Ozias Ferreira de Sousa. Sem vocês esse trabalho não teria acontecido.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES)

Ao senhor Megumi Yokoyama, “Sr. Pedrinho” (Piscicultura Boa Esperança do Estado de Rondônia-RO) pela doação dos animais e ao senhor Jose Mario Ribeiro Mendes (Piscicultura Buriti do Estado de Mato Grosso-MT) pelo transporte dos animais.

Aos professores membros da banca examinadora desta tese por se disporem a analisar e contribuir com este trabalho: Dr. Julio Guerra Segura ,Dra. Susana Amaral Teixeira e Dra. Milena Wolff Ferreira.

Ao Diretor Geral do Instituto Federal de Mato Grosso Campus Avançado Guarantã do Norte.

A Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia (FAMEZ). Agradeço por proporcionar desafios enriquecedores durante esse período.

Quero agradecer a todos os professores que passaram por minha vida. Cada um de vocês me ensinou algo especial e levarei esses aprendizados comigo. Sou grato por todas as lições e orientações que recebi e por terem sido parte da minha jornada educacional.

Por fim, gostaria de agradecer a todos que contribuíram de forma direta ou indireta no desenvolvimento deste trabalho. Seja por meio de apoio, orientação, incentivo, cada pessoa desempenhou um papel importante nessa jornada. Tendo papel fundamental para o sucesso deste projeto, sou extremamente grato.

“Quem ensina aprende ao ensinar e quem aprende ensina ao aprender.”

Paulo Freire

RESUMO

COTRIM, T.S. Restrição alimentar parcial em juvenis de Tambaqui (*Colossoma Macropomum*). 2023. 132p. Tese (Doutorado) Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, 2023.

A restrição alimentar é uma prática utilizada na produção de peixes com o objetivo de otimizar o desempenho produtivo e reduzir os custos de produção. No entanto, os efeitos da restrição alimentar parcial, ainda não foram completamente elucidados. Portanto, objetivou-se no presente estudo avaliar os efeitos da restrição alimentar parcial no desempenho zootécnico, saúde, processamento da carcaça, composição bromatológica, morfologia do tecido muscular esquelético e estrutura celular do intestino e fígado de tambaquis (*Colossoma macropomum*) ao final do período de restrição e durante o período de realimentação. Ao início do experimento, os peixes apresentaram peso e comprimento padrão médio de $168,7 \text{ g} \pm 9,40 \text{ g}$ e $16,81 \text{ cm} \pm 0,40 \text{ cm}$, respectivamente, e foram alojados por 112 dias em um sistema de recirculação de água (SRA). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, dividido em três grupos experimentais de manejo alimentar: grupo controle, restrição parcial 1 (RP1) e restrição parcial 2 (RP2), considerando-se a caixa de criação como a unidade experimental. O manejo alimentar utilizado com base na taxa de alimentação durante 28 dias em cada grupo Experimental foi: Controle com 3,5% do peso vivo; restrição parcial 1 (RP1) com 1% do peso vivo; e restrição parcial 2 (RP2) com 0,5% do peso vivo. Em seguida, os peixes de todos os grupos experimentais foram submetidos a taxa de alimentação de 3% do peso vivo por 56 dias e, em seguida, de 2,5% do peso vivo por mais 28 dias. As biometrias foram realizadas em cinco momentos (dia 0, 28, 56, 84, 112), as amostras sanguíneas e os índices hepatossomático e de gordura visceral, tecido muscular fígado e intestino foram coletadas em três momentos (Dia 0, 28, 112). Aos 28 dias, os grupos submetidos à restrição alimentar apresentaram pior desempenho produtivo ($P < 0,05$); menores níveis de colesterol e triglicérido, ($P < 0,05$); menores índices hepatossomáticos e de gorduravisceral em relação ao grupo controle ($P < 0,05$), sem, no entanto, alterar as variáveis sanguíneas e histológicas do musculo, fígado e intestino. Ainda aos 28 dias, ocorreram valores menores de matéria mineral e proteína bruta e maiores de extrato etéreo e energia bruta nos grupos RP1 e RP2 em relação ao Controle. Após 56 dias de experimentação, os animais submetidos à restrição alimentar mostraram maior eficiência no ganho de peso e na conversão alimentar, porém seu peso final ainda foi inferior ao grupo controle. No dia 84, somente o grupo RP2 apresentou diferenças significativas em relação ao grupo controle, exibindo pior desempenho em peso final, comprimento total e comprimento padrão. O desempenho produtivo nas duas estratégias de restrição foi recuperado em 112 dias, independentemente da estratégia utilizada nos primeiros 28 dias. As variáveis bioquímicas, índices hepatossomáticos, gordura visceral e composição bromatológica também se normalizaram nesse período. Não houve alterações nas variáveis de rendimento corporal e hematológicas. Ao considerar a biomassa total, observou-se que a restrição menos severa (1% do PV) alcançou resultados semelhantes ao grupo controle mais rapidamente (momento dia 84) em comparação com a restrição mais severa (0,5% do PV; momento dia 112). Conclui-se que a redução da alimentação até 0,5% durante 28 dias (equivalente a uma redução de 85,7%) é uma estratégia viável e interessante em vários aspectos para juvenis de *C. macropomum*, não comprometendo sua produção, comportamento hipertrófico, hiperplásico do musculo estriado esquelético e a morfologia celular do fígado e intestino, desde que seja seguido um período de recuperação de 84 dias.

Palavras-chave: Crescimento Compensatório, Parâmetros sanguíneos, Crescimento muscular, Manejo alimentar

ABSTRACT

COTRIM, T.S. Partial food restriction in juvenile Tambaqui (*Colossoma Macropomum*). 2023. 1132p. Thesis (Ph.D.), Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science, Federal University of Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, 2023.

Feed restriction is a practice used in fish production to optimize productivity and reduce production costs. However, the effects of partial feed restriction have not been fully elucidated. Therefore, the objective of this study was to assess the effects of partial feed restriction on zootechnical performance, health, carcass processing, bromatological composition, morphology of skeletal muscle tissue, and cellular structure of the intestine and liver in tambaqui (*Colossoma macropomum*) at the end of the restriction period and during the realimentation period. At the beginning of the experiment, the fish had an average weight and standard length of $168.7 \text{ g} \pm 9.40 \text{ g}$ and $16.81 \text{ cm} \pm 0.40 \text{ cm}$, respectively, and were housed for 112 days in a recirculating water system (RWS). The experimental design was completely randomized and divided into three feeding management groups: control group, partial restriction 1 (PR1), and partial restriction 2 (PR2), with the fish rearing box considered as the experimental unit. The feeding management based on feeding rate for each treatment during 28 days was as follows: control group at 3.5% of live weight, PR1 at 1% of live weight, and PR2 at 0.5% of live weight. Subsequently, all treatment groups were subjected to a feeding rate of 3% of live weight for 56 days and then 2.5% of live weight for an additional 28 days. Biometric measurements were taken at five time points (day 0, 28, 56, 84, 112), and blood samples, hepatosomatic and visceral fat indices, muscle tissue, liver, and intestine samples were collected at three time points (day 0, 28, 112). At 28 days, the groups subjected to feed restriction showed poorer zootechnical performance ($P < 0.05$), lower levels of cholesterol and triglyceride ($P < 0.05$), and lower hepatosomatic and visceral fat indices compared to the control group ($P < 0.05$), without altering the blood and histological variables of muscle, liver, and intestine. At 28 days, lower values of mineral matter and crude protein, and higher values of ether extract and gross energy were observed in the PR1 and PR2 groups compared to the Control. After 56 days of experimentation, the animals subjected to feed restriction showed higher weight gain efficiency and feed conversion, but their final weight was still lower than the control group. On day 84, only the PR2 group showed significant differences compared to the control group, displaying poorer performance in terms of final weight, total length, and standard length. The zootechnical performance in both restriction strategies was recovered at 112 days, regardless of the strategy used in the first 28 days. The biochemical variables, hepatosomatic indices, visceral fat, and bromatological composition also normalized during this period. There were no changes in body yield and hematological variables. Considering the total biomass, it was observed that the less severe restriction (1% of body weight) achieved similar results to the control group more quickly (day 84) compared to the more severe restriction (0.5% of body weight; day 112). It is concluded that reducing the feeding from 3.5% to 0.5% for 28 days (equivalent to an 85.7% reduction) is a viable and interesting strategy in several aspects for juvenile *C. macropomum*, without compromising their production, hypertrophic and hyperplastic behavior of skeletal muscle, and cellular structure of the liver and intestine, as long as a recovery period of 84 days is followed.

Keywords: Compensatory growth, Blood parameters, Muscle growth, Feeding management.

LISTA DE QUADROS

- Quadro 1** Pesquisas com o tambaqui (*Colossoma macropomum*) e o pacu (*Piaractus mesopotamicus*) demonstram boas respostas a restrição alimentar.....27
- Quadro 2** – Resultados de pesquisas com Tambaqui (*Colossoma macropomum*) avaliando diferentes manejos de restrição e realimentação.29

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Croqui sistema de recirculação de água utilizando na pesquisa.....	79
Figura 2 - Arranjo dos manejos alimentares, de acordo com os grupos experimentais, utilizados durante durante o diferentes periodos ao longo do experimento.....	80
Figura 3 - Avaliação biométrica	82
Figura 4 - Procedimentos Hematológicos	83
Figura 5 - Material para avaliação de processamento da banda e material processado para análise bromatológica	84
Figura 1 - Corte transversal das fibras musculares.....	122
Figura 2 - Fotomicrografia do intestino delgado de tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>)...	122
Figura 3 - Fotomicrografia do intestino delgado de tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>).	126
Figura 4 - Fotomicrografia do intestino delgado de tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>).	126
Figura 5 - Fotomicrografia do intestino delgado de tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>). Célula “Rodlet”	127
Figura 6 - Fotomicrografia do hepatopâncreas de tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>). ...	127
Figura 7 - Fotomicrografia do hepatopâncreas de tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>).....	128

SUMÁRIO

CAPITULO 1 — CONSIDERAÇÕES GERAIS	16
1.1 — Introdução Geral	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 — Piscicultura no Mundo e no Brasil	17
2.2 — Tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>)	18
2.3 — Sistema de recirculação aquícola (SRA)	21
2.4 — Restrição alimentar	23
2.5 — Crescimento compensatório	30
2.6 — Características zootécnicas e bioquímicas	37
2.7 — Características hematológicas.....	40
2.8 — Composição centesimal	42
2.9 — Índice hepatossomático e Índice de Gordura visceral	43
2.10 — Mecanismos de crescimento muscular	46
2.11 — Alterações histológicas do fígado e intestino	49
3 OBJETIVOS	53
3.1 — Objetivo geral	53
3.2 — Objetivos específicos	53
5 — REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
CAPITULO 2	72
Restrição alimentar parcial em juvenis de <i>Colossoma macropomum</i> em sistema de aquicultura de recirculação (RAS): efeitos sobre o desempenho zootécnico, a saúde, a composição bromatológica e o processamento da carcaça	73
Resumo	74
1 — Introdução	75
2 — Material e Métodos	78
2.1 — Local experimental e material biológico	78

2.2 — Alimentação e restrição alimentar	80
2.3 — Avaliação do desempenho produtivo	81
2.4 — Análise hematológica e bioquímicas do sangue	82
2.5 — Avaliações das características bromatológicas e de processamento das carcaças.	84
3 — Resultados	85
3.1 — Desempenho produtivo	85
3.2 — Análises bioquímicas e hematológicas.....	90
3.3 — Características de Órgãos.....	91
3.4 — Características de processamento da carcaça	93
3.5 — Característica bromatológica das bandas.....	94
4 — Discussão	95
5 — Conclusão	105
6- Declaração de interesse Concorrente.....	105
7 — Agradecimentos	105
8 — Referências	106
CAPITULO 3.....	114
Impactos da restrição alimentar parcial seguida de realimentação em tambaquis (Colossoma macropomum): sobre a hiperplasia e hipertrofia das células musculares esqueléticas, e morfometria das células hepáticas e intestinais.....	114
1 — Introdução	117
2 — Material e Métodos	118
2.1— Local experimental e material biológico	118
2.2 — Alimentação e restrição alimentar	120
2.3— Procedimento de coleta de tecidos	120
2.4 — Análise estatística	123
3. — Resultados e discussão	123
3.1 — Morfometria muscular.....	123
3.2 — Avaliação qualitativa da estrutura celular do fígado e intestino.....	125

5 — Conclusão	128
6 — Declaração de interesse Concorrente	128
7 — Agradecimentos	129
8. — Referências	130

CAPITULO 1 — CONSIDERAÇÕES GERAIS

1.1 — Introdução Geral

O setor global da aquicultura é essencial para o fornecimento de alimentos, e há fortes perspectivas de crescimento para os próximos anos. Em 2020, a produção mundial de peixes cultivados alcançou níveis recordes com 57,5 milhões de toneladas (FAO, 2022). No entanto, para garantir sustentabilidade, é necessário maior agilidade em termos de políticas de gestão, desenvolvimento científico e adoção de alternativas mais sustentáveis de produção, devido à escassez dos estoques naturais e às crescentes demandas dos consumidores (FAO, 2022; ISAAC-NAHUM, 2006; LOTZE et al., 2006; OLIVEIRA, 2009). A redução dos custos de alimentação, que representam cerca de 70% dos custos de produção, é uma necessidade importante (HLPE, 2017; LOVELL, 1998; RICHE et al., 2004). O uso de uma estratégia eficiente de restrição alimentar parcial seguida de realimentação pode ajudar a reduzir esses custos, promovendo o crescimento acelerado dos peixes. Além dos benefícios econômicos, a restrição alimentar também melhora a qualidade da água, proporcionando melhores condições ambientais para o desempenho, saúde e bem-estar dos peixes (ALI et al., 2016; CAMARGO; ZAIDEN; URBINATI, 2008; HVAS et al., 2022; LUI et al., 2020; MEURER et al., 2005).

O tambaqui é o peixe nativo mais cultivado no país, com potencial para se tornar uma commodity internacional de pescado (IBGE, 2020; PEIXE.BR, 2023; WOYNÁROVICH; VAN ANROOY, 2019). Mas para isso é importante desenvolver metodologias de intensificação da criação. Neste contexto, para isso a combinação da restrição alimentar seguida de realimentação em SRA pode ser uma estratégia valiosa para uma aquicultura intensiva mais eficiente e sustentável (ARAÚJO-LIMA & GOMES, 2010; HILSDORF et al., 2022; SILVA & FUJIMOTO, 2015).

A maioria dos estudos em peixes têm focado no crescimento compensatório através da restrição total de alimentos seguida de hiperfagia (ALI et al., 2016). No entanto, os efeitos da restrição alimentar parcial em peixes tropicais em sistemas de recirculação são pouco conhecidos, entretanto essa metodologia pode melhorar o desempenho e a saúde dos peixes, com importantes benefícios econômicos. Diante do exposto, objetiva-se no presente estudo avaliar o efeito da restrição alimentar parcial em tambaquis (*Colossoma macropomum*), incluindo características de desempenho, saúde e composição da carcaça, além de investigar se diferentes métodos restrição alimentar proporcionam o crescimento compensatório.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 — Piscicultura no Mundo e no Brasil

A piscicultura é uma atividade zootécnica amplamente difundida em todo mundo, desempenha um papel essencial no setor global de produção de alimentos, e as projeções indicam um crescimento significativo nos próximos anos. Segundo dados da FAO (2022), em 2020, a produção mundial de peixes cultivados atingiu um marco histórico, totalizando impressionantes 57,5 milhões de toneladas. Impulsionada pela expansão no Chile, China e Noruega, a produção global de aquicultura cresceu em todas as regiões, exceto na África. Esse aumento ocorreu devido a dois fatores principais: a escassez dos estoques naturais e o aumento contínuo das demandas dos consumidores. (FAO, 2022; ISAAC-NAHUM, 2006; LOTZE et al., 2006; OLIVEIRA, 2009).

A escassez de peixes nos ambientes naturais impulsiona a produção por meio da aquicultura, porém, é crucial que essa expansão seja realizada de maneira sustentável, considerando os impactos ambientais e a saúde dos ecossistemas aquáticos. Para isso, é fundamental investir em ações políticas, pesquisas científicas e desenvolvimento de tecnologias inovadoras, que otimizem a eficiência produtiva e minimizem os efeitos negativos sobre o meio

ambiente (OLIVEIRA, 2009). O Brasil tem potencial para aumentar sua produção de peixes, principalmente com espécies nativas. No entanto, é necessário realizar estudos sobre manejo alimentar e desempenho produtivo para suprir as demandas do mercado para essas espécies (SALARO et al., 2003).

Apesar de ter uma extensa costa e abundância de recursos hídricos, o Brasil não ocupa uma posição de destaque no mercado de pescados. Em 2020, o país produziu 1,3 milhões de toneladas de peixes para consumo, ficando em 21º lugar no ranking mundial, atrás de nações com menor território e potencialidades. A tilápia, de origem estrangeira, é o peixe mais consumido no Brasil, representando atualmente 63,5% da produção nacional e com expectativa de alcançar 80% até o final da década, em seguida, temos os peixes nativos do Brasil, que atualmente representam 31,2% do total (262,3 mil toneladas), sendo o tambaqui o principal representante desse grupo. No entanto, o consumo desses peixes nativos está concentrado principalmente nas regiões Norte e Centro-Oeste, enquanto é menos comum encontrá-los nos lares das regiões Nordeste, Sudeste e Sul, onde a densidade populacional é maior (PEIXE BR, 2022).

O tambaqui tem potencial para impulsionar o mercado nacional e as exportações. É valorizado por sua carne de alta qualidade, versatilidade culinária e facilidade de produção. Além disso, sua alimentação onívoro o torna mais sustentável em comparação a outras espécies que dependem de farinhas de peixe (HILSDORF, 2022).

2.2 — Tambaqui (*Colossoma macropomum*)

O tambaqui (*Colossoma macropomum*) é uma espécie originária da Bacia Amazônica uma das espécies mais importantes da América do Sul de grande interesse na piscicultura devido à sua importância econômica e seu potencial para a produção de proteína animal de alta qualidade. Uma das principais vantagens do tambaqui é sua capacidade de se adaptar a condições ambientais adversas, como a escassez de alimentos. Pertence à família Serrasalmidae

e é a segunda maior espécie de escama do Brasil, superada apenas pelo pirarucu (*Arapaima gigas*), sendo conhecido por sua rusticidade e resistência (ARAÚJO-LIMA & GOMES, 2010; HILSDORF et al., 2022; WOOD et al., 2018). A resistência à hipóxia é outro ponto forte da espécie, suportando níveis de oxigênio dissolvido na água abaixo de 1 mg L^{-1} . Essa capacidade é atribuída à expansão do lábio inferior em condições extremas de falta de oxigênio, permitindo que ela capture e direcione a água rica em oxigênio das camadas mais superficiais para as brânquias (ARIDE; ROUBACH; VAL, 2007).

O tambaqui é amplamente cultivado nas regiões Norte e Nordeste do Brasil devido à sua rápida taxa de crescimento, resistência relativa a doenças e boa tolerância a altas temperaturas e níveis moderados de oxigênio dissolvido na água, além disso, é uma espécie que pode chegar a medir até 70 cm de comprimento e pesar cerca de 40 kg (BALDISSEROTTO & GOMES, 2010). É a segunda espécie mais cultivada no Brasil, ficando apenas atrás da tilápia em 2023 (PEIXE.BR, 2023). Sua popularidade se deve também ao rápido crescimento e fácil adaptação à vida na piscicultura, fácil condicionamento alimentar, facilidade na produção de alevinos e a valorização de sua carne no mercado consumidor.

O tambaqui é uma espécie onívora, alimentando-se de sementes, frutos e insetos na natureza, além de ser possuir um eficiente aparelho filtrador, permitindo-lhe capturar zooplâncton presente na água. Essa flexibilidade alimentar também torna o tambaqui um candidato ideal para a alimentação com dietas artificiais (BULMAN, 2020; GOULDING & CARVALHO, 1982). O tambaqui é uma espécie com diversas características físicas marcantes. Possui um corpo alto e achatado, romboidal, arredondado na fase juvenil, enquanto os adultos são mais alongados, coberto por escamas e serrilhado no peito, além de uma boca pequena e protrátil (ARAÚJO-LIMA & GOULDING, 1997). Sua coloração varia de parda na metade superior a preta na metade inferior, podendo haver variações mais claras ou escuras dependendo do ambiente em que vive. Apresenta nadadeiras dorsal e anal longas, com as nadadeiras

peitorais projetando-se acima da linha mediana do corpo. Além disso, os alevinos possuem uma mancha preta acima da linha lateral que desaparece com o tempo, utilizada para mimetismo ecológico. Quando criado em tanques, sua coloração é amarelo escuro e cinza no corpo, verde-oliva na cabeça e as nadadeiras anal, peitorais, pélvicas e caudais são pretas (ARAÚJO-LIMA & GOULDING, 1997; BULMAN, 2020; FROESE; PAULY, 2023).



Tambaqui (*Colossoma macropomum*).

Ao longo dos anos, o tambaqui tornou-se uma espécie de grande interesse para a piscicultura. Atualmente, existem varias publicações disponíveis sobre o cultivo do tambaqui, projetadas para auxiliar o setor produtivo. Sendo de fundamental importância o desenvolvimento de técnicas em grande escala para a produção desta espécie (WOYNÁROVICH & VAN ANROOY, 2019).

O ciclo de produção do tambaqui pode variar de acordo com diversos fatores, como: o sistema e regime de produção (de extensivo a intensivo), a densidade de estocagem, o tipo e qualidade do alimento fornecido (natural ou artificial, ração comercial ou artesanalmente processada), o manejo alimentar adotado (quantidade de ração e frequência), e a qualidade da água. Em geral, para despescar tambaquês de 1,0 kg a 2,0 kg, o ciclo de cultivo pode durar de 8 a 12 meses. Para peixes com mais de 2,0 kg, o período de cultivo pode se estender para 12 a 18 meses (EMBRAPA, 2018).

A capacidade do tambaqui de utilizar suas reservas como fonte de energia em momentos de escassez de alimentos é uma vantagem adaptativa essencial para a espécie, como destacado

‘por GOULDING & CARVALHO (1982). Com essa característica, o tambaqui pode se beneficiar de forma significativa do manejo de restrição alimentar, contribuindo para o desenvolvimento de uma piscicultura mais rentável e sustentável, pois permite um melhor controle do consumo de alimentos pelos peixes e uma otimização do processo de alimentação. (ASSIS et al., 2020; ITUASSÚ et al., 2004; ITUASSÚ; ALVES & PÉREZ, 2006; SANTOS et al., 2010; SOUZA et al., 2002b).

Uma boa capacidade de jejuar é uma importante característica para o sistema produtivo, pois possibilita que os peixes mantenham um estado nutricional adequado e continuem a se desenvolver mesmo em condições adversas. No entanto, a produção do tambaqui é geralmente realizada com menor nível tecnológico em sistemas extensivos e semi-intensivos em tanques escavados, diante disso tem se incentivado a utilização de metodologias de intensificação para obter resultados aprimorados ao desempenho do tambaqui, aproveitando as suas potencialidades (HILSDORF et al., 2022; SILVA & FUJIMOTO, 2015).

2.3 — Sistema de recirculação aquícola (SRA)

Com a intensificação da produção na piscicultura, há um aumento significativo na geração de resíduos de nitrogênio e sólidos que afetam diretamente a qualidade da água. Por isso, é essencial adotar tecnologias que possam controlar e reduzir a emissão desses efluentes, e que permitam a expansão da produção em diferentes climas.

A indústria aquícola cresceu notavelmente nos últimos anos graças às novas tecnologias de cultivo, entre elas está o sistema de recirculação aquícola (SRA), que permite maior controle da produção e redução dos impactos ambientais dos resíduos. A utilização dessa técnica na piscicultura possibilita um maior controle do ambiente aquático, com a possibilidade de proporcionar um aumento na produtividade e melhoria da qualidade de água (ASSIS et al., 2020; SIQUEIRA, 2018). Os SRA recirculam a água utilizada no cultivo, aumentando a

eficiência no uso de recursos e reduzindo a necessidade de grandes volumes de água, o que é útil em regiões com recursos hídricos limitados ou com restrições ambientais mais rigorosas (LEKANG, 2013). Portanto, a adoção desses sistemas é um avanço significativo para a indústria aquícola, permitindo um cultivo mais sustentável e eficiente.

O controle e a eliminação de compostos nitrogenados, ocorre com o uso de filtros físicos biológicos e decantadores que possuem como vantagens, a estabilidade do processo e a simplicidade na concepção e operação, porém é importante estar atento às suas desvantagens, pois requer um maior manejo de manutenção (EDING et al., 2006; LOBÃO et al., 1998).

Os SRA são compactos e ideais para produzir quantidades consideráveis de peixes em espaços limitados. Com a recirculação da água no sistema, apenas uma pequena porção precisa ser renovada diariamente, garantindo um controle preciso do ambiente aquático. Esses sistemas fazem parte da categoria de sistemas de criação fechados, nos quais a água recircula nas unidades de cultivo, diferentemente dos sistemas abertos e semifechados que utilizam corpos de água naturais e descartam a água utilizada (MILES MEDINA & MAHADEV, 2016; RAKOCY; MASSER; LOSORDO, 1999). Segundo LIMA et al. (2019) o (SRA) é uma opção viável para minimizar a contaminação da água e atender às demandas ambientais, contribuindo para uma produção mais sustentável e responsável.

Considerando as informações apresentadas verifica-se que a utilização do SRA, é uma alternativa importante para reduzir os impactos ambientais na piscicultura, especialmente por possibilitar o desenvolvimento de pisciculturas mais intensivas, onde o da água é realizado de forma mais racional e responsável. Portanto, acredita-se que aliar as estratégias de restrição alimentar seguida de alimentação no SRA seja ambientalmente, economicamente e socialmente sustentável, uma vez que contribui para minimizar o desperdício de ração.

2.4 — Restrição alimentar

No decorrer de suas vidas, é comum que os animais encontrem limitações nos recursos alimentares em seu ambiente natural. É fascinante como o processo evolutivo dotou os animais com a habilidade de adaptar-se à variação sazonal na oferta de alimentos, que é bem evidente em diversas espécies de peixes. A frequência e duração desses eventos de restrição alimentar na natureza podem variar devido fatores como a época do ano e as condições climáticas, podendo ser breves e frequentes (ciclos de maré), breves e eventuais (condições meteorológicas severas), longos e eventuais (ciclos sazonais, seca e chuva, diferentes épocas de frutificação) ou longos e frequentes (condições climáticas crônicas, mudanças ecológicas de longo prazo e alterações causadas pelo ser humano) (CHAPPAZ; OLIVART; BRUN, 1996; DAVE et al., 1975; LAWRENCE & FOWLER, 2002; MCCUE, 2010; STAPLES, 2016).

A restrição alimentar também pode ocorrer através de mecanismos comportamentais, onde o animal abdica a uma oportunidade de se alimentar, mesmo que os alimentos estejam disponíveis. Isso acontece quando os animais destinam seu tempo e energia para outras atividades, como evitar predadores, termorregulação, ou comportamentos relacionados à reprodução como, busca por parceiros, defesa territorial, construção de ninhos, etc (ANDERSON & KARASOV, 1988; BARBOZA & JORDE, 2001; CHEREL; ROBIN; MAHO, 1988; DOUCETT et al., 1999; MROSOVSKY & SHERRY, 1980; RANDALL & BOLTAS KING, 2001).

Para sobreviver, todos os animais precisam gastar energia, mas a maioria não consome alimentos o tempo todo. Isso significa que eles dependem de suas próprias fontes de reserva fisiológica em determinados momentos para realizar as funções básicas de sobrevivência. Assim, a maioria dos animais enfrenta períodos em que não estão se alimentando continuamente e precisam usar suas reservas (BLEM, 2000; CONGDON, 1989; MORALES et al., 2004; NAGY; GIRARD; BROWN, 1999).

Quando o alimento está disponível, os animais normalmente mantêm um estado fisiológico de equilíbrio. Isso significa que as necessidades calóricas e as entradas de nutrientes estão equilibradas com suas necessidades fisiológicas. Em outras palavras, quando o alimento está disponível, os animais geralmente mantêm um equilíbrio entre o que comem e o que precisam para sobreviver, desenvolver, e se reproduzir (MCCUE, 2010). Segundo MORGULIS (1916) o peso corporal constante pode ser visto como um indicador de equilíbrio fisiológico. No entanto, durante a restrição alimentar, o equilíbrio entre o fluxo das necessidades calóricas e as entradas de nutrientes é interrompido, podendo induzir a uma menor síntese de proteínas, podendo induzir a um menor crescimento ou a perda de peso (KIM & LOVELL, 1995; MCCUE, 2007).

Em muitas espécies, a diminuição do peso corporal é a primeira resposta à falta de alimento. A perda de massa durante a restrição alimentar é inevitável para muitos animais e é simplesmente uma consequência das leis da termodinâmica. No entanto, para algumas espécies de peixes e invertebrados, o peso corporal não diminui mesmo durante a restrição alimentar prolongada (COMOGLIO et al., 2004; HERVANT & RENAULT, 2002; KRISTOFFERSON; BROBERG; OIKARI, 1972; MOON, 1983). Essa variação no peso em situações de restrição alimentar pode estar relacionada, em primeiro lugar, às diferenças naturais entre as espécies em relação às suas necessidades globais de energia que são dependentes do peso e temperatura corporal dos peixes (MUÑOZ-GARCIA & WILLIAMS, 2005) e, em segundo lugar, às diferenças quanto à utilização das reservas corporais durante a falta de alimento (MCCUE, 2007).

Em geral, as taxas médias relativas de perda de peso corporal são quase sempre maiores em animais endotérmicos do que em animais ectotérmicos (MCCUE, 2010). Além de perderem peso mais lentamente, os animais ectotérmicos tendem a tolerar períodos mais longos de restrição alimentar do que os animais endotérmicos, isso se dá provavelmente pelo fato de os

ectotérmicos terem menor demanda de energia quando comparado aos endotérmicos (HULBERT; ELSE, 2000; NAGY; GIRARD; BROWN, 1999; WU et al., 2004).

Durante o processo evolutivo, algumas espécies desenvolveram diferentes estratégias para enfrentar períodos de escassez de alimentos e manter um nível aceitável de homeostase fisiológica. Isso inclui a capacidade de mobilizar reservas energéticas em condições de estresse e de restrição alimentar. Algumas espécies são capazes de adaptar e regular suas necessidades energéticas durante esses períodos, permitindo que o animal mobilize fontes internas de energia, como proteínas, lipídios e carboidratos, para atender às suas necessidades energéticas básicas de sobrevivência (BANDEEN & LEATHERLAND, 1997; FAVERO et al., 2018; GAMPERL; VIJAYAN; BOUTILIER, 1994; LI et al., 2018; MCCUE, 2010; SHERIDAN & MOMMSEN, 1991).

Durante o período de restrição alimentar, são observadas quatro fases fisiológicas. A primeira delas é a fase de estresse, caracterizada pelo aumento da atividade do animal em busca de alimento. Na segunda fase, que é uma fase de transição, há uma diminuição da taxa respiratória e da atividade de glicólise e gliconeogênese nos músculos utilizados na natação. Na terceira fase, chamada de fase de adaptação, ocorre a estabilização da taxa metabólica em níveis mais baixos. Se a privação alimentar persistir, haverá um aumento no uso de proteínas como fonte de energia em vez de lipídios (FARBRIDGE & LEATHERLAND, 1992; WIESER; KRUMSCHNABEL; OJWANG-OKWOR, 1992).

Os peixes podem usar reservas corporais para sobreviver a períodos de falta de alimento, como durante a restrição alimentar (AHMAD DAR et al., 2018; NAVARRO & GUTIÉRREZ, 1995). Isso inclui quebrar lipídios ou proteínas em diferentes partes do corpo (JOHANSSON et al., 2016; MARQUEZE et al., 2017); usar tecido muscular (FAVERO et al., 2018) tecido adiposo (JOHANSSON et al., 2016; NEBO et al., 2018) ou como principal fonte de energia e degradar glicogênio em glicose (FURNÉ et al., 2012). A Restrição alimentar também pode

causar alterações hematológicas (ABDEL TAWWAB et al., 2006; DE CASTRO et al., 2020; SILVA et al., 2019); imunológicas (CARUSO et al., 2012) e osmorregulatórias (POLAKOF et al., 2006).

As pesquisas pioneiras sobre o manejo de restrição alimentar em peixes tropicais buscavam entender como a privação alimentar total e de longa duração afeta o metabolismo e a reprodução de várias espécies, simulando o que ocorre na natureza (OLIVEIRA et al., 2020). Nesses estudos, utilizando a capacidade de tolerar a restrição alimentar e suportar a redução de peso como critério para declarar se uma determinada espécie está ou não "bem adaptada" a restrição de alimentos (FURNÉ et al., 2012; HORNICK et al., 2000; KIM & LOVELL, 1995; OLIVEIRA et al., 2020).

Identificadas as espécies de interesse comercial, adaptadas às condições de restrição alimentar e com boa capacidade de reabilitação do estado fisiológico e do peso corporal (crescimento compensatório) após a restrição alimentar, as pesquisas foram direcionadas para o aspecto produtivo, buscando-se formas de aplicação desse manejo alimentar no sistema de criação, incluindo nesse processo a observação de períodos mais curtos de restrição (BOISMENU; GAUTHIER; LAROCHELLE, 1992; CASTELLINI & REA, 1992). Porém, os efeitos da restrição alimentar são muito variáveis e dependentes de alguns fatores, tais como: a espécie, o estágio de vida, à temperatura, o fotoperíodo, a época do ano e a estratégia de manejo aplicada (BISWAS & TAKEUCHI, 2002; FURNÉ et al., 2012; GLENCROSS & BERMUDEZ, 2011; JØRGENSEN et al., 2013; LOVELL, 1998; REIGH; WILLIAMS; JACOB, 2006).

O tambaqui (*Colossoma macropomum*) e o pacu (*Piaractus mesopotamicus*) demonstram boas respostas a restrição alimentar, tanto em períodos longos como em curtos (Quadro 1).

Quadro 1 Pesquisas com o tambaqui (*Colossoma macropomum*) e o pacu (*Piaractus mesopotamicus*) demonstram boas respostas a restrição alimentar.

Espécie	Regime de produção	Tipo de restrição	Tipo de compensação	Referência
<i>Colossoma macropomum</i>	SRA	Ciclos curtos de restrição de 1 a 2 dias por 56 dias.	Total	ASSIS et al., 2020
<i>Piaractus mesopotamicus</i>	SRA	30 dias de restrição e 30 dias de realimentação.	Total	FAVERO et al., 2020
<i>Colossoma macropomum</i>	Tanque de cimento	14 dias de restrição realimentação 10 semanas.	Total	ITUASSÚ; ALVES; PÉREZ, 2006;
<i>Colossoma macropomum</i>	Tanque de cimento	14; dias de restrição, realimentação 70 dias	Total	ITUASSÚ et al., 2004
<i>Piaractus mesopotamicus</i>	Tanque escavado	Ciclo alimentar de 6 semanas de restrição alternadas com 7 semanas de realimentação.	Total	SOUZA et al., 2002b

A duração dos períodos de restrição constitui um fator relevante na determinação da dinâmica de adaptação de cada espécie, visto que dependendoda duração pode ocorrer priorização de determiandas vias metabólica durante a restrição alimentar (OLIVEIRA et al., 2020). De acordo com o estudo de (SANTOS et al., 2018), restringir a alimentação de juvenis de tambaquis (*C. macropomum*) por dois dias por semana durante 60 dias melhora o desempenho dos animais sem aumentar os custos de produção. No entanto, os autores sugerem que o tipo de sistema de produção utilizado pode ter contribuído para os resultados positivos observados (tanque rede em tanques escavados), uma vez que permitiu o desenvolvimento de zooplâncton e o consumo deste pode ter beneficiado para esses resultados.

Em outro estudo PAZ, et al. (2018) observaram que ao restringir a alimentação de juvenis híbridos de tambacu, híbrido de tambaqui e pacu (*Colossoma macropomum x Piaractus mesopotamicus*), por dois dias por semana houve diminuição dos custos de produção em cativeiro, uma vez que o consumo de ração pode ser reduzido em até 10,8%. No entanto, SILVA

et al. (2019) não encontraram diferenças significativas nos juvenis de Pacamã (*Lophiosilurus alexandri*) submetidos a dois dias de restrição alimentar por semana durante 45 dias. De acordo com os resultados obtidos por SANTOS, et al., (2021) o jejum de 14 dias não foi prejudicial aos tambaquis, os quais são capazes de rapidamente se adaptar o metabolismo ao estado nutricional.

De maneira geral, os estudos indicam que os efeitos dos protocolos de alimentação, incluindo duração e intensidade da privação afetam as respostas compensatórias de maneira diferente (ALI; NICIEZA; WOOTTON, 2003). Alguns níveis de privação são leves ou curtos demais para induzir uma resposta compensatória, enquanto outros são mais longos ou severos e são capazes de provocar uma resposta compensatória completa. Há ainda níveis de privação tão graves que não permitem a recuperação total. É provável que os níveis de privação (curtos, longos ou em ciclos) resultem ou não em crescimento compensatório de acordo com o estágio de desenvolvimento e o estado de maturação sexual de cada organismo (ALI; NICIEZA; WOOTTON, 2003). É esperado que peixes maiores sejam mais resistentes às condições de restrição alimentar porque eles têm maiores reservas de energia corporal, como glicogênio, lipídeos e proteínas (JAFARI; FALAHATKAR; SAJJADI, 2018).

Restringir a quantidade de alimento oferecida pode ser uma boa técnica para otimizar o sistema produtivo, pois alterações na quantidade de ração fornecida pode impactar os custos do ciclo produtivo (RODRÍGUEZ & LANDINES, 2011). Uma restrição alimentar inadequada, que não segue os limites bioquímicos do organismo dos peixes, pode afetar o desempenho produtivo (BAYIR et al., 2011; FURNÉ et al., 2009) e interferir na resposta de compensação. Avaliar os níveis mais adequados de restrição alimentar pode auxiliar na obtenção do ponto de equilíbrio ótimo entre o estado fisiológico e a restrição alimentar, a fim de proporcionar condições mais favoráveis para a resposta de compensação. Logo abaixo segue no Quadro 2 resultados de trabalhos com tambaquis submetidos a restrição e realimentação.

Quadro 2 – Resultados de pesquisas com Tambaqui (*Colossoma macropomum*) avaliando diferentes manejos de restrição e realimentação.

Objetivo	Resultado	Referência
Avaliar impacto da privação alimentar em crescimento e composição corporal de juvenis de tambaqui (<i>C. macropomum</i>).	Crescimento compensatório total após até 14 dias de privação alimentar, incluindo maior deposição de proteína corporal após a restrição.	Ituassú et al., 2004
Avaliar efeitos de diversas frequências alimentares no crescimento de juvenis de tambaqui, incluindo ganho de peso, eficiência alimentar e composição corporal.	A frequência alimentar após privação não melhorou os índices zootécnicos.	Ituassú et al., 2006
Avaliar a exigência protéica de juvenis de tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>) após a privação alimentar.	Crescimento compensatório total sem aumento nas exigências proteicas.	Ituassú et al., 2010
Avaliar quatro estratégias de manejo alimentar em tambaquis criados em tanques-rede para avaliar o desempenho produtivo.	Recomendado um ciclo de dois dias de restrição alimentar seguidos por cinco dias de realimentação.	Santos et al., 2018
Avaliar eficácia da privação alimentar no desempenho zootécnico do tambacu (<i>P. mesopotamicus</i> x <i>C. macropomum</i>).	Crescimento compensatório total.	Paz et al., 2018
Avaliar desempenho, parâmetros bioquímicos, hematológicos e teciduais em juvenis de tambaqui (<i>C. macropomum</i>) com restrição alimentar.	Restrição alimentar semanal por um dia manteve o desempenho e parâmetros corporais estáveis, comparáveis a animais alimentados sem restrição por 56 dias.	Assis et al., 2020
Avaliar a mobilização energética em tambaqui submetido a jejum, após um dia de realimentação.	Jejum de 14 dias não prejudicou o desempenho. Os peixes restabeleceram rápido metabolismo, recuperando glicogênio e mobilizando lipídios hepáticos após uma refeição.	Santos et al., 2021
Avaliar a restrição alimentar no desempenho zootécnico de juvenis de tambaqui alimentados até a saciedade aparente. Durante 60 dias	Restrições alimentares superiores a 4 dias prejudicaram crescimento. No entanto, 1 dia de restrição não afetou negativamente o desempenho.	Meira et al., 2022

2.5 — Crescimento compensatório

O fato da maioria dos peixes teleósteos serem ectotérmicos e possuir características metabólicas mais adaptadas à restrição, explica por que pesquisas relacionadas ao crescimento compensatório é mais intensamente nestes peixes do que em outras espécies de animais (ALI; NICIEZA; WOOTTON, 2003). O padrão de crescimento indeterminado dos peixes permite a observação de processos compensatórios em praticamente todas as fases de seu ciclo de vida, isso proporciona a oportunidade de avaliar o desempenho zootécnico em cada uma dessas fases (ALI; NICIEZA; WOOTTON, 2003; CHAPPAZ; OLIVART; BRUN, 1996; HERNANDEZ; HURTADO OLIVA; PENA, 2019; MCCUE, 2010; SOUZA et al., 2002b).

A avaliação do desempenho produtivo em diferentes condições é fundamental para o desenvolvimento de novas técnicas que visem aprimorar a produção na piscicultura. Uma dessas técnicas é o gerenciamento alimentar, que inclui a utilização da restrição alimentar e da realimentação. Essa estratégia tem apresentado resultados positivos, principalmente devido ao crescimento compensatório observado nos animais submetidos a esse manejo. (URBINATI; SARMIENTO; TAKAHASHI, 2014; XIAO et al., 2013).

De acordo com ANDRADE et al. (2005) a busca por um manejo alimentar eficiente é uma constante dentro do setor, uma vez que a ração representa cerca de 50% a 70% do custo total nos diferentes sistemas de produção de peixes. Diante disso, torna-se imprescindível adotar medidas que busquem reduzir esse custo por meio de um adequado manejo alimentar (ABDEL TAWWAB et al., 2006; ANDRADE; BRANDÃO; RAMOS, 2019). Assim é fundamental disseminar boas práticas na alimentação entre os produtores e fornecer conhecimentos específicos por meio de profissionais qualificados (SIDONIO et al., 2012).

A alimentação tem grande influência no crescimento e na conversão alimentar dos peixes, tornando o manejo alimentar adequado crucial para o sucesso da cadeia produtiva (CHO

et al., 2003; MOHSENI et al., 2006; STEPHEN GODDARD, 1996). Além de resultar no desperdício de alimentos, inadequados manejos alimentares podem prejudicar a qualidade da água de cultivo dos peixes (ASADI; ABEDIAN KENARI; ESMAEILI, 2021; JANA et al., 2006; MOHANTA et al., 2008).

Espécies de peixes comerciais, após serem submetidas a restrições alimentares, têm rendimentos semelhantes aos de peixes alimentados normalmente, após a restrição, e apresentam uma melhora na conversão alimentar e, em muitos casos, um resultando em crescimento compensatório. Essas espécies incluem: o bagre do canal (KIM E LOVELL 1995); robalo híbrido (fêmea *Morone chrysops* X macho *Morone saxatilis*) (SKALSKI et al., 2005); matrinxã (*Brycon amazonicus*) (CAMARGO; ZAIDEN; URBINATI, 2008; URBINATI; SARMIENTO; TAKAHASHI, 2014); pacu (*P. mesopotamicus*) (FAVERO et al., 2020, 2018); barbo Tinfoil (*Barbonymus schwanenfeldii*) (ESLAMLOO et al., 2012); Tilápia (*Oreochromis niloticus*) (LIMBU, 2014; PASSINATO et al., 2015); esturjão (*Acipenser baerii*) (MORSHEDI et al., 2017) híbrido tambacu (*P. mesopotamicus* x *Colossoma macropomum*) (PAZ; PASTRANA; BRANDÃO, 2018); pacamã (*Lophiosilurus Alexandri*) (SILVA et al., 2019); matrinxã *Brycon amazonicus* (URBINATI; SARMIENTO; TAKAHASHI, 2014) e o tambaqui (*Colossoma Macropomum*) (ASSIS et al., 2020; ITUASSÚ et al., 2004; ITUASSÚ; ALVES; PÉREZ, 2006; SANTOS, L. et al., 2010; SANTOS, R. et al., 2021).

O crescimento compensatório é um processo fisiológico, evento comum no ciclo biológico dos peixes, no qual um organismo acelera o crescimento após um período de menor desenvolvimento (geralmente devido à redução da ingestão alimentar) até atingir o peso corporal de animais não submetidos à privação alimentar. A taxa de crescimento acelerada após a restrição alimentar depende de fatores como o estágio de crescimento, maturidade sexual, condições ambientais e nutricionais, espécie, comportamento natatório, mecanismos de crescimento, tamanho final da espécie, severidade e duração da restrição, (ALI; NICIEZA;

WOOTTON, 2003; ALI et al., 2016; HORNICK et al., 2000; LAWRENCE; FOWLER, 2002; LOVELL, 1998; MORALES et al., 2004; PATRUNO et al., 2008; SOUZA et al., 2002b).

Segundo Ali et al., 2003, o crescimento compensatório pode ser dividido em diferentes graus:

- 1- Sobre-compensação: os animais submetidos à restrição alimentar atingem um maior ganho de peso quando comparado aos animais que foram alimentados continuamente durante o mesmo período;
- 2- Compensação total: os animais submetidos à restrição alimentar atingem o mesmo tamanho dos animais alimentados continuamente durante o mesmo período;
- 3- Compensação parcial: os animais submetidos à restrição alimentar não atingem o mesmo tamanho dos animais alimentados continuamente, mas apresentam uma alta taxa de crescimento e uma melhora na conversão alimentar durante o período de realimentação;
- 4- Não compensação: os animais submetidos à restrição alimentar não apresentam respostas compensatórias durante o período de realimentação, mesmo após a restrição alimentar.

O estudo do crescimento compensatório em peixes busca eficiência alimentar e redução de custos na piscicultura, mas o fenômeno ainda não é compreendido em todas as espécies. Vários fatores contribuem para o aumento da taxa de crescimento, como a qualidade do alimento, secreção hormonal e expressão gênica. Considerando que a disponibilidade de nutrientes também influencia o crescimento, a restrição alimentar e a realimentação; mas também pode ser eficaz como ferramentas para promover o crescimento compensatório em peixes, entretanto, é necessário um maior entendimento desses processos para aplicação prática na piscicultura (AGUIAR et al., 2005; HERRERA et al., 2016; OLIVEIRA; DE BEM LUIZ; SANTOS, 2016; RUOHONEN, K., KETTUNEN, J. AND KING, 2001; SOUZA et al., 2002b)

Durante o processo de crescimento compensatório, a hiperfagia, que se refere a um aumento significativo na ingestão de alimentos além das necessidades normais do organismo,

é um comportamento alimentar caracterizado por um aumento voraz na alimentação, resultando em uma alta taxa de consumo de alimentos em um curto período de tempo, sendo uma das respostas hormonais desencadeadas e é considerada uma das hipóteses para explicar o aumento da taxa de crescimento (CAMARGO; ZAIDEN; URBINATI, 2008; GAYLORD & GATLIN, 2000; GURNEY & NISBET, 2003; HAYWARD; WANG; NOLTIE, 2000; HORNICK et al., 2000; TIAN & QIN, 2003). A hiperfagia é observada nos primeiros dias de realimentação, é um mecanismo responsável pela compensação de crescimento em muitas espécies; porém, sua ação isolada não é suficiente para gerar uma resposta compensatória completa. É necessário um mecanismo que ajuste a alocação de reservas em resposta a mudanças na taxa de absorção para ocorrer uma recuperação total (GURNEY & NISBET, 2003).

Além disso, a eficiência da conversão alimentar e o crescimento dos animais são maiores quando há um aumento na ingestão de alimentos combinado com uma digestão e absorção eficiente de nutrientes (CHATAKONDI & YANT, 2001; EROLDOGAN et al., 2006). Durante a restrição alimentar, alguns neuropeptídeos podem regular positivamente o apetite, levando a uma resposta de hiperfagia durante a realimentação em algumas espécies (WON et al., 2012).

Porém, a relação entre o crescimento e a conversão alimentar nem sempre é observada, resultando em uma compensação parcial (EROLDOGAN et al., 2006). Em pesquisa com juvenis de dourada (*Sparus aurata*) foi observado apenas uma compensação parcial durante o período de ciclagem, mesmo depois de serem alimentados até à saciedade durante mais 3 semanas (WANG et al., 2000). Em outro estudo, WANG et al., 2005 foi observado crescimento parcial resultante do aumento da ingestão alimentar, mas sem melhoria da conversão alimentar em Tilapia híbrida (*Oreochromis mossambicus X O. niloticus*) privadas de alimentação por uma semana, mas sem melhorias na conversão alimentar

Durante o período de restrição alimentar, ocorrem diversas mudanças metabólicas no animal, o qual utiliza de suas reservas energéticas para manter o funcionamento do

metabolismo. Uma outra hipótese é que a resposta hormonal durante o período de restrição alimentar pode promover o crescimento (GAYLORD & GATLIN, 2000). As respostas provocadas pela restrição variam de acordo com as espécies, tanto no tipo de reserva utilizada quanto em cada espécie quanto no tipo de tecido a partir do qual essas fontes são obtidas (DONALDSON et al., 1979; NAVARRO & GUTIÉRREZ, 1995; SALWAY, 1999; SILVA; GUNASEKERA; AUSTIN, 1997).

Por fim, o crescimento compensatório em peixes pode ser influenciado por diversos fatores, incluindo o sistema endócrino, condições corporais, temperatura, densidade de cultivo e interações sociais, o que pode afetar a eficiência alimentar, a condição física e a heterogeneidade de tamanho dos peixes (ELLIS, 2002; GAYLORD & GATLIN, 2000; JOHANSSON et al., 2016; RUOHONEN; KETTUNEN; KING, 2001). Para promover o crescimento compensatório, é necessária uma realimentação adequada após o período de restrição alimentar e ajustar o regime de alimentação para gerenciar o estresse causado pela privação alimentar. Além disso, há uma variação entre espécies nos padrões de compensação de crescimento, o que sugere que podem existir diferentes mecanismos de compensação que precisam ser estudados com protocolos comparativos para compreender melhor esse fenômeno (ALI; NICIEZA; WOOTTON, 2003; BLEM, 2000; FLORESCU et al., 2019; KIM; LOVELL, 1995; YILMAZ et al., 2018).

Estudos com diferentes espécies de peixes mostram resultados variados em relação à eficácia da técnica de restrição alimentar seguida de reforço nutricional (restrição/realimentação) na promoção de crescimento compensatório (CAMARGO; ZAIDEN; URBINATI, 2008; MORSHEDI et al., 2013). Em pacu (*Piaractus mesopotamicus*), não foi observado crescimento total após ciclos curtos de 3 dias de privação alimentar seguidos de 3 dias de realimentação (TAKAHASHI et al., 2010). Na matrinxã (*Brycon amazonicus*), houve crescimento total após ciclos curtos de restrição/realimentação (jejum de 2 dias seguidos de 3

ou 4 dias de realimentação) (URBINATI; SARMIENTO; TAKAHASHI, 2014). Em Calafate (*Umbrina Cirrosa*) foi observado crescimento compensatório após ciclos de 30 dias de jejum, seguidos de 30 dias de realimentação (HIDALGO et al., 2017). Em Esturjão-estrelado (*Acipenser stellatus*) também foi visualizado um crescimento compensatório completo com diferentes estratégias alimentares (7 dias de jejum seguidos de 21 dias de realimentação; 14 dias de jejum seguidos de 21 dias de realimentação (FLORESCU et al., 2019).

Entre os mecanismos que os teleósteos podem utilizar durante os períodos de privação de alimento e de realimentação estão as ações metabólicas do fígado e a utilização da gordura visceral as quais estão relacionadas com o uso de diferentes fontes de reservas energéticas, e mudanças morfológicas podem ser observadas em vários tecidos durante o jejum devido ao catabolismo de glicogênio, lipídios e proteínas. Algumas espécies de peixes utilizam a proteína muscular como principal reserva energética, enquanto outras mantêm a proteína muscular corporal e consomem a gordura e os estoques de glicogênio (COLLINS & ANDERSON, 1995; STIMPSON, 1965).

Dobson e Holmes, (1984) observaram que peixes em restrição recuperaram tanto o comprimento quanto o peso quando realimentados, indicando que o ganho de peso compensatório representou crescimento e não apenas aumento de gordura. Imediatamente após o período de privação alimentar, a gordura corporal em todos os peixes alimentados com restrição foi menor do que no peixe controle, mas dentro de 3 semanas com alimentação completa, a gordura corporal nesses peixes aumentou para níveis iguais aos do peixe controle.

A recuperação dos níveis lipídicos pode ocorrer através de um caminho diferente daquele que leva ao ganho compensatório Bull (1997) e Nebo et al. (2018) , investigaram o impacto da restrição alimentar seguida de realimentação em juvenis de Tilápia (*Oreochromis niloticus*), e os resultados destes autores mostraram que não houve diferença nas concentrações de colesterol e glicemia entre os animais que passaram por restrição e aqueles alimentados

continuamente. No entanto, encontraram que houve uma diminuição nos níveis de glicogênio hepático e os autores sugerem que a mobilização do glicogênio foi um mecanismo utilizado pelos animais para manter os níveis de glicose, tendo efeitos semelhantes nas concentrações de colesterol.

Em um estudo conduzido por Assis et al., (2020), foi observado que juvenis de tambaqui (*C. macropomum*) submetidos a uma restrição alimentar de um dia por semana mantiveram suas reservas corporais e variáveis hematológicas e bioquímicas inalteradas, exceto pelos triglicerídeos aos 56 dias. Santos et al. (2021) relataram que diferentes densidades de criação e tamanhos de animais podem interferir em alguns parâmetros hematológicos e bioquímicos. Alguns índices, como o índice de gordura visceral (IGV) e o índice hepático-somático (IHS), podem ser utilizados para monitorar a dinâmica da utilização de reservas de energia, que incluem principalmente a gordura estocada no fígado durante o período de abundância de alimento (COLLINS & ANDERSON, 1995).

Os estudos de Favero et al. (2020 e 2018) mostraram que a realimentação após o jejum causou efeitos diferentes em Pacu (*Piaractus mesopotamicus*) dependendo do seu estado nutricional inicial. Eles observaram que a restrição alimentar favoreceu o crescimento de pacus com menor nível de gordura sem prejudicar o desempenho produtivo, e que a realimentação após o jejum resultou em crescimento compensatório e maior eficiência zootécnica nos pacus magros e um aumento da gordura muscular nos pacus gordos. Estes autores concluíram que a deposição de lipídios não necessariamente significa uma maior disponibilidade de energia para o crescimento, e que a restrição alimentar promove a utilização de reservas energéticas e resulta em diminuição dos estoques de gordura sem prejudicar o crescimento dos peixes.

O mecanismo responsável por controlar as respostas compensatórias é ainda pouco compreendido, como evidenciado em algumas pesquisas, (ALI; NICIEZA; WOOTTON, 2003; RUOHONEN; KETTUNEN, KING, 2001; WON & BORSKI, 2013) no entanto, com um

conhecimento mais aprofundado das características metabólicas de cada espécie, tanto durante quanto após a restrição alimentar, é possível desenvolver planos alimentares que reduzam significativamente o consumo de alimentos, a necessidade de mão de obra, a taxa de gordura visceral e os custos totais de produção (OLIVEIRA et al., 2020).

A grande variedade de protocolos e de diferentes fases do desenvolvimento empregados em estudos anteriores pode dificultar a comparação entre as pesquisas (BJÖRNSSON, 1992). Segundo Sundström et al. (2013) ainda há muito a ser aprendido sobre os mecanismos regulatórios do crescimento compensatório e como ele é afetado por diferentes fatores ambientais. É necessário mais pesquisa experimental e observação em diferentes ambientes para ter uma compreensão mais completa do crescimento compensatório.

O estudo do crescimento compensatório em peixes é crucial para melhorar a produção na piscicultura, buscando criar protocolos de restrição alimentar e de realimentação que equilibrem o crescimento e consumo de alimentos. Compreender os fatores que afetam o processo de crescimento compensatório é essencial para aplicá-lo. Embora apresente resultados satisfatórios, há pouca pesquisa sobre custos e em metodologias padronizadas. Padronizar protocolos e padrões de pesquisa seria um processo benéfico para comparação entre estudos, especialmente em espécies nativas brasileiras.

2.6 — Características zootécnicas e bioquímicas

As características zootécnicas são fundamentais para avaliar e quantificar a produtividade, de forma a possibilitar melhor visualização de todo processo produtivo, subsidiando tomadas de decisão mais eficiente e direcionadas. Como exemplo de características zootécnicas importantes para avaliação da produtividade na piscicultura pode-se citar: a conversão alimentar aparente (CAA), a taxa de crescimento específico (TCE%) e o fator de condição (K).

A conversão alimentar é uma medida utilizada na nutrição animal para avaliar a eficiência com que os animais convertem o alimento que consomem em ganho de peso, sendo definida como a quantidade de alimento consumido pelo animal para produzir uma unidade de peso corporal ou de ganho de peso. Uma conversão alimentar mais baixa indica uma maior eficiência na utilização do alimento pelo animal, o que resulta em um menor custo de produção e menor impacto ambiental. Por isso, a melhoria da conversão alimentar é um dos objetivos principais da nutrição animal e por consequência da produção animal.

A Taxa de crescimento específico (TCE%) é amplamente empregada em diversas áreas da biologia, ecologia e sistema produtivo para medir o crescimento de organismos durante intervalos de tempo específicos. É usada para avaliar o crescimento relativo de um peixe em um período de tempo, útil no monitoramento e na comparação do progresso de crescimento de diferentes grupos de peixes em diferentes ambientes. Leva em conta o peso inicial do peixe e, é importante para contrastar grupos distintos, nos quais os pesos iniciais apresentam discrepâncias sua utilização possibilita avaliações precisas e justas fornecendo uma visão abrangente do crescimento. Podendo ser expresso com a seguinte fórmula: $TCE = 100 \times [(\ln \text{ peso final médio}) - (\ln \text{ peso inicial médio})] / \text{período experimental}$. Sendo que, ln: representa o logaritmo natural. É uma função matemática que está relacionada com o crescimento exponencial. Peso final médio: É a média dos pesos dos organismos no final do período experimental. Peso inicial médio: É a média dos pesos dos organismos no início do período experimental. Período experimental: É o intervalo de tempo durante o qual os organismos estão sendo observados e seus pesos estão sendo medidos.

O fator de condição, proposto por Le Cren em 1951, constitui um indicador quantitativo crucial para avaliar o estado de saúde e bem-estar de um peixe, fornecendo informações diretas sobre suas condições alimentares recentes. É um parâmetro essencial para avaliar a saúde e o bem-estar dos peixes, estabelecendo uma correlação crucial com a constante da relação peso-

comprimento. Esse indicador, fundamental na análise da condição física dos peixes, é calculado mediante a comparação entre o peso e o comprimento do indivíduo em relação aos valores esperados para a espécie em questão, permanecendo relativamente constante independentemente das variações de comprimento. A relação peso-comprimento é amplamente utilizada para avaliar o crescimento e condição dos peixes (BRAGA, 1986). Essa métrica é calculada a partir da relação entre o peso e o comprimento do indivíduo, podendo ser expressa da seguinte forma: $K = Wt/Lt^b$ (fator de condição alométrico), onde Wt = peso total; Lt = comprimento total; b = coeficiente angular da regressão entre Wt/Lt . Costuma-se multiplicar esses indicadores por uma potência de 10, visando a simplificação do manuseio e a conveniência na representação gráfica.

Em estudos com juvenis de "tambaqui" (Assis et al., 2020) e "pirapitinga" (Favero et al., 2021) submetidos a ciclos curtos de restrição alimentar em SRA, obtiveram uma redução na TCE %. No entanto, observou-se que em tambaquis, submetidos a um maior período de restrição alimentar foram mais eficientes na CAA, enquanto que em pirapitinga não houve diferença em relação ao grupo controle.

Em juvenis de pacu, foi observado que 22 dias de jejum resultaram em fator de condição inferior nos peixes que foram continuamente alimentados (GONÇALVES, 2001). Já Palma et al. (2010), não observaram diferenças no fator de condição entre os peixes submetidos à restrição de alimento e os continuamente alimentados conforme também foi observado por HILSDORF et al., 2022 em juvenis de pacu, Takahashi (2007) adotou ciclos curtos de restrição-realimentação, com três dias de restrição e três dias de realimentação durante 36 dias para a mesma espécie. No caso de juvenis de *whitefish Coregonus lavaretus*, estratégias com ciclos de dois dias de restrição, seguidos de cinco dias de alimentação e dois dias de restrição, seguidos de dois dias de alimentação, não afetaram o fator de condição (KÄNKÄNEN & PIRHONEN, 2009).

2.7 — Características hematológicas

O estudo da hematologia clínica em peixes analisa o sangue em condições normais e anormais para identificar doenças, disfunções nutricionais, estresse e alterações ambientais. A composição, a proporção e a quantidade dos elementos sanguíneos variam de acordo com a condição fisiológica do peixe, os quais desenvolveram ao longo do tempo adaptações para sobreviver em ambientes aquáticos com variações extremas. A morfologia dos elementos sanguíneos dos peixes varia devido a fatores endógenos e exógenos, o que dificulta a padronização do quadro morfológico do sangue dos peixes (RANZANI-PAIVA; TAVARES-DIAS; EGAMI, 2003).

Os principais desafios enfrentados pelos peixes em ambientes de criação incluem superpopulação, parasitas, bactérias, fungos, vírus, alterações na qualidade da água, agentes tóxicos, manejo e dieta, que afetam as respostas hematológicas, que variam de acordo com a espécie, biologia e hábito dos peixes (CLAUSS; DOVE; ARNOLD, 2008; DE CASTRO et al., 2020; DUNHAM; GRANT; OVERALL, 1989; FAZIO, 2019; GRANT, 2015; IVANC et al., 2005; RANZANI-PAIVA; TAVARES-DIAS; EGAMI, 2003).

As técnicas utilizadas na hematologia são geralmente simples, relativamente baratas e têm sido cada vez mais utilizadas na avaliação da saúde dos peixes. Embora seja de grande importância nos sistemas de produção de peixes e nos laboratórios de avaliação clínica de organismos, algumas técnicas comumente empregadas ainda não são padronizadas. Os protocolos usados na hematologia clínica veterinária dos mamíferos domésticos são amplamente utilizados na avaliação dos peixes, mas as técnicas usadas para identificação e quantificação das células de defesa não são adequadas para os peixes (BOJARSKI et al., 2018b; RANZANI-PAIVA, 1995).

Amostras de sangue permitem exames hematológicos, bacteriológicos, parasitológicos, bioquímicos, toxicológicos e estado nutricional. A hematologia auxilia no diagnóstico de

doenças e avaliação da resposta ao tratamento. As análises incluem avaliação de células sanguíneas e parâmetros bioquímicos, como concentrações de compostos plasmáticos. São avaliados para células vermelhas: eritrócitos, concentração de hemoglobina, valor de hematócrito, volume corpuscular médio e de hemoglobina corpuscular média bem como a concentração de hemoglobina corpuscular média. Os parâmetros bioquímicos incluem glicose, colesterol, triglicerídeos. Esses índices fornecem informações sobre capacidade de transporte de oxigênio, potencial imunológico, estresse, doenças, intoxicação e estado geral de saúde e nutricional (BOJARSKI et al., 2018b; DE CASTRO et al., 2020).

A análise hematológica manual é complexa e requer habilidades, conhecimento e experiência para resultados confiáveis em peixes. São alguns fatores que podem influenciar os resultados obtidos: O nível de estresse dos peixes, método de amostragem, uso de anticoagulantes, temperatura e tempo de armazenamento do sangue, tipo de diluente e correção da classificação das células sanguíneas (BOJARSKI et al., 2018a; CARBAJAL et al., 2019; FAZIO et al., 2012; LUGOWSKA; KONDERA; WITESKA, 2017; WALENCIK; WITESKA, 2007). Em contraste, os parâmetros bioquímicos são frequentemente medidos utilizando analisadores multiparamétricos automatizados (BOJARSKI et al., 2018b).

A análise da bioquímica sanguínea em peixes é uma ferramenta importante para entender a condição metabólica dos animais e como o metabolismo reage em relação à nutrição, fisiologia e desequilíbrios em geral (HIGUCHI et al., 2011; WAGNER & CONGLETON, 2004).

A glicose é um substrato oxidativo importante para tecidos e células de peixes, e a glicemia pode variar entre as espécies (HEMRE; MOMMSEN; KROGDAHL, 2002). O jejum pode diminuir a glicose circulante, conforme apontado por Caruso et al., 2010 e Waagbø et al., 2017, mas El-araby; Amer; Khalil, (2020) sugerem que o estresse causado pelo jejum pode aumentar a glicemia. O estresse pode levar à liberação de hormônios do estresse na corrente

sanguínea, o que pode desencadear uma resposta secundária, como o aumento da glicose no sangue dos peixes. Isso ocorre porque o estresse pode ativar a produção de glicose por meio da gliconeogênese (NAKANO et al., 2014; ZAHANGIR et al., 2015).

As lipoproteínas LDL, HDL e VLDL têm um importante papel no transporte de colesterol e triglicerídeos na corrente sanguínea. O colesterol é um composto fundamental para a síntese de hormônios esteroides, na constituição de sais biliares e na composição de membranas celulares, enquanto os triglicerídeos são a principal reserva energética do tecido adiposo. Os autores ainda salientam que a nutrição é um fator que pode afetar os níveis dessas substâncias no organismo (LABARRÈRE et al., 2013).

A análise sanguínea é uma ferramenta importante para avaliar a saúde dos peixes durante e após a restrição alimentar. Com ela, é possível ajustar a alimentação para manter o equilíbrio nutricional e o bem-estar dos animais. Após a restrição alimentar, a análise sanguínea também é relevante para avaliar a recuperação dos peixes e identificar possíveis desequilíbrios nutricionais ou fisiológicos. Isso pode ajudar a maximizar a produção e a garantir melhores condições fisiológicas para os animais.

2.8 — Composição centesimal

Apesar da carne de peixe ser o produto mais importante na aquicultura, ainda há uma escassez de estudos relacionados à sua composição química. A bromatologia, que tem como principal objetivo a análise da composição química dos alimentos, é fundamental para a obtenção das frações nutritivas essenciais à manutenção da vida, as quais são classificadas em água, proteínas, carboidratos, gorduras, vitaminas e minerais (BOTELHO et al., 2018; MACEDO-VIEGAS et al., 2002; OGAWA & MAIA, 1999; REGOST et al., 2001; ROA et al., 2019).

De acordo com Ituassú et al (2004), o tambaqui apresenta maior deposição de proteína corporal alimentado *ad libitum* após ser submetido à privação alimentar. Além disso, observou-se que não houve influência da privação alimentar nos níveis de cinzas e extrato etéreo nos peixes avaliados, mas os níveis de umidade e proteína bruta aumentaram proporcionalmente ao aumento dos dias de privação. Estudos anteriores também relataram teores de extrato etéreo semelhantes entre grupos experimentais com e sem privação alimentar em outras espécies de peixes, como o bagre-de-canal (KIM & LOVELL, 1995). O aumento de proteína bruta nos peixes submetidos à privação alimentar sugere um aumento na deposição de músculo, indicando que o aumento de massa não é causado apenas pela deposição de gordura corporal (DOBSON & HOLMES, 1984).

O manejo alimentar é um fator importante na produção de peixes, podendo influenciar de maneira significativa os níveis de proteína, colesterol e triglicerídeos presentes no metabolismo plasmático, conforme indicado por Dieterich et al. (2013). Outro ponto relevante é que o manejo alimentar pode levar a alterações na composição corporal dos peixes, afetando os teores de umidade, proteína, lipídios e cinzas, (DAUDPOTA et al., 2016). Portanto, é essencial considerar o manejo alimentar ao planejar a produção de peixes, visando obter um lote uniforme, com bom desempenho e alta qualidade nutricional.

2.9 — Índice hepatossomático e Índice de Gordura visceral

O fígado é a maior glândula em peixes e tem funções metabólicas, digestivas, de síntese e estocagem de energia, e de desintoxicação (ROBERTS & ELLIS, 2012; SEGNER; DÖLLE; BÖHM, 1997). Exercendo, portanto, funções cruciais para o organismo, como o metabolismo de lipídios, proteínas e carboidratos; secreção de sais e ácidos biliares; armazenamento de lipídios e vitaminas; biotransformação de substâncias tóxicas, drogas, hormônios e medicamentos. Além disso, o fígado também é responsável pela filtragem e

armazenamento de sangue e ferro, bem como pela produção de fatores de coagulação (HALL, 2011).

Segundo CENTER (2004) o fígado é responsável por realizar mais de 1.500 funções bioquímicas essenciais para a sobrevivência do organismo, incluindo o metabolismo, pode ser usado como biomarcador para avaliar a saúde dos peixes, sendo caracterizado por lobos com arranjo cordonal de hepatócitos, sinusóides irregulares e células endoteliais revestindo os sinusóides (SOUZA et al., 2002b).

Os hepatócitos são responsáveis pelo armazenamento de glicose e lipídeos, e sua mobilização é realizada quando há privação de fontes energéticas, por meio da glicogenólise e gliconeogênese. As espécies de Characidae, *Colossoma macropomum* e *Piaractus mesopotamicus*, têm o fígado como principal local de armazenamento de glicogênio, além de gordura em menor quantidade (SAINT-PAUL, 1984). Durante a restrição, há redução no peso do fígado devido à utilização dos depósitos de glicogênio (FURNÉ et al., 2012).

Para monitorar a dinâmica da utilização de reservas de energia em peixes, alguns índices têm sido propostos, como o índice de gordura visceral (IGV) e o índice hepático-somático (IHS). Esses índices são úteis para avaliar a utilização das reservas de energia, principalmente a gordura armazenada no fígado durante períodos de abundância de alimento (COLLINS & ANDERSON, 1995).

Durante o jejum, ocorre a mobilização das reservas energéticas endógenas para manter as condições fisiológicas, resultando em perda de peso corporal (WEATHERLEY E GILL, 1987; COOK et al., 2000). No entanto, as respostas ao jejum variam entre as espécies, incluindo o tipo de reserva utilizada e o tecido do qual são obtidas (SILVA; GUNASEKERA; AUSTIN, 1997).

A rápida diminuição do índice hepatosomático (IHS) durante a restrição alimentar indica que as reservas de energia são rapidamente utilizadas. Após a realimentação, essas

reservas são restabelecidas, podendo exceder os níveis observados em peixes alimentados. Esses resultados foram encontrados em espécies, como *Macquaria ambigua* (COLLINS & ANDERSON, 1995) e *Piaractus mesopotamicus* (SOUZA et al., 2002a). Regost et al. (2001) não observaram nenhuma alteração no Índice Hepatosomático (IHS) de Salmão trutta após 8 semanas de jejum. Isso sugere que os peixes podem responder de forma diferente ao jejum, embora, na maioria das vezes, ocorra a mobilização do lipídio hepático em primeiro lugar (SILVA; GUNASEKERA; AUSTIN, 1997).

Foi observado por Assis et al (2020) uma diminuição do índice hepatossomático em Juvenis de *C.macropomum* submetidos a ciclos de dois dias por semana com restrição, entretanto os animais submetidos a um dia por semana de restrição mantiveram o índice hepatossomático inalterado. Power, (2000) destaca que o índice hepatossomático (IHS) nem sempre pode ser confiável para avaliar o estado nutricional, uma vez que pode ser influenciado por outros fatores fisiológicos, como reprodução e doenças. No entanto Favero et al (2021), observaram que o índice hepatossomático para peixes alimentados por cinco dias e submetidos à restrição alimentar por dois dias foi significativamente menor do que o controle sem restrição.

Embora o fígado seja considerado a fonte inicial de energia endógena, a gordura visceral pode ser utilizada como primeira reserva disponível (WEATHERLEY & GILL, 1981). No entanto, a recuperação dos estoques energéticos mesentéricos é mais lenta que a do fígado, conforme observado por Collins & Anderson (1995).

O tecido adiposo visceral é um importante sítio de armazenamento de energia nos teleósteos incluindo tambaqui, onde a gordura visceral é um sítio de armazenamento de lipídios (ARAÚJO-LIMA & GOMES, 2010). Souza et al. (2002b) observaram diminuições no IGV durante a restrição alimentar. Reduções significativas do IGV foram encontradas por Gaylord & Gatlin (2000) em *Ictalurus punctatus*, após 14 dias de jejum. ASSIS et al. (2020) observaram que o índice de gordura visceral em Juvenis de *C. macropomum* submetidos à restrição

alimentar por um dia por semana mantiveram suas reservas corporais inalteradas. Favero et al. (2021) identificaram que redução no índice de gordura visceral em *Piaractus mesopotamicus* submetidos a diferentes ciclos de restrição.

Diante do exposto, é possível perceber que existem diversos fatores que podem afetar as características desses índices. Portanto, é essencial considerar a análise específica para cada espécie, a fim de possibilitar um melhor entendimento dos processos metabólicos envolvidos.

2.10 — Mecanismos de crescimento muscular

O crescimento dos vertebrados é impulsionado pelo aumento na massa muscular esquelética durante a vida. Nos mamíferos, esse crescimento é principalmente resultado da hipertrofia muscular (aumento do tamanho das células), enquanto a hiperplasia (aumento do número de células) é observada apenas nas fases gestacionais. No entanto, nos teleósteos, tanto a hipertrofia quanto a hiperplasia ocorrem continuamente, permitindo um potencial significativo de crescimento e variação no tamanho corporal adulto entre as espécies. A produção contínua de fibras musculares desempenha um papel fundamental no crescimento dos teleósteos (JOHNSTON, 2001; MOMMSEN, 2001; ROWE; GOLDSPINK, 1969). Em parte, esse fato explica porque a maioria dos peixes teleósteos serem ectotérmicos possuir em características metabólicas mais adaptadas à restrição (ALI; NICIEZA; WOOTTON, 2003).

O padrão de crescimento indeterminado dos peixes permite a observação de processos compensatórios em praticamente todas as fases de seu ciclo de vida, isso proporciona a oportunidade de avaliar o desempenho zootécnico em cada uma dessas fases (ALI; NICIEZA; WOOTTON, 2003; NEBO, 2011; WANG et al., 2000). O músculo estriado esquelético dos peixes é uma fonte importante de proteína e é composto por fibras musculares multinucleadas organizadas em formato cilíndrico e alongado, com estriações transversais e núcleos periféricos. A matriz extracelular do músculo é composta por tecido conjuntivo, vasos e nervos, responsáveis pela transmissão da força de contração. O tecido muscular estriado esquelético

dos peixes é dividido em miômeros, que consistem em fibras musculares arranjadas em trajetórias helicoidais que se inserem em camadas de fibras colágenas chamadas miosseptos (ALEXANDER, 1969; JUNQUEIRA, & CARNEIRO, 2013; WEATHERLEY; GILL & 1985).

As fibras musculares dos peixes são distribuídas de forma diferente dos mamíferos, com camadas específicas (BAHLER; FALES; ZIERLER, 1968; JOHNSTON, 1999). O músculo esquelético dos peixes é dividido em três compartimentos: profundo, intermediário e superficial, com diferentes tipos de fibras musculares (JOHNSTON & HALL, 2004; MOMMSEN, 2001; VEGGETTI et al., 1993). O compartimento profundo contém a maior quantidade de massa muscular (60-70%) e possui fibras brancas com metabolismo glicolítico de uso rápido; o compartimento intermediário possui fibras de contração rápida e metabolismo glicolítico/oxidativo; o compartimento superficial contém as fibras musculares vermelhas responsáveis por movimentos lentos e contínuos em peixes, com metabolismo oxidativo lento (JOHNSTON, 1999).

As fibras musculares vermelhas correspondem a cerca de 30% da musculatura total e estão localizadas abaixo da pele, com alta concentração de mitocôndrias, mioglobina e lipídios, principalmente na região superficial próxima ao septo horizontal e em direção à nadadeira caudal (BAHLER; FALES; ZIERLER, 1968; JOHNSTON, 1999).

O desenvolvimento muscular em peixes ocorre em três fases distintas e o crescimento pós-embrionário depende da proliferação e diferenciação de células satélites, que podem causar hipertrofia e hiperplasia. No entanto, a contribuição da hiperplasia para o crescimento muscular diminui com a idade, não excedendo 50% (JOHNSTON & HALL, 2004; MOMMSEN, 2001; OCHI & WESTERFIELD, 2007; VEGGETTI et al., 1993). A musculatura branca, com fibras maiores, metabolismo predominantemente glicolítico e contração rápida, é responsável pela maior parte da massa muscular em peixes e é utilizada em movimentos bruscos de natação (JOHNSTON, 1999).

O crescimento pós-embriônico do músculo estriado esquelético em peixes inicia-se antes da absorção do saco vitelínico e continua até a maturação sexual, dependendo da proliferação e da diferenciação de células satélites, fonte de núcleos para o recrutamento de novas fibras musculares (hiperplasia) e para o aumento em espessura das fibras musculares (hipertrofia) (JOHNSTON, 1999). Esses mioblastos estão localizados entre a lâmina basal e a membrana plasmática da fibra muscular (VEGGETTI et al., 1993)

A plasticidade muscular é fundamental para a adaptação dos peixes ao ambiente em que vivem. Ela envolve a capacidade de responder a alterações ambientais, como temperatura, salinidade, oxigênio, pH, fotoperíodo e fluxo da água (WEST-EBERHARD, 2003; JOHNSTON, 2006). Esses fatores afetam o sistema fisiológico, incluindo o músculo esquelético, permitindo a adaptação dos peixes às condições ambientais em que se encontram (ACOSTA et al., 2005; JOHNSTON, 2006).

O crescimento muscular pós-natal é regulado por proteínas como miostatina e fatores de regulação miogênica, além do eixo GH/IGF-1 em vertebrados, que estimula a hipertrofia muscular (JOHNSTON; MACQUEEN; WATABE, 2008). As brânquias detectam as alterações físico-químicas da água, enquanto o fotoperíodo é percebido pela retina e glândula pineal, resultando em mudanças comportamentais e na busca por um novo ambiente, influenciando a plasticidade muscular (CAMARGO; ZAIDEN; URBINATI, 2008).

A contribuição da hipertrofia e da hiperplasia varia de acordo com a espécie e a fase de crescimento (BROOKS & JOHNSTON, 1993). Em espécies que atingem a fase adulta com pequeno tamanho, a hipertrofia das fibras musculares desenvolvidas durante a embriogênese é o principal mecanismo de crescimento pós-larval. Já em peixes de maior porte, ocorre desenvolvimento contínuo de novas fibras musculares em todas as fases do crescimento. O crescimento hipertrófico é mais acentuado nas fases juvenil e adulto na maioria das espécies (PATRUNO et al., 2008; VEGGETTI et al., 1993).

A hipertrofia muscular tem um efeito direto sobre os tecidos somáticos, resultando em um efeito acentuado no crescimento do músculo esquelético pelo aumento da proliferação de células satélites, a diferenciação dos mioblastos e a fusão dos miotubos. No entanto, o bloqueio dessa via aumenta a proteólise e a expressão dos gêneses, responsáveis pelo catabolismo proteico e atrofia muscular (OTTO & PATEL, 2010; SACHECK et al., 2004).

A atrofia muscular é a diminuição do volume muscular causada por aumento da degradação e menor síntese proteica. Fatores ambientais, como temperatura, salinidade da água, densidade de estocagem, restrição alimentar e parasitas podem afetar o desenvolvimento muscular o crescimento compensatório e a perda de peso em peixes de águas quentes, com diferenças nas respostas entre espécies e linhagens. (NEBO, 2011; WANG et al., 2000). Todos esses fatores podem afetar o crescimento muscular e o desenvolvimento geral do peixe. Assim, a obtenção de novas informações sobre esse tema é relevante para aprimorar a compreensão da biologia muscular em peixes submetido a condições de restrição alimentar e realimentação que podem ter implicações importantes para a indústria da piscicultura.

Compreender o desenvolvimento muscular em peixes é fundamental para a piscicultura, logo nas pesquisas é importante acompanhar os mecanismos celulares envolvidos no crescimento compensatório e no desenvolvimento muscular.

2.11 — Alterações histológicas do fígado e intestino

Alguns estudos têm destacado a presença de órgãos digestivos acessórios em certas espécies de peixes, que desempenham papéis importantes na absorção e armazenamento de nutrientes. De acordo com Da Silveira et al. (2009), os cecos pilóricos apresentam características semelhantes ao intestino adjacente, sugerindo que servem para aumentar a superfície de absorção sem a necessidade de aumentar o comprimento do intestino. A estrutura e função desses órgãos podem ser influenciadas por vários fatores, incluindo a disponibilidade de elementos estruturais como ácidos graxos e aminoácidos, que podem ser limitados durante

períodos prolongados de privação alimentar (KULTZ & JURSS, 1991). Essas descobertas destacam a importância de compreender a relação entre a estrutura histológica dos órgãos digestivos e a função metabólica dos peixes, fornecendo insights valiosos para aprimorar o manejo nutricional e o desempenho em sistemas de criação.

O fígado desempenha funções vitais em peixes, como o metabolismo de nutrientes, a síntese e estocagem de energia, a desintoxicação de substâncias nocivas e a produção de fatores de coagulação (ROBERTS & ELLIS, 2012; SEGNER; DÖLLE; BÖHM, 1997). É a maior glândula dos peixes e exerce funções metabólicas, de síntese e estocagem de energia, além de desintoxicação de substâncias (ROBERTS & ELLIS, 2012; SEGNER; DÖLLE; BÖHM, 1997).

A análise histológica é capaz de detectar alterações estruturais, como demonstrado em estudos realizados por Rocha et al. (1995, 1997), Russel et al. (2001), Rios et al. (2007). O Fígado pode ser um biomarcador fundamental para avaliar a saúde nutricional de peixes, conforme destacado por Rodrigues et al. (2017). Russel et al. (2001) avaliaram diferentes dietas em robalos e observaram aumento na deposição de glicogênio hepático e possível hiperplasia do tecido hepático, devido ao aumento na taxa de absorção para biossíntese devido aos manejos utilizados. Traíras submetidas a diferentes dias de restrição mobilizaram as reservas energéticas provenientes de glicogênio hepático e muscular, seguidas pela utilização das reservas lipídicas do fígado, resultando na redução no peso corporal e hepático. Após a realimentação, houve aumento e recuperação no peso do fígado e índice hepatossomático em razão do estoque energético de glicogênio (RIOS et al., 2006). Estudos similares com pacu e robalo também relataram mobilização energética (ASSIS et al., 2020; SOUZA et al., 2002; TAKAHASHI et al., 2010; PÉREZ-JIMÉNEZ et al., 2007). Rodrigues et al. (2017) ressaltaram que a análise morfométrica é um biomarcador valioso para investigar a função hepática e sua relação com a dieta em peixes. Durante a restrição alimentar, o excesso de alimento ingerido é convertido em reservas energéticas, como glicogênio, triglicerídeos e colesterol. Durante esse período, a

mobilização do fígado e dos lipídeos viscerais ocorre, sendo que os ácidos graxos liberados durante a lipólise podem ser utilizados como fonte de energia para a síntese de colesterol (ASHOURI et al., 2020). Assim, as variações morfológicas nas estruturas hepáticas podem ser medidas e analisadas como uma resposta direta às adaptações na dieta (RODRIGUES et al., 2017).

As alterações celulares intestinais dos peixes são parâmetros importantes para avaliar a integridade da mucosa, a capacidade digestiva e a absorção de alimentos (FERREIRA et al., 2014). Essas características variam de acordo com o hábito alimentar das espécies e o ambiente em que vivem (BALDISEROTTO et al., 2014). Estudos demonstraram que ocorre alterações nas células intestinais em resposta à disponibilidade de alimento (HONORATO et al., 2011). Períodos de jejum podem causar alterações prejudiciais à atividade digestiva, resultando em redução da altura e comprimento das vilosidades, diminuição da área do epitélio e consequente redução na capacidade de absorção (SEGNER et al., 1987).

O intestino dos peixes é dividido em três regiões: anterior, média e posterior, cada uma com funções específicas na digestão química e absorção de nutrientes (LOVELL, 1989; ROTTA, 2003). O intestino anterior é responsável pela absorção de gorduras e possui células colunares absorptivas (enterócitos) e células caliciformes (GUILLAUME & CHOUBERT, 2001; SHARON & ZILBERG, 2012). No intestino médio, ocorre o processo de pinocitose, envolvendo invaginações e vacúolos nos enterócitos, para a absorção e digestão de macromoléculas, como proteínas e carboidratos. Essa região também abriga um grande número de macrófagos e células de muco, que auxiliam na proteção e deglutição do alimento (KAPOOR et al., 1976; ROMBOUT ET AL., 1989; SHARON & ZILBERG, 2012; BALDISEROTTO et al., 2014). O intestino posterior, a última porção do intestino, apresenta poucas microvilosidades e células de absorção, sendo responsável pela osmorregulação, absorção de

água e eletrólitos. Nessa região, ocorre um aumento gradual das células caliciformes da porção distal ao reto (TAKASHIMA & HIBIYA, 1995; GUILLAUME & CHOUBERT, 2001).

O trato gastrointestinal dos peixes pode sofrer modificações morfológicas e funcionais em resposta às características da espécie e à natureza dos alimentos ingeridos, adaptando-se às condições do ambiente (BALDISSEROTTO et al., 2014; KAPOOR et al., 1976; SEIXAS FILHO et al., 2001). A análise celular do sistema digestivo, pode fornecer informações valiosas sobre o intestino e suas variações em resposta à alimentação (ADESHINA et al., 2023).

Estudos têm demonstrado que a administração de aditivos probióticos em tilápias-do-nylo resulta em vilosidades mais altas e largas, assim como um aumento no número de células caliciformes, o que contribui para a defesa da mucosa contra bactérias (MELLO et al., 2013). Resultados semelhantes foram observados em pacus alimentados com polpa cítrica, evidenciando uma redução na densidade das vilosidades em relação à área do epitélio intestinal (FABREGAT et al., 2011).

Dessa forma, as células intestinais, desempenham um papel crucial na adaptação estrutural em resposta às características da dieta, facilitando as funções digestivas e de absorção realizadas pelo intestino (KAPOOR et al., 1976). A análise celular do sistema digestivo é uma ferramenta valiosa para determinar o estado nutricional e realizar estudos morfofuncionais em peixes de produção.

A análise histológica qualitativa do intestino e do fígado em peixes é de extrema importância para avaliar a saúde desses órgãos e compreender sua função metabólica. No caso do intestino, a avaliação das vilosidades intestinais permite verificar a integridade da mucosa, a capacidade de absorção de alimentos e a resposta a diferentes dietas. A análise histológica do fígado revela informações sobre a presença de hepatócitos, permitindo identificar alterações patológicas, como inflamação, fibrose, lesões celulares ou acúmulo de lipídios. Esses dados são essenciais para tomar medidas corretivas, como ajustar a dieta, evitar exposição a toxinas e

implementar práticas de manejo adequadas, visando garantir a saúde geral e o desempenho dos peixes em sistemas de criação.

3 OBJETIVOS

3.1 — Objetivo geral

Objetiva-se no presente estudo avaliar se uma restrição alimentar parcial afeta as características de desempenho zootécnico, de saúde, bromatológicas e de processamento da carcaça de tambaquis (*Colossoma macropomum*), ao final do período de restrição e do período de realimentação. Além disso, buscou-se verificar se os manejos alimentares testados resultam em um crescimento compensatório após a realimentação.

3.2 — Objetivos específicos

- (i) Avaliar a conversão alimentar aparente durante e após a restrição alimentar e os diferentes manejos de realimentação.
- (ii) Avaliar o ganho de peso e a sobrevivência durante e após a restrição alimentar e nos diferentes manejos de realimentação.
- (iii) Verificar a ocorrência de ganho compensatório após a restrição alimentar e nos diferentes manejos de realimentação.
- (iv) Verificar se ocorrem alterações nos índices de gordura visceral e hepatosomáticos durante e após a restrição alimentar e nos diferentes manejos de realimentação.
- (v) Verificar se ocorrem alterações nas características hematológicas (glicose, colesterol total e triglicerídeos, eritrócitos) durante e após a restrição alimentar e aos diferentes manejos de realimentação.
- (vi) Verificar se ocorrem alterações na composição centesimal da banda do tambaqui após a restrição alimentar e nos diferentes manejos de realimentação.

5 — REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDEL TAWWAB, M; KHATTAB, Yassir A. E.; AHMAD, Mohammad H. Efficacy of High-Protein “Finishing” Diets on Growth, Fattiness, and Processing Yield of Channel Catfish, *Ictalurus punctatus*. **Journal of Applied Aquaculture**, v. 18, n. 3, p. 37–52, 2006.
- ACOSTA, Jannel; CARPIO, Yamila; BORROTO, Ingrid; et al. Myostatin gene silenced by RNAi show a zebrafish giant phenotype. **Journal of Biotechnology**, v. 119, n. 4, p. 324–331, 2005.
- ADESHINA, I.; AKPOILIH, B.U.; UDOM, B.F.; ADENIYI, O.V.; ABDELTAWWAB, M. Interactive effects of dietary phosphorus and microbial phytase on growth performance, intestinal morphometry, and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed on low-fishmeal diets. **Aquaculture**, v. 563, p. 738995, 2023.
- AGUIAR, D. H.; BARROS, M. M.; PADOVANI, C. R.; et al. Growth characteristics of skeletal muscle tissue in *Oreochromis niloticus* larvae fed on a lysine supplemented diet. **Journal of Fish Biology**, v. 67, n. 5, p. 1287–1298, 2005.
- AHMAD DAR, S. Regulation of compensatory growth by molecular mechanism in *Labeo rohita* juveniles under different feeding regimes. **General and Comparative Endocrinology**, v. 261, p. 89–96, 2018.
- ALEXANDER, R. M. The orientation of muscle fibres in the myomeres of fishes. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 49, n. 2, p. 263–290, 11 maio 1969.
- ALI, M.; NICIEZA, A.; WOOTTON, R. J. Compensatory growth in fishes: a response to growth depression. **Fish and Fisheries**, v. 4, n. 2, p. 147–190, jun. 2003.
- ALI, Tamer El Sayed; MARTÍNEZ-LLORENS, Silvia; MOÑINO, A.V. Effects of weekly feeding frequency and previous ration restriction on the compensatory growth and body composition of Nile tilapia fingerlings. **The Egyptian Journal of Aquatic Research**, v. 42, n. 3, p. 357–363, 2016.
- ANDERSON, R. A.; KARASOV, W. H. Energetics of the Lizard *Cnemidophorus Tigris* and Life History Consequences of Food-Acquisition Mode. **Ecological Monographs**, v. 58, n. 2, p. 79–110, jun. 1988.
- ANDRADE, R. L. B. de; WAGNER, R. L.; MAHL, I.; MARTINS, R. S. Custos de produção de tilápias (*Oreochromis niloticus*) em um modelo de propriedade da região oeste do Estado do Paraná, Brasil. **Ciência Rural**, v. 35, n. 1, p. 198–203, fev. 2005.
- ANDRADE, J. O.; BRANDÃO, L. V.; RAMOS, F. M. Manejo alimentar para o tambaqui. In: *Aquicultura e Pesca: Adversidades e Resultados*. Ponta Grossa : Atena Editora, 2019. p. 237–247.
- ARAÚJO-LIMA, C. A. R; GOMES, L. C. Tambaqui (*Colossoma macropomum*). In: *BALDISSEROTTO, GOMES, L. Espécies nativas para piscicultura no Brasil*. 2. ed. Santana Maria: UFSM, 2010. p. 175–204.
- ARAÚJO-LIMA, C.; GOULDING, M. So Fruitful a Fish: Ecology, Conservation and Aquaculture

- of the Amazon's Tambaqui. In: **Environmental Conservation - Fundati**. New York, NY: USA. Columbia University Press, 2008. p. 279–289.
- ARIDE, P. H. R.; ROUBACH, R.; VAL, A. L. Tolerance response of tambaqui *Colossoma macropomum* (Cuvier) to water pH. **Aquaculture Research**, v. 38, n. 6, p. 588–594, abr. 2007.
- ASADI, M.; ABEDIAN KENARI, A.; ESMAEILI, M. Restricted- protein feeding strategy decreased the protein consumption without impairing growth performance, flesh quality and non-specific immune parameters in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, v. 531, n. July 2020, p. 735946, jan. 2021.
- ASSIS, Y. P. A. S.; DE ASSIS PORTO, L.; DE MELO, N. F. A. C.; PALHETA, G. D. A.; LUZ, R. K.; FAVERO, G. C. Feed restriction as a feeding management strategy in *Colossoma macropomum* juveniles under recirculating aquaculture system (RAS). **Aquaculture**, v. 529, n. July, p. 735689, dez. 2020.
- BAHLER, A. S.; FALES, J. T.; ZIERLER, K. L. The Dynamic Properties of Mammalian Skeletal Muscle. **Journal of General Physiology**, v. 51, n. 3, p. 369–384, 1 mar. 1968.
- BALDISSEROTTO, B.; GOMES, L. DE C. (ORG. . **Espécies nativas para piscicultura no Brasil**. 2. ed. Santana Maria - RS: UFSM, 2010.
- BANDEEN, J.; LEATHERLAND, J. F. Transportation and handling stress of white suckers raised in cages. **Aquaculture International**, v. 5, n. 5, p. 385–396, 1997.
- BARBOZA, P. S.; JORDE, D. G. Intermittent Feeding in a Migratory Omnivore: Digestion and Body Composition of American Black Duck during Autumn. **Physiological and Biochemical Zoology**, v. 74, n. 2, p. 307–317, mar. 2001.
- BAYIR, A.; SIRKECIOGLU, A. N.; BAYIR, M.; HALILOGLU, H. I.; KOCAMAN, E. M.; ARAS, N. M. Metabolic responses to prolonged starvation, food restriction, and refeeding in the brown trout, *Salmo trutta*: Oxidative stress and antioxidant defenses. **Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology**, v. 159, n. 4, p. 191–196, ago. 2011.
- BISWAS, A. K.; TAKEUCHI, T. Effect of different photoperiod cycles on metabolic rate and energy loss of fed and unfed adult tilapia *Oreochromis niloticus*: Part II. **Fisheries Science**, v. 68, n. 3, p. 543–553, jun. 2002.
- BJÖRNSSON, B. The growth pattern and sexual maturation of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) reared in large tanks for 3 years. **Aquaculture**, v. 138, n. 1–4, p. 281–290, dez. 1992.
- BLEM, C. R. Energy Balance. In: **Sturkie's Avian Physiology**. 5. ed. New York, NY: Elsevier, 2000. p. 327–341.
- BOISMENU, C.; GAUTHIER, G.; LAROCHELLE, J. Physiology of Prolonged Fasting in Greater Snow Geese (*Chen caerulescens atlantica*). **The Auk**, v. 109, n. 3, p. 511–521, 1992.
- BOJARSKI, B.; KONDERA, E.; WITESKA, M.; ŁUGOWSKA, K. Differences in hematological values of common carp between cardiac and venous blood. **Bulletin of the European Association of Fish Pathologists**, v. 38, n. 6, p. 234–239, 2018a.

- BOJARSKI, B.; WITESKA, M.; KONDERA, E.; ŁUGOWSKA, K. Hematological methods in fish – Not only for beginners. **Aquaculture**, v. 547, p. 737498, jan. 2018b b.
- BOTELHO, H. A.; COSTA, A. C.; FREITAS, R. T. F. de; FERNANDES, É. M. ANÁLISE BROMATOLÓGICA DE FILÉ DE PACU (*Piaractus mesopotamicus*), PIRAPITINGA (*Piaractus brachypomum*) E TAMBACUI (*Colossoma macropomum*). **Revista de Ciência Veterinária e Saúde Pública**, v. 4, n. 2, p. 158, 2018.
- BRAGA, F. M. . Estudo entre fator de condição e relação peso-comprimento para alguns peixes marinhos. **Brazilian Journal of Biology**, v. 46(2), p. 339–346, 1986.
- BROOKS, S.; JOHNSTON, I. A. Influence of development and rearing temperature on the distribution, ultrastructure and myosin sub-unit composition of myotomal muscle-fibre types in the plaice *Pleuronectes platessa*. **Marine Biology**, v. 117, n. 3, p. 501–513, nov. 1993.
- BULL, C. Regulation of hyperphagia in response to varying energy deficits in overwintering juvenile Atlantic salmon. **Journal of Fish Biology**, v. 50, n. 3, p. 498–510, mar. 1997.
- BULMAN, M. B. **Tambaqui Manual de Nutrição e Manejo Alimentar**. Curitiba: GIA; UFPR, 2020.
- CAMARGO, A. C. DA S.; ZAIDEN, S. F.; URBINATI, E. C. Desenvolvimento gonadal de fêmeas de matrinxã, *Brycon amazonicus*, submetidas a restrição alimentar. **Ciência Rural**, v. 38, n. 4, p. 1105–1110, ago. 2008.
- CARBAJAL; SOLER; TALLO-PARRA; ISASA; ECHEVARRIA; LOPEZ-BEJAR; VINYOLES. Towards Non-Invasive Methods in Measuring Fish Welfare: The Measurement of Cortisol Concentrations in Fish Skin Mucus as a Biomarker of Habitat Quality. **Animals**, v. 9, n. 11, p. 939, 8 nov. 2019.
- CARUSO, G.; MARICCHIOLO, G.; MICALE, V.; GENOVESE, L.; CARUSO, R.; DENARO, M. G. Physiological responses to starvation in the European eel (*Anguilla anguilla*): Physiological responses to starvation in the European eel (*Anguilla anguilla*): effects on haematological, biochemical, non-specific immune parameters and skin structures. **Fish Physiology and Biochemistry**, v. 36, n. 1, p. 71–83, 18 mar. 2010.
- CARUSO, G.; DENARO, M. G.; CARUSO, R.; GENOVESE, L.; MANCARI, F.; MARICCHIOLO, G. Short fasting and refeeding in red porgy (*Pagrus pagrus*, Linnaeus 1758): Response of some haematological, biochemical and non specific immune parameters. **Marine Environmental Research**, v. 81, p. 18–25, out. 2012.
- CASTELLINI, M. A.; REA, L. D. The biochemistry of natural fasting at its limits. **Experientia**, v. 48, n. 6, p. 575–582, jun. 1992.
- CENTER, S. A. Fisiopatologia, diagnóstico laboratorial, e afecções do fígado. In: MANOLE (Ed.). **Tratado de medicina interna veterinária: moléstias do cão e do gato**.. São Paulo: Manole ed. 2004 p. 1745–1816.
- CHAPPAZ, R.; OLIVART, G.; BRUN, G. Food availability and growth rate in natural populations of the brown trout (*Salmo trutta*) in Corsican streams. **Hydrobiologia**, v. 331, n. 1–3, p. 63–69, set. 1996.

- CHATAKONDI, N. G.; YANT, R. D. Application of Compensatory Growth to Enhance Production in Channel Catfish *Ictalurus punctatus*. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 32, n. 3, p. 278–285, set. 2001.
- CHEREL, Y.; ROBIN, J.-P.; MAHO, Y. LE. Physiology and biochemistry of long-term fasting in birds. **Canadian Journal of Zoology**, v. 66, n. 1, p. 159–166, 1 jan. 1988.
- CHO, S. H.; LIM, Y. S.; LEE, J. H.; LEE, J. K.; PARK, S.; LEE, S. M. Effects of Feeding Rate and Feeding Frequency on Survival, Growth, and Body Composition of Ayu Post-Larvae *Plecoglossus altivelis*. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 34, n. 1, p. 85–91, mar. 2003.
- CLAUSS, T. M.; DOVE, A. D. M.; ARNOLD, J. E. Hematologic Disorders of Fish. **Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice**, v. 11, n. 3, p. 445–462, set. 2008.
- COLLINS, A. L.; ANDERSON, T. A. The regulation of endogeneous energy stores during starvation and refeeding in the somatic tissues of the golden perch. **Journal of Fish Biology**, v. 47, n. 6, p. 1004–1015, dez. 1995.
- COMOGLIO, L. I.; GAXIOLA, G.; ROQUE, A.; CUZON, G.; AMIN, O. The effect of starvation on refeeding, digestive enzyme activity, oxygen consumption, and ammonia excretion in juvenile white shrimp *Litopenaeus vannamei*. **Journal of Shellfish Research**, v. 23, n. 1, p. 243–249, 2004.
- CONGDON, J. D. Proximate and Evolutionary Constraints on Energy Relations of Reptiles. **Physiological Zoology**, v. 62, n. 2, p. 356–373, mar. 1989.
- DAUDPOTA, A. M.; ABBAS, G.; KALHORU, I. B.; SHAH, S. S. A.; KALHORU, H.; HAFEEZ-UR-REHMAN, M.; GHAFAR, A. Performance, feed utilization and body composition of juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) Reared in Low Salinity Water. **Pakistan Journal of Zoology**, v. 48, n. 1, p. 171–177, 2016.
- DA SILVA, U.S., LOGATO P.V.R. & PONTES E.D.C. Fatores estressantes de 1228 peixes. **Revista Eletrônica Nutritime** v 6, pag, 1001-1017, (2009).
- DAVE, G.; JOHANSSON-SJÖBECK, M.-L.; LARSSON, Å.; LEWANDER, K.; LIDMAN, U. Metabolic and hematological effects of starvation in the European eel, *Anguilla anguilla* L.— I. Carbohydrate, lipid, protein and inorganic ion metabolism. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology**, v. 52, n. 3, p. 423–430, jan. 1975.
- DE CASTRO, K. S.; SOUSA, A. G.; FUGIMURA, M. M. S.; VAZ, L. J.; MARCUSSO, P. F.; CLAUDIANO, G. D. S. Estabilidade das variáveis hematológicas em sangue de *Colossoma macropomum* armazenado com diferentes anticoagulantes. **Revista Agroecossistemas**, v. 11, n. 2, p. 171, 7 set. 2020.
- DIETERICH, T. G.; POTRICH, F. R.; LORENZ, E. K.; SIGNOR, A. A.; FEIDEN, A.; BOSCOLO, W. R. Parâmetros zootécnicos de juvenis de pacu alimentados a diferentes frequências de arraçamento em tanques-rede. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 8, p. 1043–1048, ago. 2013.
- DOBSON, S. H.; HOLMES, R. M. Compensatory growth in the rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. **Journal of Fish Biology**, v. 25, n. 6, p. 649–656, dez. 1984.

- DONALDSON, E. .; FAGERLUNGU, H. .; HIGGS, D. .; MCBRIDE J.R. Hormonal enhancement of growth in fish. In: **Fish Physiology**. San Diego: Academic Press, 1979. p. 455–577.
- DOUCETT, R. R.; BOOTH, R. K.; POWER, G.; MCKINLEY, R. S. Effects of the spawning migration on the nutritional status of anadromous Atlantic salmon (*Salmo salar*): insights from stable-isotope analysis. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, v. 56, n. 11, p. 2172–2180, 1999.
- DUNHAM, A. E.; GRANT, B. W.; OVERALL, K. L. Interfaces between Biophysical and Physiological Ecology and the Population Ecology of Terrestrial Vertebrate Ectotherms. **Physiological Zoology**, v. 62, n. 2, p. 335–355, mar. 1989.
- EDING, E. H.; KAMSTRA, A.; VERRETH, J. A. J.; HUISMAN, E. A.; KLAPWIJK, A. Design and operation of nitrifying trickling filters in recirculating aquaculture: A review. *Aquacultural Engineering*, v. 34, n. 3, p. 234–260, maio 2006.
- EL-ARABY, D. A.; AMER, S. A.; KHALIL, A. A. Effect of different feeding regimes on the growth performance, antioxidant activity, and health of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture**, v. 528, n. June, p. 735572, nov. 2020.
- ELLIS, T. The relationships between stocking density and welfare in farmed rainbow trout. **Journal of Fish Biology**, v. 61, n. 3, p. 493–531, set. 2002.
- EMBRAPA. Criação de tabaquis. 13. ed. Brasília, DF: Embrapa, v. 13 p. 20, 2018.
- EROLDOGAN, O. T.; KUMLU, M.; KIRIS, G. A.; SEZER, B. Compensatory growth response of *Sparus aurata* following different starvation and refeeding protocols. **Aquaculture Nutrition**, v. 12, n. 3, p. 203–210, jun. 2006.
- ESLAMLOO, K.; MORSHEDI, V.; AZODI, M.; ASHOURI, G.; ALI, M.; IQBAL, F. Effects of starvation and re-feeding on growth performance, feed utilization and body composition on tinfoil barb (*Barbonymus schwanenfeldii*). **World Journal of Fish and Marine Sciences**, v. 4, n. 5, p. 489–495, 2012.
- FAO. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation**. Rome: FAO, 2022.
- FABREGAT, T.E.H.P.; RODRIGUES, L.A.; NASCIMENTO, T.M.; URBINATI, E.C.; SAKOMURA, N.K.; FERNANDES, J.B.K. Fontes de fibra na alimentação do pacu: desempenho, composição corporal e morfometria intestinal. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 63, p. 1533-1540, 2011.
- FARBRIDGE, K. J.; LEATHERLAND, J. F. Temporal changes in plasma thyroid hormone, growth hormone and free fatty acid concentrations, and hepatic 5 α -monodeiodinase activity, lipid and protein content during chronic fasting and re-feeding in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Fish Physiology and Biochemistry**, v. 10, n. 3, p. 245–257, out. 1992.
- FAVERO, G.; GIMBO, R. Y.; MONTOYA, L. N. F.; CARNEIRO, D. J.; URBINATI, E. C. A fasting period during grow-out make juvenile pacu (*Piaractus mesopotamicus*) leaner but does not impair growth. *Aquaculture*, v. 524, n. September 2019, p. 735242, jul. 2020.
- FAVERO, G. C.; GIMBO, R. Y.; FRANCO MONTOYA, L. N.; ZANUZZO, F. S.; URBINATI,

- E. C. Fasting and refeeding lead to more efficient growth in lean pacu (*Piaractus mesopotamicus*). *Aquaculture Research*, v. 49, n. 1, p. 359–366, jan. 2018
- FAVERO, G. C.; DOS SANTOS, F. A. C.; DA COSTA JÚLIO, G. S.; PEDRAS, P. P. C.; FERREIRA, A. L.; DE SOUZA E SILVA, W.; FERREIRA, N. S.; DO CARMO NEVES, L.; LUZ, R. K. Effects of short feed restriction cycles in *Piaractus brachyomus* juveniles. *Aquaculture*, v. 536, n. January, p. 736465, abr. 2021.
- FAZIO, F. et al. Comparative study of haematological profile on *Gobius niger* in two different habitat sites: Faro Lake and Tyrrhenian Sea [Etude comparative du profil hématologique de *Gobius niger* dans deux habitats différents: Le lac de Faro et la Mer Tyrrhénienne]. **Cahiers de Biologie Marine**, v. 53, n. 2, p. 213–219, 2012.
- FAZIO, F. Fish hematology analysis as an important tool of aquaculture: A review. **Aquaculture**, v. 500, n. 4, p. 237–242, fev. 2019.
- FLORESCU (GUNE), I. E. et al. Effects of starvation and refeeding on growth performance and stress defense mechanisms of stellate sturgeon *Acipenser stellatus* juveniles from aquaculture. **Acta Biochimica Polonica**, v. 66, n. 1, p. 47–59, 10 mar. 2019.
- FROESE, R.; PAULY, D. **FishBase World Wide Web electronic publication**. Disponível em: <<https://fishbase.mnhn.fr/summary/263>>. Acessado em :10/04/2023
- FURNÉ, M.; SANZ, A.; GARCÍA-GALLEGO, M.; HIDALGO, M. C.; DOMEZAIN, A.; DOMEZAIN, J.; MORALES, A. E. Metabolic organization of the sturgeon *Acipenser naccarii*. *Aquaculture*, v. 289, n. 1–2, p. 161–166, abr. 2009.
- FURNÉ, M. et al. The metabolic effects of prolonged starvation and refeeding in sturgeon and rainbow trout. **Journal of Comparative Physiology B**, v. 182, n. 1, p. 63–76, 24 jan. 2012.
- GAMPERL, A. K.; VIJAYAN, M. M.; BOUTILIER, R. G. Experimental control of stress hormone levels in fishes: techniques and applications. **Reviews in Fish Biology and Fisheries**, v. 4, n. 2, p. 215–255, jun. 1994.
- GAYLORD, I. G.; GATLIN, D. M. Assessment of Compensatory Growth in Channel Catfish *Ictalurus punctatus* R. and Associated Changes in Body Condition indices. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 31, n. 3, p. 326–336, 3 abr. 2000.
- GLENCROSS, B. D.; BERMUDEZ, M. The effect of high water temperatures on the allometric scaling effects of energy and protein starvation losses in juvenile barramundi, *Lates calcarifer*. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, v. 159, n. 2, p. 167–174, jun. 2011.
- GOULDING, M.; CARVALHO, M. L. Life history and management of the tambaqui (*Colossoma macropomum*, Characidae): an important Amazonian food fish. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 1, n. 2, p. 107–133, 1982.
- GRANT, K. R. Fish Hematology and Associated Disorders. **Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice**, v. 18, n. 1, p. 83–103, jan. 2015.
- GURNEY, W.; NISBET, R. Resource allocation, hyperphagia and compensatory growth. **Bulletin of Mathematical Biology**, v. 66, n. 6, p. 1731–1753, nov. 2003.

- GUILLAUME, J.; CHOUBERT, G. Digestive physiology and nutrient digestibility in 438 fishes. 2001
- HAGEN, Ø.; FERNANDES, J. M. O.; SOLBERG, C.; JOHNSTON, I. A. Expression of growth-related genes in muscle during fasting and refeeding of juvenile Atlantic halibut, *Hippoglossus hippoglossus* L. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, v. 152, n. 1, p. 47–53, jan. 2009.
- HALL, J. E. **Tratado de Fisiologia Médica**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.
- HAYWARD, R. S.; WANG, N.; NOLTIE, D. B. Group holding impedes compensatory growth of hybrid sunfish. *Aquaculture*, v. 183, n. 3–4, p. 299–305, mar. 2000.
- HEMRE, G.-I.; MOMMSEN, T. P.; KROGDAHL, Å. Carbohydrates in fish nutrition: effects on growth, glucose metabolism and hepatic enzymes. *Aquaculture Nutrition*, v. 8, n. 3, p. 175–194, set. 2002.
- HERNANDEZ, C.; HURTADO OLIVA, M.; PENA, E. Effect of short term starvation on hematological and blood biochemical parameters in juvenile spotted rose snapper (*Lutjanus guttatus*) (Steindachner, 1869). *Latin American Journal of Aquatic Research*, v. 47, n. 1, p. 9–17, 10 mar. 2019.
- HERRERA, L. A.; SILVA, F. da C.; SANTOS, A. P. dos; SOUSA, O. M. de; SANCHES, E. G. Crescimento compensatório e privação alimentar no desempenho produtivo do robalo-flecha. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 51, n. 6, p. 776–779, jun. 2016
- HERVANT, F.; RENAULT, D. Long-term fasting and realimentation in hypogean and epigean isopods: a proposed adaptive strategy for groundwater organisms. *Journal of Experimental Biology*, v. 205, n. 14, p. 2079–2087, 15 jul. 2002.
- HIDALGO, M. C.; MORALES, A. E.; ARIZCUN, M.; ABELLÁN, E.; CARDENETE, G. Regional asymmetry of metabolic and antioxidant profile in the sciaenid fish shi drum (*Umbrina cirrosa*) white muscle. Response to starvation and refeeding. *Redox Biology*, v. 11, n. February, p. 682–687, abr. 2017.
- HIGUCHI, L. H.; FEIDEN, A.; MALUF, M. L. F.; DALLAGNOL, J. M.; ZAMINHAN, M.; BOSCOLO, W. R. Avaliação eritrocitária e bioquímica de jundiás (*rhamdia quelen*) submetidos à dieta com diferentes níveis protéicos e energéticos. *Ciência animal brasileira*, v. 12, n. 1, p. 70–75, 31 mar. 2011.
- HILSDORF, A. W. S.; HALLERMAN, E.; VALLADÃO, G. M. R.; ZAMINHAN-HASSEMER, M.; HASHIMOTO, D. T.; DAIRIKI, J. K.; TAKAHASHI, L. S.; ALBERGARIA, F. C.; GOMES, M. E. de S.; VENTURIERI, R. L. L.; MOREIRA, R. G.; CYRINO, J. E. P. The farming and husbandry of *Colossoma macropomum* : From Amazonian waters to sustainable production. *Reviews in Aquaculture*, v. 14, n. 2, p. 993–1027, 25 mar. 2022.
- HLPE. High Level Panel of Experts. 2017. Nutrition and food systems. **Committee o World Food Security (CFS)**, v. 44, n. September, p. 1–152, 2017.
- HORNICK, J. .; VAN EENAEME, C.; GÉRARD, O.; DUFRASNE, I.; ISTASSE, L. Mechanisms of reduced and compensatory growth. Domestic *Animal Endocrinology*, v. 19, n. 2, p. 121–132, ago. 2000.

- HONORATO C.A., DA CRUZ C., CARNEIRO D.J. & MÁRCIA R.F.M. Histologia e histoquímica do intestino anterior de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) alimentadas com dietas contendo silagem de peixe. *Revista Brasileira de Pesquisa Veterinária e Zootecnia* v48, pag 281-288, 2011.
- HULBERT, A. J.; ELSE, P. L. Mechanisms Underlying the Cost of Living in Animals. **Annual Review of Physiology**, v. 62, n. 1, p. 207–235, mar. 2000.
- HVAS, M.; NILSSON, J.; VÅGSETH, T.; NOLA, V.; FJELLDAL, P. G.; HANSEN, T. J.; OPPEDAL, F.; STIEN, L. H.; FOLKEDAL, O. Full compensatory growth before harvest and no impact on fish welfare in Atlantic salmon after an 8-week fasting period. **Aquaculture**, v. 546, n. June 2021, p. 737415, jan. 2022.
- IBGE. Produção da pecuária Municipal 2020. **Imprensa Oficial**, v. v.48, n. 1, p. 1–12, 2020.
- ISAAC-NAHUM, V. J. Exploração e manejo dos recursos pesqueiros do litoral amazônico: um desafio para o futuro. **Ciência cultura. (São Paulo)**, v. 58, n. 3, p. 33–36, 2006.
- ITUASSÚ, D. R.; SANTOS, G. R. S. dos; ROUBACH, R.; PEREIRA-FILHO, M. Desenvolvimento de tambaqui submetido a períodos de privação alimentar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 12, p. 1199–1203, dez. 2004
- ITUASSÚ, D. R.; ALVES, C.; PÉREZ, C. C. Efeito da frequência alimentar durante a realimentação de *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818) submetidos à privação alimentar. **Comunicación Científica - CIVA**, v. 2006, n. 4, p. 1126–1137, 2006.
- IVANC, A.; HASKOVIC, E.; JEREMIC, S.; DEKIC, R. Hematological evaluation of welfare and health of fish. **Praxis Veterinaria**, v. 53, n. 3, p. 191–202, 2005.
- JAFARI, N.; FALAHATKAR, B.; SAJJADI, M. M. Growth performance and plasma metabolites in juvenile Siberian sturgeon *Acipenser baerii* (Brandt, 1869) subjected to various feeding strategies at different sizes. **Fish Physiology and Biochemistry**, v. 44, n. 5, p. 1363–1374, 16 out. 2018.
- JANA, S. N.; GARG, S. K.; BARMAN, U. K.; ARASU, A. R. T.; PATRA, B. C. Effect of varying dietary protein levels on growth and production of *Chanos chanos* (Forsskal) in inland saline groundwater: laboratory and field studies. **Aquaculture International**, v. 14, n. 5, p. 479–498, 2 out. 2006
- JOHANSSON, M.; MORGENROTH, D.; EINARSDOTTIR, I. E.; GONG, N.; BJÖRNSSON, B. T. Energy stores, lipid mobilization and leptin endocrinology of rainbow trout. *Journal of Comparative Physiology B*, v. 186, n. 6, p. 759–773, 15 ago. 2016
- JOHANSSON, M.; MORGENROTH, D.; EINARSDOTTIR, I. E.; GONG, N.; BJÖRNSSON, B. T. Energy stores, lipid mobilization and leptin endocrinology of rainbow trout. **Journal of Comparative Physiology B**, v. 186, n. 6, p. 759–773, 15 ago. 2016
- JOHNSTON, I. A. Muscle development and growth: potential implications for flesh quality in fish. **Aquaculture**, v. 177, n. 1–4, p. 99–115, jul. 1999.
- JOHNSTON, I. A. Environment and plasticity of myogenesis in teleost fish. **Journal of Experimental Biology**, v. 209, n. 12, p. 2249–2264, 15 jun. 2006.

- JOHNSTON, I. A.; HALL, T. E. Mechanisms of muscle development and responses to temperature change in fish larvae. In: JJ GOVONI, R. S. (Ed.). **American Fisheries Society Symposium**. Bethesda, Maryland: 2004, 2004. v. 2004p. 85–116.
- JOHNSTON, I. A.; MACQUEEN, D. J.; WATABE, S. Molecular Biotechnology of Development and Growth in Fish Muscle. **Fisheries for Global Welfare and Environment, World Fisheries Congress** p. 241–262, 2008.
- JOHNSTON, I. A. N. A. **Muscle development**. New York : Academic Press, 2001.
- JØRGENSEN, E. H.; MARTINSEN, M.; STRØM, V.; HANSEN, K. E. R.; RAVURI, C. S.; GONG, N.; JOBLING, M. Long-term fasting in the anadromous Arctic charr is associated with down-regulation of metabolic enzyme activity and up-regulation of leptin A1 and SOCS expression in the liver. **Journal of Experimental Biology**, v. 216, n. 17, p. 3222–3230, 1 jan. 2013.
- JUNQUEIRA, L. C.; CARNEIRO, J. **Histologia Básica**. 12. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013.
- KÄNKÄNEN, M.; PIHONEN, J. The effect of intermittent feeding on feed intake and compensatory growth of whitefish *Coregonus lavaretus* L. **Aquaculture**, v. 288, n. 1–2, p. 92–97, mar. 2009.
- KAPOOR, B.G.; SMIT, H.; VERIGHINA, I.A. The alimentary canal and digestion in 461 teleosts. In: **Advances in marine biology**. Academic Press, v. 13, p. 134, 1976.
- KIM, M. K.; LOVELL, R. T. Effect of restricted feeding regimens on compensatory weight gain and body tissue changes in channel catfish *Ictalurus punctatus* in ponds. **Aquaculture**, v. 135, n. 4, p. 285–293, out. 1995.
- KULTZ, D.; JURSS, K. Acclimation of chloride cells and Na/K-ATPase to energy deficiency in tilapia (*Oreochromis mossambicus*). **Zoological Journal of Physiology**, v.95, p.39–50, 1991.
- KRISTOFFERSON, R.; BROBERG, S.; OIKARI, A. Effect of temperature change on some blood constituents and osmotic balance in the pike (*Esox lucius* L.) in brackish water Author (s): Rolf Kristoffersson, Saara Broberg and Aimo Oikari Published by: **Finfish Zoological and Botanical Publishing Board**, v. 9, n. 4, p. 212–218, 1972.
- LABARRÈRE, C. R.; FARIA, P. M. C. de; TEIXEIRA, E. de A.; MELO, M. M. Blood chemistry profile of Surubim hybrid fish (*Pseudoplatystoma reticulatum* X *P. corruscans*) raised in different stocking densities. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 37, n. 3, p. 251–258, jun. 2013.
- LAWRENCE, T. L. J.; FOWLER, V. . **Growth of Farm Animals**. Wallingford, Oxon, CABI Publishing, 2002.
- LE CREN, E.D. Observations on the growth of perch (*Perca fluviatilis* L.) over twenty-two years with special reference to the effects of temperature and changes in population density. **Jornal. Animal. Ecologic**, v 27 p. 287-334 1958.
- LEKANG, O.-I. Aquaculture engineering. **Aquaculture Research**, v. 38, n. 16, p. 1790–1791, 6 dez. 2013.

- LI, H.; XU, W.; JIN, J.; YANG, Y.; ZHU, X.; HAN, D.; LIU, H.; XIE, S. Effects of starvation on glucose and lipid metabolism in gibel carp (*Carassius auratus gibelio* var. CAS III). **Aquaculture**, v. 496, p. 166–175, nov. 2018.
- LIMA, J. de F.; MONTAGNER, D.; DUARTE, S. S.; YOSHIOKA, E. T. O.; DIAS, M. K. R.; TAVARES-DIAS, M. Recirculating system using biological aerated filters on tambaqui fingerling farming. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, n. January, 2019.
- LIMBU, S. Effect of restricted and re-feeding regime on feeding cost, growth performance, feed utilization and survival rate of mixed sex Nile tilapia *Oreochromis niloticus* cultured in tanks. **International Journal of Fisheries and Aquatic Studies**, v 2(1),n1,p 118-123, September, 2014.
- LOBÃO, V. L.; LUZIA, L. A.; SAMPAIO, G. R.; HORTENCIO, E.; SOUZA, A. M. Estudo comparativo entre quatro métodos de sistemas fechados de circulação em larvicultura de *Macrobrachium rosenbergii*. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 25, p. 101–109, 1998.
- LÓPEZ-OLMEDA, J. F.; NOBLE, C.; SÁNCHEZ-VÁZQUEZ, F. J. Does feeding time affect fish welfare? **Fish Physiology and Biochemistry**, v. 38, n. 1, p. 143–152, 14 fev. 2012.
- LOTZE, H. K.; LENIHAN, H. S.; BOURQUE, B. J.; BRADBURY, R. H.; COOKE, R. G.; KAY, M. C.; KIDWELL, S. M.; KIRBY, M. X.; PETERSON, C. H.; JACKSON, J. B. C. Depletion, Degradation, and Recovery Potential of Estuaries and Coastal Seas. **Science**, v. 312, n. 5781, p. 1806–1809, 23 jun. 2006
- LOVELL, T. **Nutrition and Feeding of Fish**. Boston, MA: Springer US, 1998.
- LUGOWSKA, K.; KONDERA, E.; WITESKA, M. Leukocyte count in fish - Possible sources of discrepancy. **Bulletin of the European Association of Fish Pathologists**, v. 37, n. 3, p. 94–99, 2017.
- LUI, T. A.; DA SILVA, W. P.; NERVIS, J. A. L.; BRUM, J. M. D.; BITTENCOURT, F.; NEU, D. H.; BOSCOLO, W. R. Food restriction in Nile tilapia juveniles (*Oreochromis niloticus*). **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 18, n. 3, p. e0607, 29 dez. 2020.
- MACEDO-VIEGAS, E. M.; SOUZA, M. L. R. de; ZUANON, J. A. S.; FARIA, R. H. S. de. Rendimento e composição centesimal de filés in natura e pré-cozido em truta arco-íris, *Oncorhynchus mykiss* (Wallbaum). **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 24, p. 1191, 29 abr. 2002.
- MARQUEZE, A.; GARBINO, C. F.; TRAPP, M.; KUCHARSKI, L. C.; FAGUNDES, M.; FERREIRA, D.; KOAKOSKI, G.; ROSA, J. G. S. Protein and lipid metabolism adjustments in silver catfish (*Rhamdia quelen*) during different periods of fasting and refeeding. **Brazilian Journal of Biology**, v. 78, n. 3, p. 464–471, 30 out. 2017.
- MCCUE, M. D. Snakes survive starvation by employing supply- and demand-side economic strategies. **Zoology**, v. 110, n. 4, p. 318–327, set. 2007.
- MCCUE, M. D. Starvation physiology: Reviewing the different strategies animals use to survive a common challenge. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, v. 156, n. 1, p. 1–18, maio 2010.

- MELLO, H.D.; MORAES, J.R.; NIZA, I.G.; MORAES, F.R.D.; OZÓRIO, R.O.; SHIMADA, M.T.; ENGRÁCIA FILHO, J.R.; CLAUDIANO, G.S. Efeitos benéficos de probióticos no intestino de juvenis de Tilápia-do-Nilo. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 33, p. 724-730, 2013.
- MEIRA, A. S. F.; ALMEIDA, G. S. de; SILVA, L. I. P. da; FILHO, G. B. V.; BOIJINK, C. de L.; DAIRIKI, J. K. **Restrição Alimentar de Juvenis de Tambaqui**. [s.l: s.n.]v. 4315 p.
- MEURER, F.; HAYASHI, C.; BOSCOLO, W. R.; KAVATA, L. B.; LACERDA, C. H. F. Nível de arraçoamento para alevinos de lambari-do-rabo-amarelo (*Astyanax bimaculatus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 6, p. 1835–1840, dez. 2005.
- MILES MEDINA, K. J. B.; MAHADEV. **Sowing Seeds in the City**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2016.
- MOHANTA, K. N.; MOHANTY, S. N.; JENA, J. K.; SAHU, N. P. Protein requirement of silver barb, *Puntius gonionotus* fingerlings. **Aquaculture Nutrition**, v. 14, n. 2, p. 143–152, abr. 2008.
- MOHSENI, M.; POURKAZEMI, M.; BAHMANI, M.; FALAHATKAR, B.; POURALI, H. R.; SALEHPOUR, M. Effects of feeding rate and frequency on growth performance of yearling great sturgeon, *Huso huso*. **Journal of Applied Ichthyology**, v. 22, n. SUPPL. 1, p. 278–283, 2006.
- MOMMSEN, T. P. Paradigms of growth in fish. **Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology**, v. 129, n. 2–3, p. 207–219, jun. 2001.
- MOON, T. W. Metabolic reserves and enzyme activities with food deprivation in immature American eels, *Anguilla rostrata* (LeSueur). **Canadian Journal of Zoology**, v. 61, n. 4, p. 802–811, 1 abr. 1983.
- MORALES, A. E.; PÉREZ-JIMÉNEZ, A.; CARMEN HIDALGO, M.; ABELLÁN, E.; CARDENETE, G. Oxidative stress and antioxidant defenses after prolonged starvation in *Dentex dentex* liver. **Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology**, v. 139, n. 1–3, p. 153–161, out. 2004.
- MORGULIS, S. Changes in the weight and composition of fasting lobsters. **Journal of Biological Chemistry**, v. 24, n. 2, p. 137–146, fev. 1916.
- MORSHEDI, V.; KOCHANIAN, P.; BAHMANI, M.; YAZDANI-SADATI, M. A.; POURALI, H. R.; ASHOURI, G.; PASHA-ZANOOSI, H.; AZODI, M. Compensatory growth in sub-yearling Siberian sturgeon, *Acipenser baerii* Brandt, 1869: Effects of starvation and refeeding on growth, feed utilization and body composition. **Journal of Applied Ichthyology**, v. 29, n. 5, p. 978–983, out. 2013.
- MORSHEDI, V.; KOCHANIAN, P.; BAHMANI, M.; YAZDANI, M. A.; POURALI, H. R.; ASHOURI, G.; PASHA-ZANOOSI, H. Cyclical short-term starvation and refeeding provokes compensatory growth in sub-yearling Siberian sturgeon, *Acipenser baerii* Brandt, 1869. **Animal Feed Science and Technology**, v. 232, p. 207–214, out. 2017.
- MROSOVSKY, N.; SHERRY, D. F. Animal Anorexias. **Science**, v. 207, n. 4433, p. 837–842, 22 fev. 1980.

- MUÑOZ-GARCIA, A.; WILLIAMS, J. B. Basal Metabolic Rate in Carnivores Is Associated with Diet after Controlling for Phylogeny. **Physiological and Biochemical Zoology**, v. 78, n. 6, p. 1039–1056, nov. 2005.
- NAGY, K. A.; GIRARD, I. A.; BROWN, T. K. ENERGETICS OF FREE-RANGING MAMMALS, REPTILES, AND BIRDS. **Annual Review of Nutrition**, v. 19, n. 1, p. 247–277, jul. 1999.
- NAKANO, T.; KAMEDA, M.; SHOJI, Y.; HAYASHI, S.; YAMAGUCHI, T.; SATO, M. Effect of severe environmental thermal stress on redox state in salmon. **Redox Biology**, v. 2, n. 1, p. 772–776, 2014.
- NAKANO, T. et al. Effect of severe environmental thermal stress on redox state in salmon. **Redox Biology**, v. 2, n. 1, p. 772–776, 2014.
- NAVARRO, I.; GUTIÉRREZ, J. Chapter 17 Fasting and starvation. In: **Biochemistry and Molecular Biology of Fishes**. [s.l: s.n.]. v. 4p. 393–434.
- NEBO, C. Expressão de genes relacionados ao crescimento muscular durante a restrição alimentar e relacionamento em juvenis de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*. **Botucatu**, p. 94 , 2011.
- NEBO, C.; GIMBO, R. Y.; KOJIMA, J. T.; OVERTURF, K.; DAL-PAI-SILVA, M.; PORTELLA, M. C. Depletion of stored nutrients during fasting in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) juveniles. **Journal of Applied Aquaculture**, v. 30, n. 2, p. 157–173, 3 abr. 2018
- OCHI, H.; WESTERFIELD, M. Signaling networks that regulate muscle development: Lessons from zebrafish. **Development, Growth & Differentiation**, v. 49, n. 1, p. 1–11, 16 jan. 2007.
- OGAWA, M.; MAIA, E. L. **Manual de Pesca: Ciência e Tecnologia do Pescado**. 1. ed. São Paulo: Valera, 1999.
- OLIVEIRA, R. C. DE O panorama da aquicultura no Brasil: a prática com foco na sustentabilidade. **Revista Intertox de Toxicologia, Risco Ambiental e Sociedade**, v. 2, n. 1, p. 71–89, 31 maio 2009.
- OLIVEIRA, G. R.; GEMAQUE, T. C.; MELO, K. D. M.; SILVA, S. R.; OLIVEIRA, A. V. de; FREATO, T. A.; COSTA, D. P. Restrição alimentar na piscicultura: fisiologia, metabolismo e sustentabilidade. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 28224–28244, 2020..
- OLIVEIRA, M. O. DO. S.; DE BEM LUIZ, D. . DE S. M.; G.A. AND RODRIGUES VERDOLIN DOS SANTOS, V. Net cage tambaqui farming: microbiological quality, nutritional value and yield.. **Archivos de Zootecnia**. v. 65, n. 252, p. 581–584, 2016.
- OTTO, A.; PATEL, K. Signalling and the control of skeletal muscle size. **Experimental Cell Research**, v. 316, n. 18, p. 3059–3066, nov. 2010.
- PALMA, E. H. da; TAKAHASHI, L. S.; DIAS, L. T. S.; GIMBO, R. Y.; KOJIMA, J. T.; NICODEMO, D. Estratégia alimentar com ciclos de restrição e realimentação no desempenho produtivo de juvenis de tilápia do Nilo da linhagem GIFT. **Ciência Rural**, v. 40, n. 2, p. 391–396, fev. 2010.
- PASSINATO, É. B.; MAGALHÃES JUNIOR, F. O. de; CIPRIANO, F. D. S.; SOUZA, R. H. B.;

- LIMA, K. S. de; CHIAPETTI, J.; BRAGA, L. G. T. Performance and economic analysis of the production of Nile tilapia submitted to different feeding management. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 6Supl2, p. 4481, 16 dez. 2015.
- PATRUNO, M.; SIVIERI, S.; POLTRONIERI, C.; SACCHETTO, R.; MACCATROZZO, L.; MARTINELLO, T.; FUNKENSTEIN, B.; RADAELLI, G. Real-time polymerase chain reaction, in situ hybridization and immunohistochemical localization of insulin-like growth factor-I and myostatin during development of *Dicentrarchus labrax* (Pisces: Osteichthyes). **Cell and Tissue Research**, v. 331, n. 3, p. 643–658, 11 mar. 2008
- PAZ, A. DE L.; PASTRANA, Y. M.; BRANDÃO, L. V. Food deprivation does not affect growth performance of juvenile tambacu. **Acta Amazonica**, v. 48, n. 3, p. 207–210, set. 2018.
- PEIXE.BR. Associação Brasileira da Piscicultura. **Anuario 2023**, São Paulo: Peixe BRp. 65, 2023.
- POLAKOF, S.; ARJONA, F. J.; SANGIAO-ALVARELLOS, S.; MARTÍN DEL RÍO, M. P.; MANCERA, J. M.; SOENGAS, J. L. Food deprivation alters osmoregulatory and metabolic responses to salinity acclimation in gilthead sea bream *Sparus auratus*. **Journal of Comparative Physiology B**, v. 176, n. 5, p. 441–452, 24 jun. 2006.
- POWER, D. The effect of food deprivation and refeeding on the liver, thyroid hormones and transthyretin in sea bream. **Journal of Fish Biology**, v. 56, n. 2, p. 374–387, fev. 2000.
- RAKOCY, J. E.; MASSER, M. P.; LOSORDO, T. M. A randomized, placebo-controlled clinical trial on the efficacy of chiropractic therapy on premenstrual syndrome. **Journal of manipulative and physiological therapeutics**, v. 22, n. 9, p. 582–5, 1999.
- RANDALL, J. A.; BOLTAS KING, D. K. Assessment and defence of solitary kangaroo rats under risk of predation by snakes. **Animal Behaviour**, v. 61, n. 3, p. 579–587, mar. 2001.
- RANZANI-PAIVA, M. J. T. Características hematológicas de tainha *Mugil platanus* GUNTHER, 1880 (Osteichthyes, Mugilidae) da região Esturino-Lagunar de Cananéia-SP. **Boletim do instituto de pesca**, p. 22, 1995.
- RANZANI-PAIVA, M. J. T.; TAVARES-DIAS, M.; EGAMI, M. I. **Métodos para análise hematológica em peixes (Online)**. Maringá: EDUEM, 139 p, 2013.
- REGOST, C.; ARZEL, J.; CARDINAL, M.; LAROCHE, M.; KAUSHIK, S. J. Fat deposition and flesh quality in seawater reared, triploid brown trout (*Salmo trutta*) as affected by dietary fat levels and starvation. **Aquaculture**, v. 193, n. 3–4, p. 325–345, fev. 2001.
- REIGH, R. C.; WILLIAMS, M. B.; JACOB, B. J. Influence of repetitive periods of fasting and satiation feeding on growth and production characteristics of channel catfish, *Ictalurus punctatus*. **Aquaculture**, v. 254, n. 1–4, p. 506–516, abr. 2006.
- RICHE, M.; HALEY, D. I.; OETKER, M.; GARBRECHT, S.; GARLING, D. L. Effect of feeding frequency on gastric evacuation and the return of appetite in tilapia *Oreochromis niloticus* (L.). **Aquaculture**, v. 234, n. 1–4, p. 657–673, maio 2004.
- RIOS, F.S.A.; MORAES, G.; OBA, E.T.; FERNANDES, M.N.; DONATTI, L.; KALININ, A.L.; RANTIN, F.T. Mobilization and recovery of energy stores in traíra, *Hoplias malabaricus* Bloch (Teleostei, Erythrinidae) during long-term starvation and after re-feeding. **Journal of**

Comparative Physiology B 176, pg 721-728, 2006.

- RIOS, F.S., DONATTI, L., FERNANDES, M.N., KALININ, A.L., RANTIN, F.T. Liverhistopathology and accumulation of melano-macrophage centres in *Hoplias malabaricus* after long-term food deprivation and re-feeding. **Journal of fish biology**, v. 71, n. 5, p. 1393-1406, 2007.
- ROA, F. G. B. et al. Production performance of tambaqui juveniles subjected to short feed-deprivation and refeeding cycles. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 45, n. 4, p. 1–9, 3 dez. 2019.
- ROBERTS R.J.; ELLIS, A. E. The Anatomy and Physiology of Teleosts. In: ROBERTS, R. J.; BVMS (Eds.). **Fish Pathology**. 4 ed. UK: Wiley-Blackwell Publishing; p. 591, 2012
- ROCHA, E., MONTEIRO, R.A., PEREIRA, C.A. Microanatomical organization of hepatic stroma of the brown trout, *Salmo trutta fario* (Teleostei, Salmonidae): A qualitative and quantitative approach. **Journal of Morphology**, v. 223, n. 1, p. 1-11, 1995.
- ROCHA, E.; MONTEIRO, R.A.; PEREIRA, C.A. Liver of the brown trout, *Salmo trutta* (Teleostei, Salmonidae): a stereological study at light and electron microscopic levels. **The Anatomical Record: An Official Publication of the American Association of Anatomists**, v. 247, n. 3, p. 317-328, 1997.
- RODRÍGUEZ, L.; LANDINES, M. A. evaluación de la restricción alimenticia sobre el desempeño productivo y fisiológico en juveniles. **Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia** v. 58, n. iii, p. 141–155, 2011.
- ROWE, R. W. D.; GOLDSPIK, G. **Muscle fibre growth in five different muscles in both sexes of mice**. 104. ed. **Journal of anatomy** Great Britain, 1969.
- ROMBOUT, J.H. W.M.; BOT, H.E.; TAVERNE-THIELE, J.J. Immunological importance of the second gut segment of carp. II. Characterization of mucosal leucocytes. **Journal of Fish Biology**, v. 35, n. 2, p. 167-178, 1989.
- ROTTA, M.A. Aspectos gerais da fisiologia e estrutura do sistema digestivo dos peixes relacionados à piscicultura. **Embrapa Pantanal-Documentos (INFOTECA-E)**, 2003.
- RUOHONEN, K., KETTUNEN, J. AND KING, J. Experimental design in feeding experiments. In: JOBLING, D. H.; M., T. B. AND (Eds.). **Feed Intake in Fish**. Oxford, UK: Blackwell Scientific, 2001. p. 88–106.
- RUSSELL, P.M., DAVIES, S.J., GOUVEIA, A., TEKINAY, A.A. Influência da fonte de amido na morfologia hepática de juvenis de robalo (*Dicentrarchus labrax* L.). **Pesquisa em Aquicultura**, v. 32, p. 306-314, 2001.
- SACHECK, J. M.; OHTSUKA, A.; MCLARY, S. C.; GOLDBERG, A. L.. IGF-I stimulates muscle growth by suppressing protein breakdown and expression of atrophy-related ubiquitin ligases, atrogin-1 and MuRF1. **American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism**, v. 287, n. 4, p. E591–E601, out. 2004.
- SAINT-PAUL, U. Investigations on the seasonal changes in the chemical composition of liver and condition from a neotropical characoid fish *Colossoma macropomum* (Serrasalminidae).

- Amazoniana**, v. 9, n. 1, p. 147–158, 1984.
- SALARO, A. L.; LUZ, R. K.; NOGUEIRA, G. C. C. de B.; REIS, A.; SAKABE, R.; LAMBERTUCCI, D. M. Diferentes densidades de estocagem na produção de alevinos de trairão (*Hoplias cf. lacerdae*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n. 5, p. 1033–1036, out. 2003.
- SALWAY, J. G. **Metabolism at a Glance**. Maldeb: Blackwell Science, 1999.
- SANTOS, L., L.; PEREIRA FILHO, M.; SOBREIRA, C.; ITUASSÚ, D.; FONSECA, F. A. L. da. Exigência protéica de juvenis de tambaqui (*Colossoma macropomum*) após privação alimentar. **Acta Amazonica**, v. 40, n. 3, p. 597–604, set. 2010.
- SANTOS, R., R. F. DOS et al. Acute response of refeeding in tambaqui submitted to long-term fasting. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 22, p. 1–9, 2021.
- SANTOS, E. L.; SOARES, A. C. L.; TENÓRIO, O. L. D.; SOARES, E. C.; SILVA, T. J.; GUSMÃO JÚNIOR, L. F.; SANTOS, E. L. Desempenho de tambaquis (*Colossoma macropomum*) submetidos a restrição alimentar e a realimentação em tanques-rede. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 70, n. 3, p. 931–938, jun. 2018.
- SEIXAS FILHO, J.T.D.; FONSECA, C.C.; OLIVEIRA, M.G.D.A.; DONZELE, J.L.; MENIN, E. Determinação do sistema endócrino difuso nos intestinos de três Teleostei (piscis) de água doce com hábitos alimentares diferentes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, n. 5, p. 1403-1408, 2001.
- SEGNER, H.; DÖLLE, A.; BÖHM, R. Ketone Body Metabolism in the Carp *Cyprinus carpio*: Biochemical and ¹H NMR Spectroscopical Analysis. **Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology**, v. 116, n. 2, p. 257–262, fev. 1997.
- SHERIDAN, M. A.; MOMMSEN, T. P. Effects of nutritional state on in vivo lipid and carbohydrate metabolism of coho salmon, *Oncorhynchus kisutch*. **General and Comparative Endocrinology**, v. 81, n. 3, p. 473–483, mar. 1991.
- SIDONIO, L.; CAVALCANTI, I.; CAPANEMA, L.; MORCH, R.; MAGALHÃES, G.; LIMA, J.; BURNS, V.; ALVES, A. J.; CAVALCANTI, I.; BURNS, V. Biblioteca Digital Panorama da aquicultura no Brasil : desafios e oportunidades Panorama da aquicultura no Brasil : desafios e oportunidades. **Agroindústria**, BNDES Setorial 35, p. 421 – 463. 2012.
- SILVA, C. A. DA; FUJIMOTO, R. Y. Crescimento de tambaqui em resposta a densidade de estocagem em tanques-rede. **Acta Amazonica**, v. 45, n. 3, p. 323–332, set. 2015.
- SILVA, S. S. D.; GUNASEKERA, R. M.; AUSTIN, C. M. Changes in the fatty acid profiles of hybrid red tilapia, *Oreochromis mossambicus* X *O. niloticus*, subjected to short-term starvation, and a comparison with changes in seawater raised fish. **Aquaculture**, v. 153, n. 3–4, p. 273–290, jul. 1997.
- SILVA, W. DE S. E. et al. Effects of cyclical short-term fasting and refeeding on juvenile *Lophiosilurus alexandri*, a carnivorous Neotropical catfish. **Aquaculture**, v. 505, n. February, p. 12–17, abr. 2019.
- SIQUEIRA, T. V. Aquicultura: a Nova Fronteira para Aumentar a Produção Mundial de Forma

- Sustentável. **Revista do BNDES**, v. 25, n. 49, p. 119–170, 2018.
- SHARON, G.; ZILBERG, D. Atlas of fish histology and histopathology. **Central and Northern Arava Research and Development Centers**, v. 78, 2012.
- SKALSKI, G. T.; PICHA, M. E.; GILLIAM, J. F.; BORSKI, R. J. Variable intake, compensatory growth, and increased growth efficiency in fish: models and mechanisms. **Ecology**, v. 86, n. 6, p. 1452–1462, jun. 2005.
- SOUZA, V. L.; URBINATI, E. C.; GONÇALVES, D. C.; SILVA, P. C. Composição corporal e índices biométricos do pacu, *Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887 (Osteichthyes, Characidae) submetido a ciclos alternados de restrição alimentar e realimentação. **Acta Scientiarum - Biological and Health Sciences**, v. 24, n. 2, p. 533–540, 2002.
- SOUZA, V. L.; URBINATI, E. C.; MARTINS, M. I. E. G.; SILVA, P. C. Avaliação do crescimento e do custo da alimentação do pacu (*Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887) submetido a ciclos alternados de restrição alimentar e realimentação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n. 1, p. 19–28, fev. 2002b.
- STAPLES, J. F. Metabolic Flexibility: Hibernation, Torpor, and Estivation. In: **Comprehensive Physiology** v. 6p. 737–771, 2016.
- STEPHEN, GODDARD. Feed management in intensive aquaculture. New York - **Springer Science & Business Media**. v.149, 2012
- STIMPSON, J. H. Comparative aspects of the control of glycogen utilization in vertebrate liver. **Comparative Biochemistry and Physiology**, v. 15, n. 2, p. 187–197, jun. 1965.
- SUNDSTRÖM, L. F.; KASPERSSON, R.; NÄSLUND, J.; JOHNSON, J. I. Density-Dependent Compensatory Growth in Brown Trout (*Salmo trutta*) in Nature. **Plos one**, v. 8, n. 5, p. e63287, 3 maio 2013.
- TAKAHASHI, L. S.; BILLER, J. D.; CRISCUOLO-URBINATI, E.; URBINATI, E. C. Feeding strategy with alternate fasting and refeeding: effects on farmed pacu production. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 95, n. 2, p. 259–266, abr. 2010.
- TAKASHIMA, F.; HIBIYA, T. An atlas of fish histology: normal and pathological features. 2ed. Lubrecht & Cramer Ltd. Publisher, Port Jervis, Ny, USA, 1995.
- TIAN, X.; QIN, J. G. A single phase of food deprivation provoked compensatory growth in barramundi *Lates calcarifer*. **Aquaculture**, v. 224, n. 1–4, p. 169–179, jun. 2003.
- URBINATI, E. C.; SARMIENTO, S. J.; TAKAHASHI, L. S. Short-term cycles of feed deprivation and refeeding promote full compensatory growth in the Amazon fish matrinxã (*Brycon amazonicus*). **Aquaculture**, v. 433, p. 430–433, set. 2014.
- VEGETTI, A.; MASCARELLO, F.; SCAPOLO, P. A.; ROWLERSON, A.; CARNEVALI, M. D. C. Muscle growth and myosin isoform transitions during development of a small teleost fish, *Poecilia reticulata* (Peters) (*Atheriniformes, Poeciliidae*): a histochemical, immunohistochemical, ultrastructural and morphometric study. **Anatomy and Embryology**, v. 187, n. 4, p. 353–361, abr. 1993.
- WAAGBØ, R.; JØRGENSEN, S. M.; TIMMERHAUS, G.; BRECK, O.; OLSVIK, P. A. Short-

term starvation at low temperature prior to harvest does not impact the health and acute stress response of adult Atlantic salmon. **PeerJ**, v. 5, n. 4, p. e3273, 27 abr. 2017..

- WAGNER, T.; CONGLETON, J. L. Blood chemistry correlates of nutritional condition, tissue damage, and stress in migrating juvenile chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 61, n. 7, p. 1066–1074, 1 jul. 2004.
- WALENCIK, J.; WITESKA, M. The effects of anticoagulants on hematological indices and blood cell morphology of common carp (*Cyprinus carpio* L.). **Comparative Biochemistry and Physiology - C Toxicology and Pharmacology**, v. 146, n. 3, p. 331–335, 2007.
- WANG, Y.; CUI, Y.; YANG, Y.; CAI, F. Compensatory growth in hybrid tilapia, *Oreochromis mossambicus* × *O. niloticus*, reared in seawater. **Aquaculture**, v. 189, n. 1–2, p. 101–108, set. 2000.
- WANG, Y.; CUI, Y.; YANG, Y.; CAI, F. Partial compensatory growth in hybrid tilapia *Oreochromis mossambicus* × *O. niloticus* following food deprivation. **Journal of Applied Ichthyology**, v. 21, n. 5, p. 389–393, 2005.
- WEATHERLEY, A. H.; GILL, H. S. Recovery growth following periods of restricted rations and starvation in rainbow trout *Salmo gairdneri* Richardson. **Journal of Fish Biology**, v. 18, n. 2, p. 195–208, fev. 1981.
- WEATHERLEY, A. H.; GILL, H. S. Dynamics of increase in muscle fibers in fishes in relation to size and growth. **Experientia**, v. 41, n. 3, p. 353–354, mar. 1985.
- WIESER, W.; KRUMSCHNABEL, G.; OJWANG-OKWOR, J. P. The energetics of starvation and growth after refeeding in juveniles of three cyprinid species. **Environmental Biology of Fishes**, v. 33, n. 1–2, p. 63–71, jan. 1992.
- WON, E. T.; BALTZEGAR, D. A.; PICHA, M. E.; BORSKI, R. J. Cloning and characterization of leptin in a Perciform fish, the striped bass (*Morone saxatilis*): Control of feeding and regulation by nutritional state. **General and Comparative Endocrinology**, v. 178, n. 1, p. 98–107, ago. 2012.
- WON, E. T.; BORSKI, R. J. Endocrine Regulation of Compensatory Growth in Fish. **Frontiers in Endocrinology**, v. 4, n. JUL, p. 1–13, 2013.
- WOOD, C. M.; GONZALEZ, R. J.; FERREIRA, M. S.; BRAZ-MOTA, S.; VAL, A. L. The physiology of the Tambaqui (*Colossoma macropomum*) at pH 8.0. **Journal of Comparative Physiology B**, v. 188, n. 3, p. 393–408, 30 maio 2018.
- WOYNÁROVICH, A. AND VAN ANROOY, R.. Field guide to the culture of tambaqui (*Colossoma macropomum*, Cuvier, 1816). **FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper** No. 624. Rome, FAO.132 pp, 2019.
- WU, B. J.; HULBERT, A. J.; STORLIEN, L. H.; ELSE, P. L. Membrane lipids and sodium pumps of cattle and crocodiles: an experimental test of the membrane pacemaker theory of metabolism. **American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology**, v. 287, n. 3, p. R633–R641, set. 2004.
- XIAO, J.-X.; ZHOU, F.; YIN, N.; ZHOU, J.; GAO, S.; LI, H.; SHAO, Q.-J.; XU, J. Compensatory

growth of juvenile black sea bream, *Acanthopagrus schlegelii* with cyclical feed deprivation and refeeding. **Aquaculture Research**, v. 44, n. 7, p. 1045–1057, jun. 2013.

YILMAZ, E.; ARIK, R. O.; ARI, B.; YILMAZ, A.; GÖK, A. The investigation of the effects of different feeding strategies on the growth of dolphin cichlid (*Cyrtocara moori* Boulenger, 1902) fish. **Aquaculture Research**, v. 49, n. 9, p. 3004–3010, set. 2018.

ZAHANGIR, M. M.; HAQUE, F.; MOSTAKIM, G. M.; ISLAM, M. S. Secondary stress responses of zebrafish to different pH: Evaluation in a seasonal manner. **Aquaculture Reports**, v. 2, n. September, p. 91–96, nov. 2015.

CAPITULO 2

Restrição alimentar parcial em juvenis de *Colossoma macropomum* em sistema de aquicultura de recirculação de água (SRA): efeitos sobre o desempenho zootécnico, a saúde, a composição bromatológica e o processamento da carcaça

O artigo a seguir está redigido de acordo com as exigências para publicação no periódico **Aquaculture**

Restrição alimentar parcial em juvenis de *Colossoma macropomum* em sistema de aquicultura de recirculação (RAS): efeitos sobre o desempenho zootécnico, a saúde, a composição bromatológica e o processamento da carcaça.

Thiago Santana Cotrim ^a, Ruy Alberto Caetano Corrêa Filho ^a

^a Universidade Federal de Mato Grosso do Sul — Laboratório de Aquicultura (AQUIMS), Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Avenida Senador Filinto Müller, 2443, 79074-460 Campo Grande, MS, Brasil.

Autor correspondente:

Me. Thiago Santana Cotrim.

Email : thiago.cotrim@ifmt.edu.br

Título resumido: Efeitos da restrição alimentar parcial em juvenis de Tambaqui *Colossoma macropomum* cultivado em SRA.

Resumo

A restrição alimentar é uma prática utilizada na produção de peixes com o objetivo de otimizar o desempenho produtivo e reduzir os custos de produção. No entanto, os efeitos da restrição alimentar parcial, ainda não foram completamente elucidados. Portanto, objetivou-se no presente estudo avaliar se a restrição alimentar parcial afeta as características de desempenho zootécnico, de saúde, qualidade de processamento da carcaça e composição bromatológica de tambaquis (*Colossoma macropomum*), ao final do período de restrição, e do período de realimentação. No início do experimento, os peixes apresentaram peso e comprimento padrão médio de $168,7 \text{ g} \pm 9,40 \text{ g}$ e $16,81 \text{ cm} \pm 0,40 \text{ cm}$, respectivamente, e foram alojados por 112 dias em um sistema de recirculação de água (SRA). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com três grupos experimentais de manejo alimentar: grupo controle (sem restrição), restrição parcial 1 (RP1) e restrição parcial 2 (RP2) e 6 repetições. A taxa de alimentação durante 28 dias iniciais em cada grupo experimental foi: Controle com 3,5% do peso vivo; restrição parcial 1 (RP1) com 1% do peso vivo; e restrição parcial 2 (RP2) com 0,5% do peso vivo. Os peixes de todos os grupos experimentais foram depois submetidos a taxa de alimentação de 3% do peso vivo por 56 dias e, em seguida, de 2,5% do peso vivo por mais 28 dias. As biometrias foram realizadas em cinco momentos (dia 0, 28, 56, 84, 112), as amostras sanguíneas e os índices hepatossomático e de gordura visceral foram coletadas em três momentos (Dia 0, 28, 112). Aos 28 dias, os grupos submetidos à restrição alimentar apresentaram pior desempenho produtivo ($P < 0,05$); menores ($P < 0,05$) níveis de colesterol e triglicérido; menores ($P < 0,05$) índices hepatossomáticos e de gorduravisceral em relação ao grupo controle, sem no entanto, alterar as variáveis sanguíneas. Ainda aos 28 dias, ocorreram valores menores de matéria mineral e proteína bruta e maiores de extrato etéreo e energia bruta nos grupos RP1 e RP2 em relação ao Controle. Após 56 dias de experimentação, os animais submetidos à restrição alimentar mostraram maior eficiência no ganho de peso e na conversão alimentar, porém seu peso final ainda foi inferior ao grupo controle. No dia 84, somente o grupo RP2 apresentou diferenças significativas em relação ao grupo controle, exibindo pior desempenho em peso final, comprimento total e comprimento padrão. O desempenho produtivo nas duas estratégias de restrição foi recuperado em 112 dias, independentemente da estratégia utilizada nos primeiros 28 dias. As variáveis bioquímicas, índices hepatossomáticos, gordura visceral e composição bromatológica também não indicaram diferenças aos 112 dias. Também, neste momento, não houve alterações nas variáveis de rendimento corporal e hematológicas. Ao considerar a biomassa total, observou-se que a restrição menos severa (1% do PV) alcançou resultados semelhantes ao grupo controle mais rapidamente (momento dia 84) em comparação com a restrição mais severa (0,5% do PV; momento dia 112). Conclui-se que a redução da alimentação de 3,5% até 0,5% durante 28 dias (equivalente a uma redução de 85,7%) é uma estratégia viável e interessante em vários aspectos para juvenis de *C. macropomum*, não comprometendo sua produção, desde que seja seguido um período de recuperação de 84 dias.

Palavras-chave: Crescimento Compensatório, Parâmetros sanguíneos, Peixes tropicais, Manejo alimentar

1 — Introdução

Uma alimentação mais eficiente, com menor desperdício de alimento, é importante para uma melhor produtividade e maior sustentabilidade da piscicultura. Um bom manejo alimentar deve primar pelo o cuidado ambiental e pelo bem-estar dos peixes (Assis et al., 2020; HLPE, 2017; Lovell, 1998; Oliveira, 2009). Diversas espécies de peixes têm em seu ciclo biológico a capacidade de jejuar, lidar com flutuações na disponibilidade de alimento e “armazenar” seu potencial de crescimento para quando as condições de fornecimento forem mais favoráveis, podendo sobreviver após longos períodos de jejum ou de baixa oferta de alimento (Ali et al., 2003; López-Olmeda et al., 2012; McCue, 2010). Isso é comprovado por várias pesquisas, incluindo estudos conduzidos por diferentes autores: Por exemplo, Chappaz et al. (1996) realizaram pesquisas com a Truta marrom (*Salmo trutta*), Dave et al. (1975) estudaram a enguia europeia (*Anguilla anguilla* L. - l), Hernandez et al. (2019) investigaram o pargo-rosa pintado (*Lutjanus guttatus*), Marqueze et al. (2017) trabalharam com o jundia (*Rhamdia quelen*) e Assis et al. (2020) examinaram o Tambaqui (*Colossoma Macropumum*).

Aliar a capacidade natural dos peixes em se manter em condições de ausência ou escassez de alimentos às práticas de manejo alimentar em sistema de cultivo pode ser uma alternativa interessante do ponto de vista econômico e ambiental. Desta forma, a restrição alimentar seguida de realimentação apresenta-se em muitos casos como uma técnica de manejo alimentar interessante, que pode induzir crescimento compensatório, levando a um crescimento acelerado após um período de restrição alimentar seguido de realimentação, trazendo benefícios econômicos e melhorias na qualidade da água, no desempenho, saúde e bem-estar dos peixes (Ali et al., 2003, 2016; Camargo et al., 2008; Hornick et al., 2000; Lovell, 1998; McCue, 2012; Santos

et al., 2018; Souza et al., 2002; Waagbø et al., 2017). O desenvolvimento de protocolos de manejo alimentar equilibrados para cada espécie em cada fase de produção é importante, uma vez que as regulações dos fatores de crescimento dos peixes variam de acordo com diferentes situações, incluindo estágio de crescimento, condições ambientais, nutricionais, comportamento natatório, e tamanho final de abate ou dos animais adultos (Ali et al., 2003; Furné et al., 2005; Gokcek et al., 2007; Mozanzadeh et al., 2021; Patruno et al., 2008; Santos, R. et al., 2021; Won e Borski, 2013).

Uma espécie importante para a piscicultura brasileira e para a América do Sul é o *Colossoma macropomum* (tambaqui), sendo caracterizado pelo hábito alimentar onívoro, boa adaptação a diferentes sistemas de produção (Hilsdorf et al., 2022; Valenti et al., 2021; Valladão et al., 2018; Wood et al., 2018; Woynárovich e Van Anrooy, 2019), facilidade em utilizar as reservas corporais de gordura, as quais podem ser utilizadas como fonte de energia em momentos de escassez alimentar (Dairik e Silva, 2011; Goulding e Carvalho, 1982), e pelo ótimo potencial de mercado, podendo se tornar uma commodity internacional (Doria et al., 2012; Hilsdorf et al., 2022). Embora, normalmente produzido em tanques escavados com menor nível tecnológico, tem-se estimulado o desenvolvimento de metodologias da intensificação da criação para se obter melhores resultados no desempenho de *C. macropomum* (Silva & Fujimoto, 2015), como, por exemplo, o uso do sistema de aquicultura recirculante (SRA), que permite reduzir o lançamento de efluentes gerados, controlar os parâmetros de qualidade de água para a espécie e expandir as áreas de cultivo para qualquer local (Assis et al., 2020; Lima et al., 2019; Melo et al., 2001). Entre os produtores, acredita-se que o tambaqui possa se adaptar bem aos sistemas e regimes intensivos de produção e ter boa capacidade de jejuar, com possíveis ganhos

compensatórios após o período de restrição.

Grande parte dos estudos sobre crescimento compensatório se concentrou na duração da privação alimentar e na hiperfagia após a restrição alimentar, especialmente em espécies de água fria (Ali et al., 2016). Entretanto é necessário mais estudos sobre as respostas de peixes tropicais à privação alimentar e sobre crescimento compensatório após a restrição alimentar (Abdel Tawwab et al., 2006; Assis et al., 2020; Ituassú et al., 2004; Santos et al., 2018); especialmente em espécies submetidas a diferentes protocolos de manejo alimentar e sistemas de produção (Botelho et al., 2018). As técnicas de manejo alimentar restrição e realimentação podem ter impactos significativos no desempenho zootécnico, na saúde, no funcionamento ótimo dos órgãos, nos parâmetros sanguíneos, (Abdel Tawwab et al., 2006; Ahmad Dar et al., 2018; Ali et al., 2003; Favero et al., 2018; Furné et al., 2012; Gimbo et al., 2015; Johansson et al., 2016; Marqueze et al., 2017; Oliveira et al., 2020; Ranzani-Paiva et al., 2003; Rodrigues et al., 2021; Santos, R. et al., 2021) e na composição química centesimal do produto final (Botelho et al., 2018; Ituassú et al., 2004; Roa et al., 2019; Rodrigues et al., 2021).

Informações acerca das características produtivas e da fisiologia de peixes tropicais, como o tambaqui, submetidos à restrição alimentar parcial podem contribuir para a compreensão da aplicabilidade de diferentes manejos alimentares em diversos sistemas e regimes de produção. Portanto, objetivou-se neste estudo avaliar se a restrição alimentar parcial afeta as características de desempenho zootécnico, hematológicas, bioquímicas, bromatológicas e de processamento da carcaça de tambaquis (*Colossoma macropomum*), ao final do período de restrição e do período de realimentação. Além disso, buscou-se verificar se os manejos alimentares testados resultam em um crescimento compensatório após a realimentação.

2 — Material e Métodos

2.1 — Local experimental e material biológico

O estudo foi realizado na estação experimental de Piscicultura Instituto Federal de Mato Grosso, Campus Avançado Guarantã do Norte, Mato Grosso, Brasil, sob aprovação do Comitê de Ética e Bem-Estar Animal Comitê da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (protocolo nº 1.183/2021). O total de 576 juvenis de *C. macropomum* ($168,7 \text{ g} \pm 9,40 \text{ g}$ e $16,81 \text{ cm} \pm 0,40 \text{ cm}$) foram obtidos de uma piscicultura comercial, e distribuídos aleatoriamente em 18 tanques circulares de PVC com 1000 litros de volume, semelhantes entre si, com renovação de água $1 \text{ m}^3/\text{hora}$ em sistema de recirculação de água (SRA), composto por filtros mecânicos e biológicos, com aeração do tipo venturi e aquecedor automático Hidrohot com potência de 10 KW (Figura 1).

As características da água de cultivo foram monitorados diariamente durante todo o período experimental, sendo utilizado um multiparâmetro modelo Akso-AK87 e mantendo as níveis de boa tolerância para a espécie (Araújo-Lima e Gomes, 2010): a temperatura da água (entre 26 e 30 °C), o nível de oxigênio (entre 5,3 e 7,69 mg L⁻¹), o pH (entre 6,5 e 7,0). Os níveis de amônia (entre 0,14 e 0,62 mg L⁻¹), de nitrito (entre 0,10 e 0,42 mg L⁻¹), de dureza (entre 85,87 e 92,01 mg L⁻¹), de alcalinidade total (entre 59,96 e 68,74 mg L⁻¹) e de gás carbônico (entre 2,31 e 4,87 mg L⁻¹) foram medidos semanalmente usando um teste colorimétrico acquasupre® (www.acquasupre.com.br). O fotoperíodo foi mantido com 12 h com iluminação e 12 h sem iluminação.

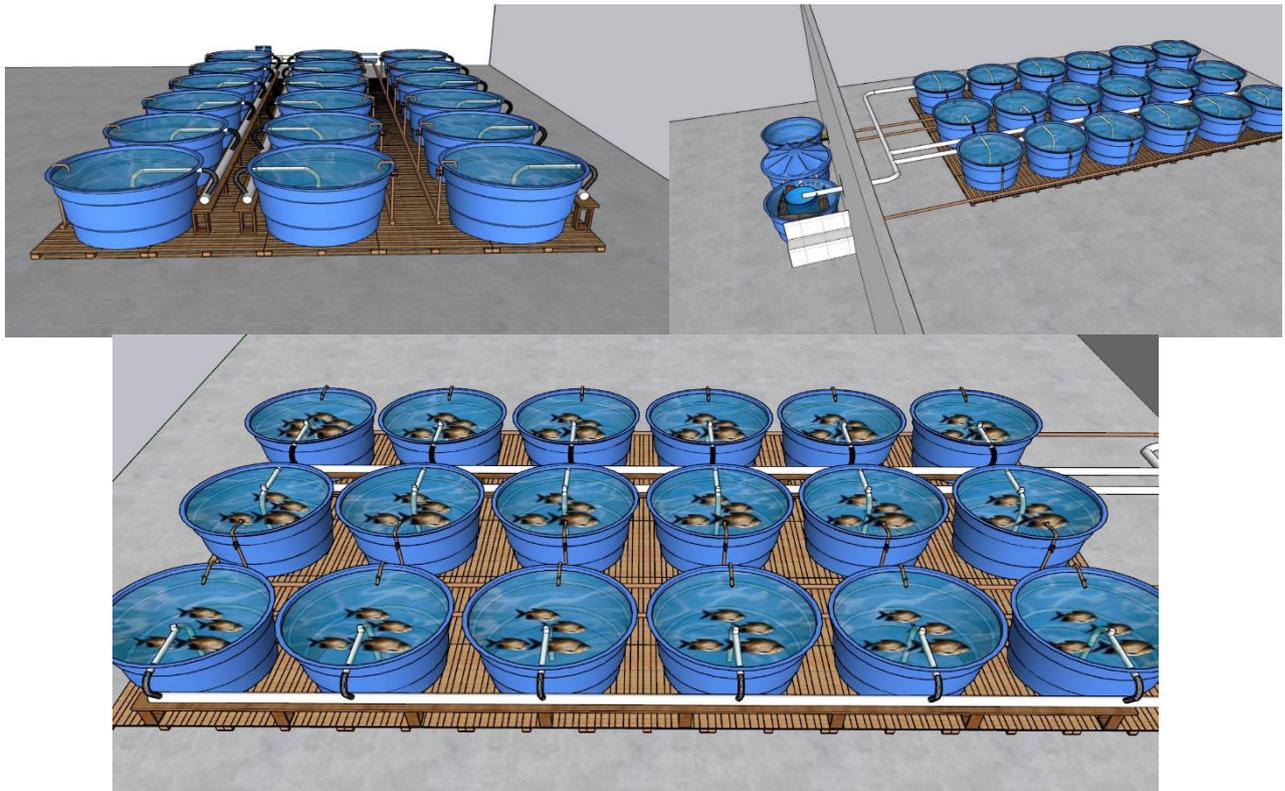


Figura 1- Croqui do sistema de recirculação de água utilizado na pesquisa, sendo composto por 18 tanques circulares e um sistema de filtragem único.

Durante o período de adaptação de 15 dias às condições experimentais até o dia 0, a densidade de estocagem foi de 32 animais por caixa. Do dia 0 até o dia 28, a densidade foi de 29 animais por caixa, e do dia 28 até o final do experimento (112 dias), foi de 26 animais por caixa. Durante o experimento, houve uma redução na densidade de estocagem devido à necessidade de se amostrar peixes para realizar as análises bromatológicas da carcaça, análise de sangue e de órgãos.

2.2 — Alimentação e restrição alimentar

Três grupos experimentais foram avaliados (Figura 2), sendo estes caracterizados por três diferentes manejos alimentares até os 28 dias, definido como período 1: Grupo Controle (GC) com alimentação na quantidade de 3,5% do peso vivo (pv); restrição parcial 1 (RP1) com alimentação na quantidade de 1% do peso vivo (pv); e restrição parcial 2 (RP2) com alimentação na quantidade de 0,5% do peso vivo (pv). Na sequência, no período 2, os peixes de todos os grupos experimentais foram submetidos à taxa de alimentação de 3% do peso vivo por 56 dias e, e por fim no período 3, os peixes de todos os grupos experimentais foram submetidos à taxa de alimentação de 2,5% do peso vivo por mais 28 dias, totalizando 112 dias de

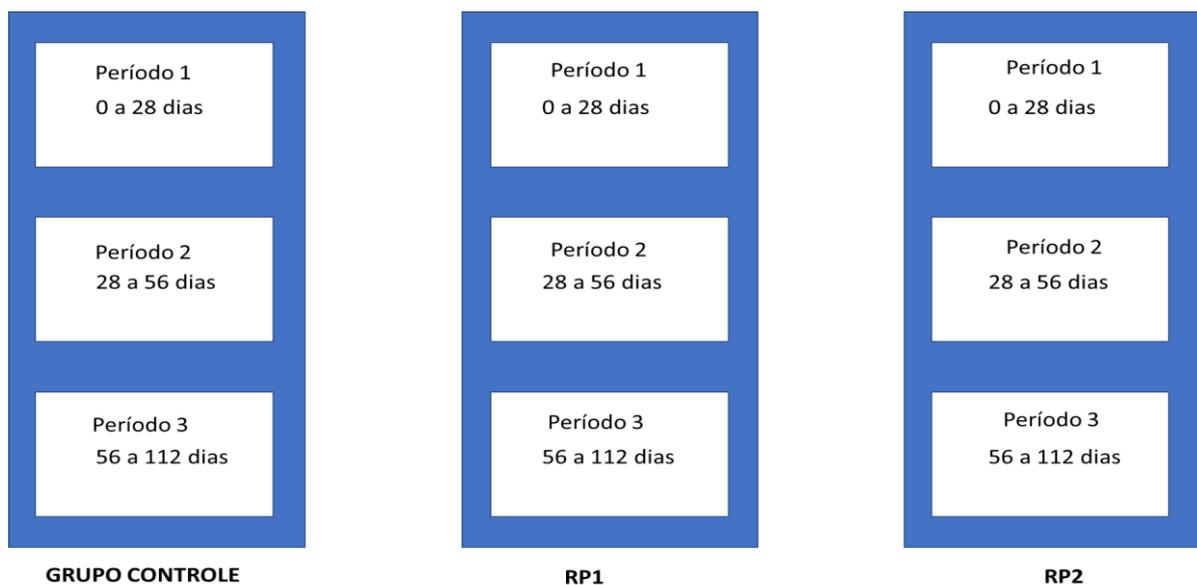


Figura 2 - Arranjo dos manejos alimentares, de acordo com os grupos Experimentais, utilizados durante os diferentes períodos ao longo do experimento.

experimentação.

Em todos os grupos, os animais foram alimentados três vezes ao dia (08h00, 12h00 e 17h00) utilizando uma dieta comercial extrusada (4 mm de diâmetro, Grupo Socil/Evalis®, com a seguinte composição proximal: 32% de proteína bruta; 7% de extrato etéreo; 10% de fibra bruta, 14% de cinzas; 3% de cálcio; 0,6% de fósforo;

13%umidade; 1% de cálcio e 1,5% Vitamina C .

Para contabilizar as sobras de ração, adotou-se o seguinte procedimento: 30 minutos após o fornecimento da ração, as sobras foram retiradas das unidades experimentais, posteriormente secas em estufa de ventilação forçada de ar, por aproximadamente 4 horas e pesadas. Um estudo piloto revelou que este procedimento possibilitaria a ração voltar as condições de umidade original (iniciais).

2.3 — Avaliação do desempenho produtivo

As biometrias foram realizadas nos seguintes momentos: Dia 0, 28, 56, 84 e 112 de experimentação (Figura 3). Nas biometrias, realizou-se a contagem e a pesagem de todos os peixes de cada tanque, utilizando-se uma balança digital (0,01g), a fim de se obter a biomassa total (kg). Em seguida, foi realizada uma amostragem (n=16 animais/tanque) de exemplares com peso corporal próximo à média do tanque ($\pm 15\%$ do pv) para pesagem e a avaliação das médias de comprimento individual realizada com um ictiômetro (cm). Dos 16 animais amostrados em cada tanque, foram retirados três peixes por unidade experimental, totalizando 18 peixes por grupo experimental e biometria, os quais foram anestesiados em eugenol na concentração de 50 mg/L (diluição em etanol de 1:20) por 10 minutos e, em seguida foram eutanasiados, para coleta do fígado, intestino, gordura visceral, sangue e bandas da carcaça.

Em cada biometria do experimento, foram avaliadas as seguintes variáveis de desempenho:

- Fator de condição (K) = Wt/Lt^b (fator de condição alométrico), onde Wt = peso total; Lt = comprimento total; b = coeficiente angular da regressão entre Wt e Lt
- Comprimento total (cm)= medido entre a extremidade anterior da cabeça e a

extremidade da nadadeira caudal, em cm;

- Comprimento padrão (cm) = (medido entre a extremidade anterior da cabeça e a extremidade posterior da última vértebra, em cm);
- Ganho em peso (g) = (peso final em g - peso inicial em g);
- Conversão alimentar aparente considerando sobras de ração = Quantidade média por peixe de ração fornecida durante o período no tanque / (Peso médio final do tanque - Peso médio inicial do tanque).
- Conversão alimentar aparente excluindo sobras de ração = Quantidade média por peixe de ração fornecida durante o período no tanque – sobra média por peixe de ração / (Peso médio final da caixa - Peso médio inicial da caixa).
- Taxa de crescimento específico (%) = $100 \times [(\ln \text{ peso final médio}) - (\ln \text{ peso inicial médio})] / \text{período experimentais}$.
- Taxa de sobrevivência (%) = (número de peixes no final de cada momento / total de peixes no início de cada momento) $\times 100$.



Figura 3- Avaliação biométrica de tambaquis (*Colosoma Macropumum*)

2.4 — Análise hematológica e bioquímicas do sangue

As análises bioquímicas do sangue e hematológicas foram realizadas no Laboratório da Universidade Federal de Mato Grosso *Campus Sinop*. Para as análises, coletou-se amostras de sangue de 18 animais de cada grupo Experimental

(n=3 peixes por caixa), em cada biometria (0, 28 e 112 dias) a partir da punção do vaso caudal seguindo as recomendações de Ranzani-Paiva et al., (2003). As seringas utilizadas foram previamente tratadas com o anticoagulante EDTA (ethylenediaminetetraacetic acid). As primeiras gotas de sangue foram utilizadas na confecção de extensões sanguíneas em lâminas, as quais foram coradas segundo o método Romanowsky (Romanovsky, 1891), as análises de contagem para a determinação do hematócrito (%) e a hemoglobina (g/dL) e para o cálculo dos índices hematimétricos volume corpuscular médio (VCM) por fentolitro (fL), hemoglobina corpuscular média (HCM) por picogramas (pg^{-1}), concentração de hemoglobina corpuscular (CHCM) média em gramas por decilitro (g/dL).



Figura 4 - Procedimentos para análises hematológicas: Coleta de sangue de tambaqui (*Colosoma macropomum*), extensão sanguínea em lâmina e glicosimento portátil.

O restante do sangue coletado foi acondicionado em microtubos, centrifugados (4000 rpm durante 15 minutos) para a obtenção do plasma, que foi utilizado para quantificação dos níveis plasmáticos colesterol total (mg dL^{-1}), triglicerídeos (mg dL^{-1}) e glicose (mg dL^{-1}). Para a análise de glicose plasmática (mg/dL^{-1}) utilizou-se uma

pequena alíquota de sangue para leitura no glicosímetro portátil (GicolseP) (Accu-chek®). Uma parte de cada amostra de sangue foi utilizada para determinar o hematócrito, seguindo o método descrito por Goldenfarb et al. (1971).

2.5 — Avaliações das características bromatológicas e de processamento das carcaças

As bandas das carcaças dos animais eutanasiados, foram coletadas, identificadas e congeladas retirada a pele e as espinhas, para para posterior realização das análises bromatológicas. Todas as análises da composição centesimal foram realizadas segundo o método de Weende conforme a A.O.A.C (2005). Os índices hepatossomático e de gordura visceral foram calculados da seguinte forma :

Índice hepatossomático = $[(\text{peso do fígado(g)} / \text{peso corporal(g)}) \times 100]$; Índice de gordura visceral = $[(\text{peso da gordura visceral(g)} / \text{peso corporal(g)}) \times 100]$.

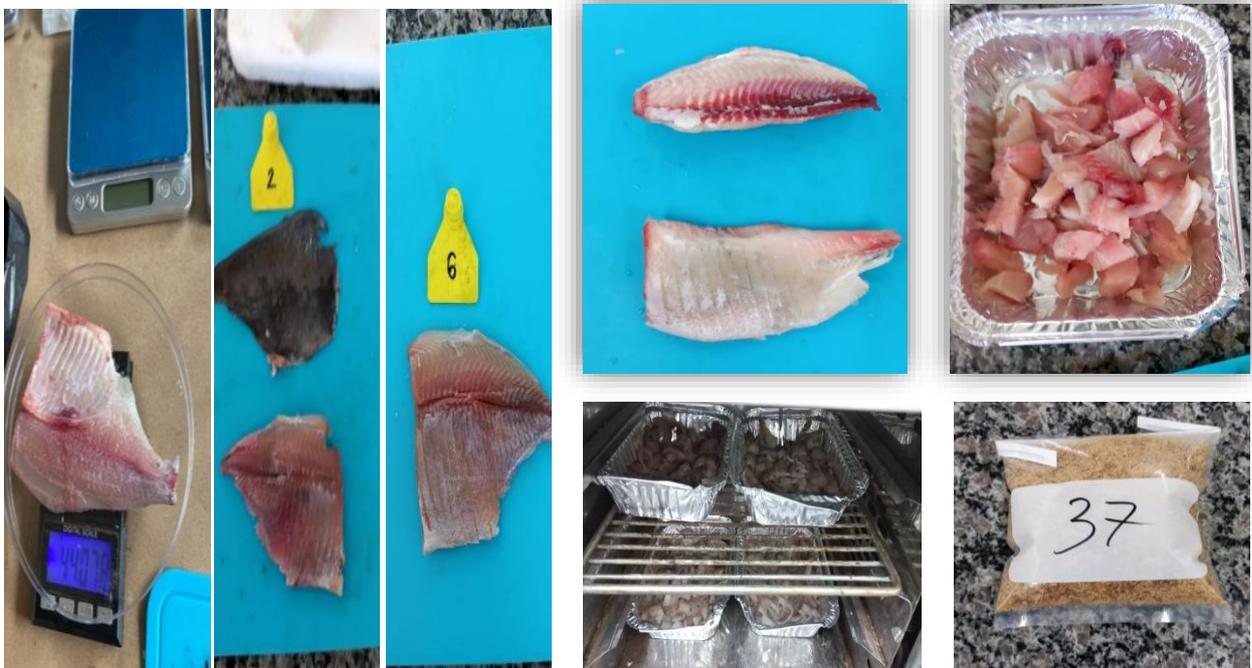


Figura 5 - Material para avaliação de processamento de rendimento e bromatológico: Pesagem da amostra, retirada da pele, fragmentação da amostra, secagem em estufa ,amostra seca e triturada.

2.6 — Análise Estatística

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com 3 grupos experimentais (Grupo Controle, RP1 e RP2) e 6 repetições, considerando-se os tanques de cultivo de 1m³ como a unidade experimental.

As variáveis dependentes foram submetidas aos testes de normalidade de Shapiro-Wilk e de Levene para normalidade e homogeneidade de variâncias respectivamente. Em seguida, procedeu-se a análise de variância com uma variável independente (Anova - One Way), seguida do Teste t de Student. Todas as análises foram feitas seguindo as recomendações de Zar (2010) e utilizando o Sistema de Análise Estatística SAS (2013). O nível de significância utilizado em todos os testes estatísticos foi de 0,05.

3 — Resultados

Durante o experimento, não foram registrados casos de mortalidade em nenhum dos grupos experimentais. Após o período de adaptação de 15 dias às instalações experimentais, o grupo controle e os demais grupos experimentais iniciaram o período experimental no Dia 0 em iguais condições sem diferenças significativas ($P > 0,05$) para todas as características de desempenho produtivo, parâmetros sanguíneos, bromatologia da carcaça, de processamento e índices hepatossimático e gordura visceral.

3.1 — Desempenho produtivo

A restrição alimentar parcial por 28 dias afetou o desempenho produtivo dos peixes para Biomassa total (BT), peso final (Pf), GBT (ganho de biomassa total) GBD (ganho de biomassa diário) ($P < 0,05$), exceto para conversão alimentar aparente (CAA

com e sem sobras) que não apresentou diferença entre os grupos experimentais ($P > 0,05$) (Tabela 1). Aos 28 dias, peso final (Pf) dos grupos RP1 e RP2 diferiram do grupo controle, mas não entre si. Para as variáveis GBT e GBD o melhor resultado foi para o grupo controle e o pior para o grupo RP2. Assim, 28 dias de restrição alimentar parcial com taxa de alimentação de 1% e 0,5% do pv reduziu o crescimento dos animais, mas não afetou a CAA.

Aos 56 dias, também foi observada, diferenças significativas ($P < 0,05$) entre os grupos para todas as características de desempenho em crescimento. Os grupos experimentais com restrição, não diferiram significativamente entre si ($P > 0,05$) para as variáveis GBT, GPD e CAA, mas foram inferiores ao grupo controle. Entretanto, a CAA (com e sem sobras) dos peixes em regime de restrição alimentar foi superior ao grupo sem restrição (controle) ($P < 0,05$) e estatisticamente similares entre si ($P > 0,05$).

Aos 84 dias, o grupo RP1 não diferiu significativamente do grupo RP2 e do grupo controle para as variáveis BT e Pf ($P > 0,05$), mas o grupo controle diferiu-se do grupo RP2 ($P < 0,05$). Nas variáveis GBT e GTD não houve diferenças significativas ($P > 0,05$) entre os grupos experimentais. Durante esse período, os animais sob restrição alimentar se mantiveram com melhor eficiência na CAA e em relação ao ganho de biomassa total (GBT) aos 84 dias (Tabela 1).

No dia 112, o RP1 não diferiu de RP2 e do Grupo Controle para variáveis BT e Pf ($P > 0,05$), mas o Grupo Controle diferiu-se do grupo RP2 ($P < 0,05$). Para as variáveis GBT, GPD e para CAA não foram observadas diferenças significativas ($P > 0,05$) entre os grupos (Tabela 1).

Tabela 1

Desempenho produtivo de tambaquis (*Colossoma macroporum*) submetidos a diferentes regimes de alimentação (Biomassa Total).

Características ⁽¹⁾	Grupos ⁽²⁾			CV(%) ⁽³⁾	Valor-P ⁽⁴⁾
	C	RP1	RP2		
Avaliação — Dia 0					
BT (g)	4953,90a	4843,42a	4883,75a	5,57	0,7803
Pi (g)	170,82a	167,00a	168,40a	5,57	0,7798
Avaliação — Dia 28					
BT (g)	7062,50a	5541,67b	5230,92b	6,06	<,0001
Pf (g)	243,55a	191,10b	180,37b	6,06	<,0001
GBT (g)	2108,60a	698,25b	347,17c	22,04	<,0001
GBD (g/dia)	75,32a	24,95b	12,42c	22,04	<,0001
CAAss	2,08a	1,88a	1,89a	28,18	0,7812
CAAcS	2,52a	2,01a	2,28a	34,37	0,7958
Avaliação — Dia 56					
BT (g)	8423,95a	7314,33b	6804,73c	4,66	<,0001
Pf (g)	324,00a	281,32b	261,72c	4,66	<,0001
GBT (g)	1361,45b	1772,67a	1573,82a	10,80	0,0029
GBD (g/dia)	48,63 b	63,32a	52,97a	10,83	0,0030
CAAss	3,94b	2,23a	2,16a	31,78	<,0001
CAAcS	4,28b	2,56a	2,70a	16,25	<,0001
Avaliação — Dia 84					
BT (g)	10226,02a	9699,92ab	9162,62b	6,77	0,0422
Pf (g)	393,30a	373,08ab	352,40b	6,76	0,0420
GBT (g)	1802,07a	2385,58a	2357,85a	23,37	0,1156
GBD (g/dia)	64,35a	85,18a	84,20a	23,37	0,1156
CAAss	2,52b	1,87a	1,85a	21,04	0,0293
CAAcS	3,82b	2,61a	2,49a	20,68	0,0293
Avaliação — Dia 112					
BT (g)	12329,32a	11994,48ab	11621,85b	2,81	0,0087
Pf (g)	474,20a	461,35ab	446,98b	2,81	0,0087
GBT (g)	2103,30a	2294,57a	2459,27a	27,97	0,6365
GBD (g/dia)	75,12a	81,95a	87,83a	27,98	0,6363
CAAss	2,56a	2,05a	1,85a	35,59	0,2890
CAAcS	3,49a	3,16a	2,73a	34,68	0,4863

(1) BT= Biomassa Total Pi= Peso Inicial, GPT= Ganho de peso total, GPD= Ganho de peso diário, CAAss: Conversão Alimentar sem Sobra; CAAcS: Conversão Alimentar com Sobra. **(2)** Grupos experimentais: C= controle, animais que não foram submetidos à restrição, RP1= animais que foram submetidos à restrição alimentar parcial de 1% do pv e RP2= animais que foram submetidos à restrição alimentar parcial de 0,5% do pv, em ambos a restrição foi por 28 dias e a realimentação de 84 dias. **(3)** CV(%) Coeficiente de variação. **(4)** Valor-p da Análise de Variância para um critério, sendo significativo quando $P < 0.05$. Médias seguidas de letras diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas pelo teste t de Student ($P < 0.05$).

Quando analisadas as características da conversão alimentar aparente com e sem as sobras de ração (Tabela 3), é possível observar que durante o período de restrição, não houve alteração na CAA. Após a restrição alimentar, os grupos experimentais restritos apresentaram melhores resultados na CAA quando comparado ao grupo controle, na avaliação aos 56 dias, se estendendo até os 84 dias do experimento. Contudo, essas diferenças não se mantiveram até os 112 dias, quando a CAA foi estatisticamente semelhante entre todos os grupos experimentais ($P > 0,05$).

A restrição alimentar parcial por 28 dias afetou o desempenho em crescimento dos peixes ($P < 0,05$), Pf (g), CT (cm), CP (cm), K, GPT (g), GPD(g), TCE (%) (Tabela 2). Aos 56 dias, observa-se que os peixes apresentaram uma recuperação parcial do peso médio, embora ainda inferior ao grupo controle, assim como nas características de CT e CP (Tabela 2). No entanto, os grupos RP1 e RP2 foram melhores em relação ao grupo controle nas características de GPT e CAA (Tabela 2).

Aos 84 dias para as variáveis de desempenho produtivo K e TCE os grupos RP1 e RP2 foram semelhantes ao grupo controle. Durante esse período, os animais submetidos à restrição alimentar mantiveram maior eficiência na CAA. Já para as características zootécnicas K e TCE os grupos RP1 e RP2 foram semelhantes ao grupo controle (Tabela 2).

Tabela 2

Desempenho produtivo obtidos na criação de tabaquis submetidos a diferentes regimes de alimentação (amostragem de 16 animais por unidade experimental).

Características ⁽¹⁾	Grupos ⁽²⁾			CV(%) ⁽³⁾	Valor-P ⁽⁴⁾
	C	RP1	RP2		
Avaliação — Dia 0					
Pi (g)	169,40a	163,32a	165,75a	5,94	0,5740
CT (cm)	20,54a	20,32a	20,63a	2,36	0,5213
CP (cm)	16,71a	16,85a	16,88a	2,41	0,7365
K	1,48a	1,49a	1,44a	3,49	0,2025
Avaliação — Dia 28					
Pf (g)	217,79a	180,45b	161,20b	10,31	0,0005
CT (cm)	22,22a	21,41ab	20,75b	3,36	0,0105
CP (cm)	18,23a	17,48ab	17,01b	3,53	0,0133
K	1,50a	1,39b	1,37b	4,87	0,0145
GPT (g)	48,39a	17,13b	-4,56c	72,58	<,0001
GPD(g)	1,73a	0,612b	-0,16c	72,57	<,0001
TCE (%)	0,88a	0,35b	-0,11c	71,43	<,0001
Avaliação — Dia 56					
Pf (g)	296a	267,05b	242,63c	6,37	0,0003
CT (cm)	24,40a	23,23b	22,91b	2,88	0,0041
CP (cm)	20,18a	19,34ab	18,82b	3,62	0,0149
K	1,53a	1,61a	1,52a	5,71	0,2173
GPT (g)	78,52a	86,6a	81,44a	19,08	0,6719
GPD(g)	2,80a	3,09a	2,91a	19,11	0,6726
TCE (%)	1,11a	1,41a	1,46a	21,54	0,1015
Avaliação — Dia 84					
Pf (g)	373,9a	334,14b	318,13b	8,11	0,0097
CT (cm)	25,81a	24,66b	24,10b	3,45	0,0111
CP (cm)	21,46a	20,42b	20,05b	3,27	0,0069
K	1,62a	1,67a	1,70a	4,7	0,2646
GPT (g)	77,59a	67,08a	75,49a	32,66	0,7290
GPD (g)	2,77a	2,40a	2,70a	32,64	0,7298
TCE (%)	0,84a	0,80a	0,95a	30,84	0,5838
Avaliação — Dia 112					
Pf (g)	420,79a	396,51a	383,14a	8,46	0,1825
CT (cm)	27,88a	27,70a	27,41a	2,48	0,5065
CP (cm)	22,64a	22,44a	22,25a	2,61	0,5291
K	1,43a	1,38b	1,37b	2,29	0,0092
GPT (g)	46,90a	62,37a	65,02a	59,24	0,6249
GPD	1,67a	2,23a	2,32a	59,27	0,6253
TCE (%)	0,42a	0,61a	0,66a	59,89	0,4455

(1) Pi= Peso inicial BT=Biomassa total, CT=Comprimento Total, CP=Comprimento Padrão, K= Fator de condição, GT= Ganho de peso total, GD= Ganho de peso diário, TCE(%) Taxa de crescimento específico, **(2)** Grupos experimentais: C= controle, animais que não foram submetidos à restrição, RP1= animais que foram submetidos à restrição alimentar parcial de 1% do pv e RP2= animais que foram submetidos à restrição alimentar parcial de 0,5% do pv, em ambos a restrição foi por 28 dias e a realimentação de 84 dias. **(3)** CV(%) Coeficiente de variação. **(4)** Valor-P da Análise de Variância, sendo significativo quando $P < 0.05$. Médias seguidas de letras diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas pelo teste t de Student ($P < 0.05$).

3.2 — Análises bioquímicas e hematológicas

No início do experimento (dia 0) não foram observadas diferença significativa para as variáveis bioquímicas glicose, colesterol total e triglicerídeos. No o colesterol total foi menor ($P<0,05$) e triglicerídeos foi maior ($P<0,05$) no grupo controle sem restrição (122,47 mg/dL; 167,53 mg/dL) em relação aos peixes submetidos à restrição RP1 (110,45 mg/dL; 304,50 mg/dL) e RP2 (103,39 mg/dL; 257,00 mg/dL). Estas variações não se mantiveram com 112 dias de avaliação (Tabela 3). Para as demais variáveis bioquímicas do sangue, não foram encontradas diferenças entre os grupos em nenhum dos momentos avaliados ($P>0,05$).

Tabela 3

Análise bioquímica do sangue de Tambaquis submetidos a diferentes regimes de alimentação.

Características ⁽¹⁾	Grupos ⁽²⁾			CV(%) ⁽³⁾	Valor-P ⁽⁴⁾
	C	RP1	RP2		
Avaliação - Dia 0					
GlicoseL (mg dL ⁻¹)	137,61a	149,66a	141,22a	14,20	0,5839
GlicoseP (mg dL ⁻¹)	74,51a	84,55a	82,83a	44,96	0,8776
Colesterol Total (mg dL ⁻¹)	104,11a	99,94a	100,50a	3,74	0,1539
Triglicerídeos (mg dL ⁻¹)	347,44a	331,11a	321,33a	8,51	0,3024
Avaliação - Dia 28					
GlicoseL (mg dL ⁻¹)	147,83a	133,94a	141,78a	14,74	0,5254
GlicoseP (mg dL ⁻¹)	135,36a	111,83a	126,78a	17,68	0,2072
Colesterol Total (mg dL ⁻¹)	122,47b	110,45a	103,39a	7,35	0,0039
Triglicerídeos (mg dL ⁻¹)	467,53b	304,50a	257,00a	14,91	<,0001
Avaliação - Dia 112					
GlicoseL (mg dL ⁻¹)	135,44a	139,39a	153,67a	9,03	0,0643
GlicoseP (mg dL ⁻¹)	117,05a	128,78a	126,11a	13,19	0,4482
Colesterol Total (mg dL ⁻¹)	120,17a	112,16a	109,11a	11,86	0,3668
Triglicerídeos (mg dL ⁻¹)	332,33a	330,33a	299,39a	19,48	0,6024

(1) GlicoseL - Glicose laboratório e GlicoseP - Glicose aparelho portátil. **(2)** Grupos experimentais: C= controle, animais que não foram submetidos à restrição, RP1= animais que foram submetidos à restrição alimentar parcial de 1% do pv e RP2= animais que foram submetidos à restrição alimentar parcial de 0,5% do pv, em ambos a restrição foi por 28 dias e a realimentação de 84 dias. **(3)** CV(%) Coeficiente de variação. **(4)** Valor-P da Análise de Variância, sendo significativo quando $P<0.05$. Médias seguidas de letras diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas pelo teste t de Student ($P<0.05$).

No início do experimento (dia 0) não foram observadas diferença significativa para as variáveis hematológicas ($P > 0,05$). Da mesma forma, estas variáveis não se alteram significativamente nos dois grupos experimentais de restrição empregados após 28 dias (logo após a restrição) e após 112 dias (Tabela 4).

Tabela 4

Médias para características hematológicas de Tambaquis submetidos a diferentes regimes de alimentação.

Características ⁽¹⁾	Grupos ⁽²⁾			CV(%) ⁽³⁾	Valor-P ⁽²⁾
	C	RP1	RP2		
Avaliação - Dia 0					
Eritrócitos ($10^6\mu\text{L}$)	2,79a	2,72a	2,84a	8,91	0,7216
Hemoglobina(g/dL)	12,14a	11,61a	11,89a	6,54	0,5084
Hematócrito(%)	36,33a	34,83a	35,89a	6,98	0,5758
VCM(fL)	130,85a	128,68a	120,91a	6,71	0,1386
HCM(pg)	43,93a	42,46a	42,26a	4,94	0,3555
CHCM (g/dL)	33,59a	33,31a	33,14a	1,09	0,1286
Avaliação - Dia 28					
Eritrócitos ($10^6\mu\text{L}$)	2,76a	2,73a	2,63a	4,77	0,2551
Hemoglobina(g/dL)	10,00a	9,81a	9,41a	4,75	0,1105
Hematócrito(%)	30,05a	29,50a	28,17a	4,74	0,0839
VCM(fL)	109,27a	108,49a	107,56a	2,47	0,5530
HCM(pg)	36,42a	36,67a	35,95a	2,72	0,4616
CHCM (g/dL)	33,40a	33,20a	33,41a	2,30	0,8767
Avaliação - Dia 112					
Eritrócitos ($10^6\mu\text{L}$)	2,87a	2,90a	2,81a	5,51	0,6516
Hemoglobina(g/dL)	13,16a	12,60a	12,78a	8,87	0,6946
Hematócrito(%)	39,72a	37,94a	38,89a	8,64	0,6640
VCM(fL)	135,42a	129,81a	137,71a	6,38	0,2884
HCM(pg)	44,96a	42,76a	45,48a	6,28	0,2338
CHCM (g/dL)	33,22a	33,53a	33,07a	2,67	0,6615

(1) VCM - Volume Corpuscular Médio, HCM - Hemoglobina Corpuscular Média, HCM - Hemoglobina Corpuscular Média. **(2)** Grupos experimentais: C= controle, animais que não foram submetidos à restrição, RP1= animais que foram submetidos à restrição alimentar parcial de 1% do pv e RP2= animais que foram submetidos à restrição alimentar parcial de 0,5% do pv, em ambos a restrição foi por 28 dias e a realimentação de 84 dias. **(3)** CV(%) Coeficiente de variação. **(4)** Valor-P da Análise de Variância, sendo significativo quando $P < 0,05$. Médias seguidas de letras diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas pelo teste t de Student ($P < 0,05$).

3.3 — Características de Órgãos

No início do experimento (dia 0), não foram encontradas diferenças significativas nas variáveis estudadas ($P > 0,05$). No dia 28, final da restrição alimentar, observou-se diferenças ($P < 0,05$) entre os grupos experimentais em todas as

características de hígidez (Tabela 5), sendo que os grupos RP1 e RP2 não diferiram entre si, mas diferiram do grupo controle em relação às variáveis CINT e IGV. No mesmo período foram encontradas diferenças significativas em relação ao IHS entre os grupos ($P < 0,05$), indicando que quanto maior o nível de restrição, menor o percentual do IHS. O IGV apresentou valores semelhantes, entre os grupos RP1 e RP2, mas menor que o grupo controle. Ao término do período de avaliação de 112 dias, não houve diferenças ($P > 0,05$), significativas entre os grupos, indicando uma recuperação da hígidez ao final do período de realimentação para os grupos restrito.

Tabela 5

Avaliação de características relacionadas ao tamanho e metabolismo de órgãos de tambaquis (*Colossoma macroporum*) submetidos e não submetidos à restrição alimentar em diferentes períodos.

Características ⁽¹⁾	Grupos ⁽²⁾			CV(%) ⁽³⁾	Valor-P ⁽⁴⁾
	C	RP1	RP2		
Avaliação - Dia 0					
Peso inicial(g)	174,20a	170,77a	168,38a	6,29	0,6506
CINT (cm)	35,07a	35,23a	33,19a	8,33	0,4137
IHS (%)	2,03a	1,81a	1,67a	15,13	0,1100
IGV(%)	1,74a	1,76a	1,75a	17,97	0,9939
Avaliação - Dia 28					
Pi(g)	231,39a	190,13b	173,78b	7,57	<,0001
CINT (cm)	41,22a	35,28b	35,16b	5,41	0,0001
IHS (%)	2,40c	1,84b	1,50a	11,67	<,0001
IGV(%)	2,75b	1,70a	1,71a	16,67	<,0001
Avaliação - Dia 112					
Pi(g)	426,78a	399,55a	401,78a	6,36	0,1668
CINT (cm)	49,62a	48,59a	47,51a	11,50	0,8096
IHS (%)	1,81a	1,84a	1,81a	12,48	0,9601
IGV(%)	3,02a	2,86a	2,65a	21,36	0,5797

(1)(CINT) Comprimento Intestino (cm), IHS(%) Índice hepático somático, IGV (%) (Índice de Gordura Visceral). **(2)** Grupos experimentais: C= controle animais que não foram submetidos à restrição alimentar, RP1= animais que foram submetidos a restrição alimentar parcial de 1% do pv e RP2= animais que foram submetidos a restrição alimentar parcial de 0,5% do pv, em ambos a restrição foi por 28 dias e a realimentação de 84 dias. **(3)** CV(%) Coeficiente de variação. **(4)** Valor-P da Análise de Variância para um critério, sendo significativo quando $P < 0,05$. Médias seguidas de letras diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas pelo teste t de Student ($P < 0,05$).

3.4 — Características de processamento da carcaça

No início do experimento (dia 0), não foram encontradas diferenças significativas nas variáveis estudadas ($P > 0,05$). No dia 28 final da restrição, foram identificadas diferenças apenas no grupo da Pf, enquanto os grupos experimentais restritos não apresentaram diferenças significativas entre si. No entanto, o RP2 demonstrou ser inferior ao grupo de controle, enquanto o RP1 apresentou resultados intermediários em relação aos demais grupos. Ao término do período de avaliação de 112 dias, não houve diferenças significativas entre os grupos, indicando que os manejos de restrição e realimentação aplicados não interferem nas características de processamento da carcaça (Tabela 6).

Tabela 6

Rendimentos de processamento da carcaça de tambaquis (*Colossoma macroporum*) submetidos a diferentes regimes de alimentação.

Características ⁽¹⁾	Grupos ⁽²⁾			CV(%) ⁽³⁾	Valor-P ⁽⁴⁾
	C	RP1	RP2		
Avaliação - Dia 0					
Peso Corporal(g)	177,38a	170,38a	177,31a	5,63	0,6301
RCarcaça(%)	66,70a	68,48a	66,81a	5,89	0,8317
RBanda (%)	58,75a	59,25a	61,16a	9,77	0,8699
Avaliação - Dia 28					
Peso Corporal(g)	227,62a	192,68ab	174,83b	9,27	0,0326
RCarcaça(%)	63,07a	64,58a	63,93a	1,64	0,2837
RBanda (%)	47,87a	50,23a	46,91a	5,01	0,2978
Avaliação - Dia 112					
Peso Corporal(g)	438,45a	394,22a	381,56a	6,61	0,0884
RCarcaça(%)	64,57a	63,86a	60,45a	4,89	0,0759
RBanda (%)	50,14a	49,96a	46,88a	5,53	0,0965

(1) RCarcaça = Rendimento de carcaça. RBanda = Rendimento Banda (2) C = controle, animais que não passaram por restrição. RP1 = animais que receberam por 28 dias restrição parcial de 1% pv e RP2 = animais que receberam por 28 dias restrição parcial de 0,5% pv. (3) Coeficiente de variação. (4) Valor-P da Análise de Variância, sendo significativo quando $P < 0,05$. Médias seguidas de letras diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas entre os grupos experimentais pelo teste t de student ($P < 0,05$).

3.5 — Característica bromatológica das bandas

Ao início do período experimental (dia 0), não houve diferença estatística ($p>0,05$) para nenhuma das variáveis relacionadas à composição bromatológica da carcaça avaliadas. Entretanto, exceto para o teor de MS, todas as demais variáveis apresentaram maiores valores para os grupos restritos, os quais não diferiram entre si e foram superiores ao controle aos 28 dias de experimento (Tabela 7). No dia 28, os grupos RP1 e RP2 diferiram do grupo controle em todas as características bromatológicas das bandas. Ao final do período de restrição alimentar, os níveis de

Tabela 7

Analises bromatológica da banda de tabaquis submetidos a diferentes regimes de alimentação.

Características ⁽¹⁾	Grupos ⁽²⁾			CV(%) ⁽³⁾	Valor-P ⁽⁴⁾
	C	T1	T2		
Avaliação - Dia 0					
Pi (g)	174,20a	170,77a	168,38a	6,29	0,6506
MS	83,47a	87,15a	83,77a	5,89	0,3897
MM	4,64a	5,08a	4,85a	12,30	0,4438
PB%	73,07a	75,61a	75,66a	5,36	0,4597
EE%	16,20a	14,90a	14,82a	25,12	0,7856
EB kcal/Kg	5930,65a	5833,10a	5807,02a	5,11	0,7561
Avaliação - Dia 28					
Pf (g)	236,23a	190,13b	173,78b	8,86	<,0001
MS	81,90a	86,96a	85,76a	5,58	0,1889
MM	4,63b	5,42a	5,58a	7,02	0,0009
PB%	66,65b	74,28a	75,15a	5,96	0,0067
EE%	21,45b	17,25a	15,84a	15,93	0,0116
EB kcal/Kg	6250,85b	6011,80a	5869,78a	2,80	0,0048
Avaliação — Dia 112					
Pf (g)	426,78a	399,55a	401,78a	6,36	0,1668
MS	87,49a	87,61a	89,53a	7,79	0,8488
MM	4,40a	4,52a	4,46a	6,18	0,7611
PB%	69,27a	70,92a	74,92a	8,47	0,2836
EE%	23,08a	22,59a	25,44a	18,45	0,5002
EB kcal/Kg	6387,33a	6304,48a	6179,87a	5,97	0,6375

(1) MS= Matéria Seca, MM=Matéria Mineral, PB=Proteína Bruta, EE=extrato Etéreo, EB=Energia Bruta kcal/Kg. (2) C= controle, animais que não passaram por restrição.RP1= animais que receberam por 28 dias restrição parcial de 1% pv e RP2= animais que receberam por 28 dias restrição parcial de 0,5% pv. (3) Coeficiente de variação. (4) Valor-P da Análise de Variância para um critério, sendo significativo quando $P<0.05$. Médias seguidas de letras diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas entre os grupos experimentais pelo teste t de student ($P<0.05$).

MM e PB aumentaram. Já os níveis de EE e EB foram reduzidos nos grupos com restrição alimentar em comparação com o grupo controle. Não houve diferenças significativas entre os grupos no final do período de avaliação de 112 dias, indicando que a composição bromatológica dos animais não foi afetada após o período de realimentação. Ocorrendo interferências em algumas características somente durante o período de restrição alimentar parcial.

4 — Discussão

Os resultados desse estudo ressaltam a importância de um manejo alimentar adequado para melhorar o desempenho produtivo, saúde e características da carcaça do tambaqui. O estado nutricional é crucial para o desenvolvimento e adaptação, então estratégias alimentares eficazes devem ser consideradas. Além disso, as variáveis bioquímicas do sangue podem indicar o estado nutricional e a saúde dos peixes durante restrições alimentares. Essas informações ajudam a monitorar e aprimorar a piscicultura contribuem para o bem-estar dos peixes e para a sustentabilidade da produção.

No presente estudo foi possível identificar resultados semelhantes nas para as variáveis de desempenho zootécnico Pf, CT, GBT (tabela 1) e TCE (tabela 2) em SRA aos obtidos por Assis et al. (2020) com juvenis de tambaqui (*C. macropomum*) com peso médio de inicial de 18,0 g e Favero et al. (2021) em juvenis de pirapitinga (*P. brachypomus*), com peso médio de inicial de 2,4 g, sendo os animais submetidos a ciclos curtos de restrição alimentar. Mas neste estudo, os animais submetidos ao maior período de restrição alimentar foram os mais eficientes na variável CAA. Esses resultados podem ser explicados pela redução da demanda metabólica, pela utilização eficiente dos nutrientes e pelos mecanismos de adaptação para funções

metabólicas mais eficientes (Mccue, 2010). Enquanto para *P. brachypomus* não houve diferença no valores de conversão alimentar dos peixes submetidos a restrição alimentar em relação aos peixes alimentados, esses resultados estão de acordo com os resultados do presente estudo e aos achados de Braz et al. (2022) que avaliaram alevinos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) com peso inicial de 1,64 g, submetidos à restrição alimentar e realimentação em baixas temperaturas em SRA.

A ausência de diferença na conversão alimentar entre os peixes alimentados e submetidos à restrição alimentar pode ser atribuída a fatores como a duração e intensidade da privação, que podem não ter sido suficientes para causar diferenças significativas nos valores. Além disso, o impacto da restrição alimentar varia de acordo com o estágio de desenvolvimento e a maturação sexual dos peixes. Por exemplo, peixes maiores, devido às suas maiores reservas de energia corporal, tendem a ser mais resilientes à restrição sob restrição alimentar (Ali; Nicieza; Wootton, 2003; Jafari; Falahatkar; Sajjadi, 2018). Essas informações vão de encontro com a recomendação de Meira et al. (2022), os quais recomendam ciclos de restrição alimentar menos severos, de até um dia por semana, para ocorrer compensação total em tambaquis na fase inicial de desenvolvimento quando cultivados em SRA com peso inicial de 5,23 g e final de 16,00 g.

Em outro estudo, foi observado que juvenis de Tilápias-do-Nilo (*O. niloticus*) com peso médio inicial de 380 g, submetidos a 7 dias de restrição total e realimentados por 21 dias em SRA, tiveram um desempenho produtivo inferior em relação ao grupo de controle. No entanto, após a realimentação, não foram encontradas diferenças, indicando um crescimento compensatório total ao fim do período experimental (Salomão et al., 2017). Segundo Santos et al. (2018) ciclos de restrição alimentar de 2 dias por semana ao longo de 8 semanas são suficientes para promover melhor

desempenho em juvenis de tambaqui com peso inicial de 8,0 g para que ocorra o crescimento compensatório. No entanto, os autores relatam que o tipo de sistema utilizado pode ter interferido nos resultados, pois o mesmo proporcionou a formação de plâncton, resultando em uma restrição alimentar parcial. Meira et al. (2022) sugerem que restrições alimentares parciais baseadas na biomassa do lote podem trazer maiores benefícios, quando comparado as restrições totais, principalmente na fase inicial de desenvolvimento, já que podem ser menos severas e respeitar as condições fisiológicas dos peixes. Santos et al. (2018) também fazem o mesmo destaque, enfatizando que a alimentação inadequada em momentos importantes do desenvolvimento pode afetar permanentemente o desenvolvimento dos animais em fases posteriores.

Na pesquisa de Nebo et al. (2018), que avaliou a restrição alimentar em juvenis de tilápia do Nilo (*O. niloticus*) com peso inicial de 30,2 g em SRA, foi constatado que, após uma a três semanas de jejum, os animais apresentaram pior desempenho produtivo do que o grupo de controle. Estes autores afirmam que a restrição alimentar em peixes por até uma semana pode resultar em perdas mínimas e crescimento compensatório parcial, mas restrições mais severas ou prolongadas podem levar mais tempo para recuperação. No presente estudo, o grupo Experimental RP2, que foi o mais restritivo, mostrou um ganho de biomassa semelhante ao grupo controle. No entanto, levou mais tempo para ocorrer a compensação total, sugerindo que pode ser necessário um período mais longo para atingir esse nível compensação. Já que os efeitos dos protocolos de alimentação, como a duração e intensidade da restrição, influenciam nas respostas compensatórias (Ali; Nicieza; Wootton, 2003).

As pesquisas relatadas demonstram que o desempenho em crescimento dos peixes é altamente variável quando submetidos a restrição alimentar. No entanto, a

primeira resposta observável em restrições totais é a redução de peso. Dependendo das estratégias utilizadas, os animais podem ter uma compensação total após a realimentação. Neste estudo em particular, foram utilizados níveis de restrição parciais que permitiram pequenos ganhos de peso (RP1) e manutenção do peso corporal (RP2), indicando um equilíbrio fisiológico durante o período de restrição, o que pode favorecer uma compensação mais saudável. Manter um bom estado nutricional dos peixes pode ter um papel crucial em seu desenvolvimento e na capacidade de adaptação às mudanças ambientais. Portanto, é essencial garantir um manejo alimentar adequado para maximizar tanto o desempenho produtivo quanto a saúde dos peixes.

A saúde e o desempenho dos peixes são influenciados por fatores ambientais, alimentares, manejo, período experimental e sistema de produção. As características bioquímicas do sangue são úteis para monitorar mudanças no habitat e nas práticas de piscicultura, além de fornecer informações sobre a saúde dos peixes e seu estado nutricional (Burgos-Aceves et al., 2019; Fazio et al., 2012; Sehonova et al., 2018; Sridee & Boonanuntanasarn, 2012), podendo, portanto, ser utilizadas como indicativos do estado nutricional e da saúde dos peixes durante períodos de restrição alimentar.

Entre as variáveis bioquímicas indicadoras estão os níveis sanguíneos de triglicerídeos, os quais são importantes como fonte de energia para os peixes, sendo mobilizada durante períodos de alta atividade metabólica, tais como, reprodução, crescimento e jejum prolongado (Lermen et al., 2004). No presente estudo, observou-se que o final do período de restrição alimentar parcial, os níveis de triglicerídeos foram inferiores nos grupos com restrição em comparação aos grupos sem restrição (28 dias), porém, essas diferenças foram minimizadas após a realimentação (84 dias).

Isso ocorre em peixes uma vez que, durante a restrição alimentar em peixes, há uma redução da disponibilidade de nutrientes e de energia fornecidos pela alimentação. Isso leva a uma série de adaptações metabólicas que visam preservar os recursos energéticos do organismo e garantir a sobrevivência em condições de escassez de alimentos (Mccue, 2010). Uma das adaptações metabólicas mais significativas durante a restrição alimentar é a mobilização dos estoques de gordura corporal, que convertem principalmente em triglicerídeos, para suprir suas necessidades energéticas.

De forma similar, Assis et al. (2020) observaram diminuição dos níveis sanguíneos de triglicerídeos após restrição alimentar em tambaquis (18g), e em *Piaractus brachipomus* (2,4g), conforme relatado por Favero et al. (2021). Estes autores relatam que durante o uso de um ou dois dias semanais de restrição alimentar, pode ocorrer a ausência de lipólise das reservas corporais (fígado e gordura mesentérica) e isso pode comprometer a manutenção dos níveis plasmáticos de triglicerídeos, o que é evidenciado pela diminuição dos níveis nos peixes sob restrição. Outros estudos também encontraram uma diminuição nos níveis de triglicerídeos com a restrição alimentar (Chatzifotis et al. 2011; Costas et al. 2011; Hoseini et al. 2014).

Segundo Pretto et al. (2017) quando o organismo precisa de energia, ele mobiliza os triglicerídeos do tecido adiposo e os converte em corpos cetônicos, que se tornam uma fonte alternativa de combustível em substituição à glicose. Esses corpos cetônicos podem ser utilizados por tecidos extra-hepáticos e pelas células do sistema nervoso central. Peixes jovens (5g) em restrição alimentar podem sofrer uma forte depressão do estado nutricional, devido à alta taxa de crescimento específico. Esse rápido crescimento exige muita energia e, com menos reservas energéticas, os

peixes se tornam mais vulneráveis aos efeitos negativos da restrição alimentar, afetando o desempenho e a saúde (Meira et al. 2022).

É importante ressaltar que existem variações nos resultados encontrados, como relatado por Morshedi et al. (2017) e Furné et al. (2012), os quais relataram um aumento dos níveis de triglicerídeos ao final da restrição com *esturjão siberiano* (*Acipenser baerii*), truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) respectivamente. A presença dessas variações de resultados pode ser explicada pelo uso de diferentes espécies de peixes e suas demandas fisiologias para atender às suas necessidades biológicas durante períodos de fome (Weatherley e Gill, 1981).

Estudos em carpa gibelio (*Carassius auratus*) indicam que o jejum tem a capacidade de inibir a lipogênese e estimular a mobilização das reservas lipídicas através da lipólise e β -oxidação dos ácidos graxos (Li et al., 2018). Neste estudo em particular, também foi observada uma diminuição nos índices de gordura visceral (IGV) durante o período de restrição alimentar.

Os peixes têm a capacidade de utilizar as reservas corporais para sobreviver durante períodos de escassez de alimentos, o que acontece durante a restrição alimentar (Ahmad Dar et al., 2018; Navarro e Gutiérrez, 1995). Isso inclui a utilização dos depósitos de lipídeos armazenados em várias partes do corpo (Johansson et al., 2016; Marqueze et al., 2017), incluindo o tecido adiposo (Johansson et al., 2016; Nebo et al., 2018). O colesterol, sendo um lipídio estrutural, pode ser utilizado ou sintetizado em resposta à restrição (Godavarthy et al., 2012). Durante a restrição alimentar, ocorre uma diminuição na síntese de colesterol, uma vez que essa síntese requer energia e nutrientes, que estão limitados nessas condições. Além disso, a utilização dos estoques de gordura corporal como fonte de energia também pode contribuir para a diminuição dos níveis de colesterol.

Segundo Favero et al. (2021) as respostas relativas às variações dos níveis de colesterol apresentadas nos estudos de restrição alimentar são inconsistentes, variando com a espécie e o período de restrição alimentar. Os autores não observaram alterações nas concentrações plasmáticas de colesterol com um ou dois dias de restrição total por semana, por 5 semanas. Por outro lado, em juvenis de tambaqui, no presente estudo observou-se ao final do período de restrição alimentar parcial de 28 dias redução nos níveis de colesterol nos grupos sob restrição e ao final do período de realimentação (112 dias) não foram observadas diferenças em relação ao grupo controle (Tabela 3). Já Assis et al. (2020), com *C. macropomum*, e Jafari et al. (2018), com *A. baeri*, não observaram alterações nos níveis de colesterol após a restrição.

Na presente pesquisa, não foram observadas diferenças nos níveis de glicose (Tabela 3), em conformidade aos achados de Nebo et al. (2018) e Silva et al. (2019) os quais observaram manutenção nos níveis de glicose em *O. niloticus* e *L. alexandri* respectivamente. Durante a restrição alimentar, os níveis glicêmicos podem ser mantidos pela degradação do glicogênio hepático em glicose, por meio da glicogenólise, para atender às necessidades energéticas do animal para manter os níveis de glicose plasmática, conforme sugerido por Navarro e Gutiérrez, (1995) e Silva et al. (2019). Essa degradação do glicogênio hepático também foi evidenciada pela diminuição do IHS observada nos grupos restritos de tambaquis, conforme relatado por Assis et al. (2020) em *C. macropomum*; Silva et al. (2019) em *Lophiosilurus alexandri*. Bull, 1997 e Nebo et al., 2018, sugerem que a mobilização do glicogênio foi um mecanismo utilizado pelos animais para manter os níveis de glicose, tendo efeitos semelhantes nas concentrações de colesterol.

De acordo com Morshedi et al. (2017) o jejum pode levar à diminuição das reservas de energia hepática e, conseqüentemente, afetar o peso do fígado em peixes. Como o tamanho relativo do fígado está diretamente relacionado à condição nutricional dos animais (Caruso et al., 2012), valores menores do IHS encontrados nos animais restritos podem ser explicados pela redução dos nutrientes armazenados, como gordura e glicogênio no fígado. As taxas de arraçoamento influenciam diretamente nos valores de IHS e IGV sendo os índices proporcionais a quantidade de alimento fornecida (Mereles e Souza, 2020).

A rápida diminuição do índice hepatosomático (IHS) durante a restrição alimentar indica que as reservas de energia são rapidamente utilizadas. Após a realimentação, essas reservas são restabelecidas, podendo exceder os níveis observados em peixes alimentados. Esses resultados foram encontrados em outras espécies, como *Macquaria ambigua* (Collins;Anderson, 1995), *Piaractus mesopotamicus* (Souza et al., 2002a). Regost et al. (2001) não observaram nenhuma alteração no Índice Hepatosomático (IHS) de Salmão trutta após 8 semanas de jejum. Isso sugere que os peixes podem responder de forma diferente ao jejum, embora, na maioria das vezes, ocorra a mobilização do lipídio hepático em primeiro lugar (Silva; Gunasekera; Austin, 1997).

As variáveis hematológicas avaliadas neste estudo não revelaram alterações significativas. Estudos anteriores obtiveram resultados divergentes, observando diferenças significativas nas concentrações de hematócrito e hemoglobina após a restrição alimentar (Assis et al., 2020; Favero et al., 2021), mas outros também não encontraram nenhuma alteração significativa no hematócrito (Silva et al., 2019; Jafari et al., 2019). Após analisar diferentes pesquisas, pode-se observar uma grande variação nos resultados das características hematológicas (hemograma e bioquímica)

em peixes expostos à restrição alimentar, e segundo Li et al. (2018) e Najafi et al. (2015) isso pode ser em decorrência dos diferentes métodos experimentais de restrição alimentar (duração, intensidade, tipo de dieta restritiva) e das características da população estudada (idade, sexo, estado nutricional, condições de saúde).

É importante ressaltar que a restrição alimentar parcial de longa duração, de até 28 dias deste estudo, não apresentou impacto significativo nas características hematológicas (hemograma e bioquímica) do *C. macropomum*. Esses achados sugerem que a restrição alimentar parcial pode ser uma estratégia de manejo nutricional viável, sem prejudicar a saúde dos peixes e contribuindo para a obtenção de um bom desempenho. Outra possibilidade que pode justificar esses resultados é que peixes maiores têm maior capacidade de jejuar, portanto são mais resistentes a condições severas de restrição alimentar, porque têm maiores reservas de energia corporal, como glicogênio, lipídeos e proteínas (Jafari et al., 2018).

A adoção de um manejo alimentar adequado é essencial para o sucesso na produção de peixes, e influencia diretamente o metabolismo do animal, sua saúde e a deposição de nutrientes na carcaça. Estudos destacam a importância desses aspectos na adoção de práticas alimentares adequadas para diferentes sistemas de produção de peixes, as quais podem influenciar na composição corporal, com alterações nos teores de umidade, proteínas, lipídios e cinzas (Bittencourt et al., 2012; Santos et al., 2015) e possíveis alterações nos rendimentos do produto final. No presente estudo não foi observada interferência dos níveis de restrição aplicados nas características de processamento da carcaça em nenhum momento. Os resultados encontrados estão de acordo aos encontrados por Cartonilho e Jesus, (2011), estes autores relatam que o tambaqui, pode obter um rendimento médio total de carcaça de 63,71%.

Durante todo o período experimental desta pesquisa, entre as características bromatológicas das bandas avaliadas, apenas o teor de MS% permaneceu inalterado durante a restrição alimentar gradual. No entanto, foi observado que os animais submetidos a diferentes níveis de restrição parcial apresentaram níveis mais elevados de proteína em comparação ao grupo controle durante o período de restrição. Esse resultado reforça os efeitos favoráveis do protocolo de alimentação utilizado. Por outro lado, Favero et al. (2020) relataram que as concentrações de proteína no músculo de *P. mesopotamicus* não foram afetadas durante o jejum.

Segundo Ituassú et al. (2004) as análises bromatológicas corporais de *C. macropomum* não mostraram influência da privação alimentar total por 14, 21 e 28 dias nos percentuais de MM% e EE%, mas os valores de umidade e proteína bruta aumentaram com a duração da privação alimentar; sugerindo que a privação alimentar em peixes pode resultar em um aumento significativo na proteína bruta e na deposição de massa muscular, como proposto por Dobson e Holmes, (1984) e Cotrim et al. (2016). Ao mesmo tempo, o aumento significativo da proteína pode ser explicado pela redução nos percentuais dos níveis de extrato etéreo (EE%) e energia bruta (EB kcal/Kg), o que altera a proporção nestas variáveis.

Morshedi et al. (2017) observaram que há variação no uso de proteínas durante o período de jejum, a depender da espécie e do manejo aplicado (longo ou curto). Marqueze et al. (2017) concluem que a mobilização de diferentes tipos de reservas está intimamente ligada à duração do período de jejum e às diferenças metabólicas entre as espécies. De acordo com Kim et al. (2014), a ausência de variações expressivas nos níveis de proteína muscular, sugere que essas reservas não foram utilizadas durante o período sem alimentação. É importante considerar a duração do jejum ao qual os peixes são submetidos, uma vez que isso pode resultar

em um perfil metabólico distinto no tecido muscular, o qual pode ser utilizado por muitas espécies durante os períodos de restrição alimentar, mas, em geral, os animais utilizaram a gordura visceral e da carcaça para manter o metabolismo basal, poupando assim a utilização de proteína tecidual.

5 — Conclusão

A restrição alimentar parcial de 0,5% do peso vivo por 28 dias, é uma opção viável para promover o crescimento compensatório em juvenis de *C. macropomum*, trazendo benefícios econômicos e ambientais, devido o menor consumo de ração e redução da excreção de compostos nitrogenados, resultando em melhoria na qualidade da água sem afetar a saúde dos peixes.

6- Declaração de interesse Concorrente

Os autores asseguram que não possuem nenhum interesse concorrente conhecido, financiamento ou relacionamento pessoal que possa influenciar de alguma forma o trabalho descrito neste artigo.

7 — Agradecimentos

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

A presente pesquisa teve apoio da do Instituto Federal de Mato Grosso, *Campus* Avançado Guarantã do Norte, da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) Campus Sinop, Piscicultura Boa Esperança do Estado de Rondônia-RO na doação de animais , Piscicultura Buriti do Estado de Mato Grosso-MT no transporte dos animais.

8 — Referências

- AOAC, 2005. Official methods of analysis of AOAC international. 18th Edition. A.O.A.C international, Gaithersburg, MD, USA.
- Abdel Tawwab, M., Khattab, Y.A.E., Ahmad, M.H., Shalaby, A.M.E., 2006. Efficacy of High-Protein “Finishing” Diets on Growth, Fattiness, and Processing Yield of Channel Catfish, *Ictalurus punctatus*. *Journal of Applied Aquaculture*. 18, 37–52. https://doi.org/10.1300/J028v18n03_03
- Ahmad Dar, S., Srivastava, P.P., Varghese, T., Irfan Rasool, S., Anand, G., Gupta, S., Gireesh-Babu, P., Krishna, G., 2018. Regulation of compensatory growth by molecular mechanism in *Labeo rohita* juveniles under different feeding regimes. *General and Comparative Endocrinology*. 261, 89–96. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2018.01.029>
- Ali, M., Nicieza, A., Wootton, R.J., 2003. Compensatory growth in fishes: a response to growth depression. *Fish and Fisheries*. 4, 147–190. <https://doi.org/10.1046/j.1467-2979.2003.00120.x>
- Ali, T.E.S., Martínez-Llorens, S., Moñino, A.V., Cerdá, M.J., Tomás-Vidal, A., 2016. Effects of weekly feeding frequency and previous ration restriction on the compensatory growth and body composition of Nile tilapia fingerlings. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*. 42, 357–363. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2016.06.004>
- Araújo-Lima, C.A.R., Gomes, L.C., 2010. Tambaqui (*Colossoma macropomum*), in: BALDISSEROTTO, GOMES, L. (Org.), *Espécies nativas para piscicultura no Brasil*. Santana Maria:UFMS; p. 175–204.
- Assis, Y.P.A.S., de Assis Porto, L., de Melo, N.F.A.C., Palheta, G.D.A., Luz, R.K., Favero, G.C., 2020. Feed restriction as a feeding management strategy in *Colossoma macropomum* juveniles under recirculating aquaculture system (RAS). *Aquaculture* 529, 735689. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735689>
- Bittencourt, F., de Souza, B.E., Lui, T.A., Borella, M.I., Boscolo, W.R., Feiden, A., Romagosa, E., 2012. Protein diets promote the maturation of oocytes and spawning of *Piaractus mesopotamicus* kept in cages. *Journal of Applied Ichthyology*. 28, 886–893. <https://doi.org/10.1111/jai.12060>
- Botelho, H.A., Costa, A.C., Freitas, R.T.F. de, Fernandes, É.M., 2018. Análise bromatológica de filé de pacu (*Piaractus mesopotamicus*), pirapitinga (*Piaractus brachypomum*) e tambaqui (*Colossoma macropomum*). *Revista de Ciência Veterinária e Saúde Pública* 4, 158. <https://doi.org/10.4025/revcivet.v4i2.37022>
- Braz, J.M., de Souza Marques, A., Honorato, C.A., de Almeida, F.L.A., Neu, D.H., 2022. Compensatory growth of Nile tilapia fingerlings subjected to food restriction and re-feeding at low temperatures. *Revista de Ciências Agroveterinárias* 21, 481–488. <https://doi.org/10.5965/223811712142022481>
- Bull, C., 1997. Regulation of hyperphagia in response to varying energy deficits in overwintering juvenile Atlantic salmon. *Journal of Fish Biology* 50, 498–510. <https://doi.org/10.1006/jfbi.1996.0314>

- Burgos-Aceves, M.A., Lionetti, L., Faggio, C., 2019. Multidisciplinary haematology as prognostic device in environmental and xenobiotic stress-induced response in fish. *Science of The Total Environment* 670. 1170–1183. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.275>
- Camargo, A.C. da S., Zaiden, S.F., Urbinati, E.C., 2008. Desenvolvimento gonadal de fêmeas de matrinxã, *Brycon amazonicus*, submetidas a restrição alimentar. *Ciência Rural* 38, 1105–1110. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782008000400031>
- Cartonilho, M.M., Jesus, R.S. de, 2011. Qualidade de cortes congelados de tambaqui cultivado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 46, 344–350. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011000400002>
- Caruso, G., Denaro, M.G., Caruso, R., Genovese, L., Mancari, F., Maricchiolo, G., 2012. Short fasting and refeeding in red porgy (*Pagrus pagrus*, Linnaeus 1758): Response of some haematological, biochemical and non specific immune parameters. *Marine Environmental Research*. 81, 1825. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2012.07.003>
- Chappaz, R., Olivart, G., Brun, G., 1996. Food availability and growth rate in natural populations of the brown trout (*Salmo trutta*) in Corsican streams. *Hydrobiologia*. 331, 63–69. <https://doi.org/10.1007/BF00025408>
- Chatzifotis, S., Papadaki, M., Despoti, S., Roufidou, C., Antonopoulou, E., 2011. Effect of starvation and re-feeding on reproductive indices, body weight, plasma metabolites and oxidative enzymes of sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture* 316, 53–59. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.02.044>
- Costas, B., Conceição, L.E.C., Dias, J., Novoa, B., Figueras, A., Afonso, A., 2011. Dietary arginine and repeated handling increase disease resistance and modulate innate immune mechanisms of Senegalese sole (*Solea senegalensis* Kaup, 1858). *Fish and Shellfish Immunology*. 31, 838–847.
- Collins, A.L., Anderson, T.A., 1995. The regulation of endogeneous energy stores during starvation and refeeding in the somatic tissues of the golden perch. *Journal of Fish Biology* 47, 1004–1015. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1995.tb06024.x>
- Cotrim, T. S., Fornari, D. C., Araujo, C. V., Magalhães, C. U. B., & Aguiar, D. H. (2016). The compensatory growth of skeletal muscle cells in Amazonian catfish (*Pseudoplatystoma reticulatum* female x *Leiarius marmoratus* male). *Scientific Electronic Archives*, 9 (2), 53–66. <https://doi.org/10.36560/922016239>
- Dairik, J.K., Silva, T.B.A. da, 2011. Revisão de literatura: exigências nutricionais do Tambaqui - compilação de trabalhos, formulação de ração adequada e desafios futuros. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental.
- Dave, G., Johansson-Sjöbeck, M.-L., Larsson, Å., Lewander, K., Lidman, U., 1975. Metabolic and hematological effects of starvation in the European eel, *Anguilla anguilla* L.—I. Carbohydrate, lipid, protein and inorganic ion metabolism. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*. 52, 423–430. [https://doi.org/10.1016/S0300-9629\(75\)80059-4](https://doi.org/10.1016/S0300-9629(75)80059-4)

- Dobson, S.H., Holmes, R.M., 1984. Compensatory growth in the rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. *Journal of Fish Biology*. 25, 649–656.
<https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1984.tb04911.x>
- Doria, C.R. da C., Ruffino, M.L., Hijazi, N.C., Cruz, R.L. da, 2012. A pesca comercial na bacia do rio Madeira no estado de Rondônia, Amazônia brasileira. *Acta Amazonica*. 42, 29–40. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672012000100004>
- Favero, G., Gimbo, R.Y., Montoya, L.N.F., Carneiro, D.J., Urbinati, E.C., 2020. A fasting period during grow-out make juvenile pacu (*Piaractus mesopotamicus*) leaner but does not impair growth. *Aquaculture*. 524, 735242. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735242>
- Favero, G.C., dos Santos, F.A.C., da Costa Júlio, G.S., Pedras, P.P.C., Ferreira, A.L., de Souza e Silva, W., Ferreira, N.S., do Carmo Neves, L., Luz, R.K., 2021. Effects of short feed restriction cycles in *Piaractus brachypomus* juveniles. *Aquaculture*. 536, 736465. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736465>
- Favero, G.C., Gimbo, R.Y., Franco Montoya, L.N., Zanuzzo, F.S., Urbinati, E.C., 2018. Fasting and refeeding lead to more efficient growth in lean pacu (*Piaractus mesopotamicus*). *Aquaculture Research*. 49, 359–366. <https://doi.org/10.1111/are.13466>
- Fazio, F., Faggio, C., Marafioti, S., Torre, A., Sanfilippo, M., Piccione, G., 2012. Comparative study of haematological profile on *Gobius niger* in two different habitat sites: Faro Lake and Tyrrhenian Sea [Étude comparative du profil hématologique de *Gobius niger* dans deux habitats différents: Le lac de Faro et la Mer Tyrrhénienne]. *Cahiers de Biologie Marine* 53, 213–219.
- Furné, M., Hidalgo, M.C., López, A., García-Gallego, M., Morales, A.E., Domezain, A., Domezainé, J., Sanz, A., 2005. Digestive enzyme activities in Adriatic sturgeon *Acipenser naccarii* and rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. A comparative study. *Aquaculture*. 250, 391–398. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.05.017>
- Furné, M., Morales, A.E., Trenzado, C.E., García-Gallego, M., Carmen Hidalgo, M., Domezain, A., Sanz Rus, A., 2012. The metabolic effects of prolonged starvation and refeeding in sturgeon and rainbow trout. *Journal of Comparative Physiology*. B. 182, 63–76. <https://doi.org/10.1007/s00360-011-0596-9>
- Gimbo, R.Y., Favero, G.C., Franco Montoya, L.N., Urbinati, E.C., 2015. Energy deficit does not affect immune responses of experimentally infected pacu (*Piaractus mesopotamicus*). *Fish & Shellfish Immunology*. 43, 295–300. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2015.01.005>
- Godavarthy, P., Sunila Kumari, Y., Bikshapathy, E., 2012. Starvation induced cholesterologenesis in hepatic and extrahepatic tissues of climbing Perch, *Anabas testudineus* (Bloch). *Saudi Journal of Biological Sciences*. 19, 489–494. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2012.07.004>
- Gokcek, C.K., Mazlum, Y., Akyurt, I., 2007. Effect of Feeding Frequency on the Growth and Survival of Himri Barbel *Barbus luteus* (Heckel, 1843), Fry under Laboratory Conditions. *Pakistan Journal of Nutrition*. 7, 66–69. <https://doi.org/10.3923/pjn.2008.66.69>

- Goulding, M., Carvalho, M.L., 1982. Life history and management of the tambaqui (*Colossoma macropomum*, Characidae): an important Amazonian food fish. *Revista Brasileira de Zoologia*. 1, 107–133. <https://doi.org/10.1590/S0101-81751982000200001>
- Goldenfarb, P.B., Bowyer, F.P., Hall, E., Brosious, E., 1971. Reproducibility in the Hematology Laboratory: The Microhematocrit Determination. *American Journal of Clinical Pathology* 56, 35–39. <https://doi.org/10.1093/ajcp/56.1.35>
- Hernandez, C., Hurtado Oliva, M., Pena, E., 2019. Effect of short term starvation on hematological and blood biochemical parameters in juvenile spotted rose snapper (*Lutjanus guttatus*) (Steindachner, 1869). *Latin American Journal of Aquatic Research*. 47, 9–17. <https://doi.org/10.3856/vol47-issue1-fulltext-2>
- Hilsdorf, A.W.S., Hallerman, E., Valladão, G.M.R., Zaminhan-Hassemer, M., Hashimoto, D.T., Dairiki, J.K., Takahashi, L.S., Albergaria, F.C., Gomes, M.E. de S., Venturieri, R.L.L., Moreira, R.G., Cyrino, J.E.P., 2022. The farming and husbandry of *Colossoma macropomum*: From Amazonian waters to sustainable production. *Reviews in Aquaculture*. 14, 993–1027. <https://doi.org/10.1111/raq.12638>
- HLPE, 2017. High Level Panel of Experts. 2017. Nutrition and food systems. Committee of World Food Security (CFS). 44, 1–152.
- Hornick, J., Van Eenaeme, C., Gérard, O., Dufrasne, I., Istasse, L., 2000. Mechanisms of reduced and compensatory growth. *Domestic Animal Endocrinology*. 19, 121–132. [https://doi.org/10.1016/S0739-7240\(00\)00072-2](https://doi.org/10.1016/S0739-7240(00)00072-2)
- Ituassú, D.R., Santos, G.R.S. dos Roubach, R., Pereira-Filho, M., 2004. Desenvolvimento de tambaqui submetido a períodos de privação alimentar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 39, 1199–1203. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004001200006>
- Jafari, N., Falahatkar, B., Sajjadi, M.M., 2018. Growth performance and plasma metabolites in juvenile Siberian sturgeon *Acipenser baerii* (Brandt, 1869) subjected to various feeding strategies at different sizes. *Fish Physiology and Biochemistry*. 44, 1363–1374. <https://doi.org/10.1007/s10695-018-0527-8>
- Johansson, M., Morgenroth, D., Einarsdottir, I.E., Gong, N., Björnsson, B.T., 2016. Energy stores, lipid mobilization and leptin endocrinology of rainbow trout. *Journal of Comparative Physiology, B*. 186, 759–773. <https://doi.org/10.1007/s00360-016-0988-y>
- Kim, J.-H., Jeong, M.H., Jun, J.-C., Kim, T.-I., 2014. Changes in Hematological, Biochemical and Non-specific Immune Parameters of Olive Flounder, *Paralichthys olivaceus*, Following Starvation. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 27, 1360–1367. <https://doi.org/10.5713/ajas.2014.14110>
- Lermen, C.L., Lappe, R., Crestani, M., Vieira, V.P., Gioda, C.R., Schetinger, M.R.C., Baldisserotto, B., Moraes, G., Morsch, V.M., 2004. Effect of different temperature regimes on metabolic and blood parameters of silver catfish, *Rhamdia quelen*. *Aquaculture*. 239, 497–507. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.06.021>
- Li, H., Xu, W., Jin, J., Yang, Y., Zhu, X., Han, D., Liu, H., Xie, S., 2018. Effects of starvation on glucose and lipid metabolism in gibel carp (*Carassius auratus gibelio* var. CAS III). *Aquaculture* 496, 166–175.

- Lima, J. de F., MONTAGNER, D., DUARTE, S.S., YOSHIOKA, E.T.O., DIAS, M.K.R., TAVARES-DIAS, M., 2019. Recirculating system using biological aerated filters on tambaqui fingerling farming. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 54, e00294. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.PAB2019.V54.00294>
- López-Olmeda, J.F., Noble, C., Sánchez-Vázquez, F.J., 2012. Does feeding time affect fish welfare? *Fish Physiology and Biochemistry*. 38, 143–152. <https://doi.org/10.1007/s10695-011-9523-y>
- Lovell, T., 1998. *Nutrition and Feeding of Fish*. Springer US, Boston, MA. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-4909-3>
- Marqueze, A., Garbino, C.F., Trapp, M., Kucharski, L.C., Fagundes, M., Ferreira, D., Koakoski, G., Rosa, J.G.S., 2017. Protein and lipid metabolism adjustments in silver catfish (*Rhamdia quelen*) during different periods of fasting and refeeding. *Brazilian Journal of Biology*. 78, 464–471. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.169333>
- McCue, M.D., 2012. Comparative physiology of fasting, starvation, and food limitation, comparative physiology of fasting, starvation, and food limitation. Vol 2. Springer Berlin Heidelberg. Berlin, Heidelberg. 430pp.
- 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, 1–18.
- Melo, L.A.S., Izel, A.C.U., Rodrigues, F.M., 2001. Criação de Tambaqui (*Colossoma macropomum*) em viveiros de argila/ barragens no Estado do Amazonas. Embrapa Amazônia Ocidental. Manaus. 30 p. (Embrapa Amazônia Ocidental; ISSN 1517-3135 ; 18).
- Meira, A.S.F., Almeida, G.S. de, Silva, L.I.P. da, Filho, G.B.V., Boijink, C. de L., Dairiki, J.K., 2022. Restrição Alimentar de Juvenis de Tambaqui, *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento* 198 -Embrapa Amazônia Ocidental, 2022. Manaus.
- Mereles, M.D.A., Souza, G.C.R., 2020. Efeito de taxas de arraçoamento sobre os índices hepatossomático e de gordura visceral do tambaqui no cultivo semi-intensivo. *Scientia Amazonia*. 9, 54–63.
- Morshedi, V., Kochanian, P., Bahmani, M., Yazdani, M.A., Pournali, H.R., Ashouri, G., Pasha-Zanoosi, H., 2017. Cyclical short-term starvation and refeeding provokes compensatory growth in sub-yearling Siberian sturgeon, *Acipenser baerii* Brandt, 1869. *Animal Feed Science and Technology*. 232, 207–214. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.10.005>
- Mozanzadeh, M.T., Zabayah Najafabadi, M., Torfi, M., Safari, O., Oosooli, R., Mehrjooyan, S., Pagheh, E., Javad Hoseini, S., Saghavi, H., Monem, J., Gisbert, E., 2021. Compensatory growth of Sobaity (*Sparidentex hasta*) and yellowfin seabreams (*Acanthopagrus latus*) relative to feeding rate during nursery phase. *Aquaculture Nutrition*. 27, 468–476. <https://doi.org/10.1111/anu.13199>
- Najafi, A., Salati, A.P., Yavari, V., Asadi, F., 2015. Effects of short term fasting and refeeding on some hematological and immune parameters in mesopotamichthys sharpeyi (Günther, 1874) fingerlings. *Iranian Journal of Science and Technology, Transaction A: Science*. 39, 383–389.
- Navarro, I., & Gutiérrez, J. - Chapter 17. Fasting and Starvation., 1995. In *Biochemistry and Molecular Biology of Fishes*, 4, 393–434. [https://doi.org/10.1016/s1873-0140\(06\)80020-2](https://doi.org/10.1016/s1873-0140(06)80020-2).
- Nebo, C., Gimbo, R.Y., Kojima, J.T., Overturf, K., Dal-Pai-Silva, M., Portella, M.C., 2018. Depletion of stored nutrients during fasting in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) juveniles. *Journal of Applied Aquaculture*. 30, 157–173.

- <https://doi.org/10.1080/10454438.2017.1420516>
- Oliveira, R.C. de, 2009. O panorama da aquicultura no Brasil: a prática com foco na sustentabilidade. *Revista Intertox de Toxicologia, Risco Ambiental e Sociedade*. 2, 71–89. <https://doi.org/10.22280/revintervol2ed1.18>
- Oliveira, G.R., Gemaque, T.C., Melo, K.D.M., Silva, S.R., Oliveira, A.V. de, Freato, T.A., Costa, D.P., 2020. Restrição alimentar na piscicultura: fisiologia, metabolismo e sustentabilidade. *Brazilian Journal of Development*. 6, 28224–28244. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n5-318>
- Patruno, M., Sivieri, S., Poltronieri, C., Sacchetto, R., Maccatrozzo, L., Martinello, T., Funkenstein, B., Radaelli, G., 2008. Real-time polymerase chain reaction, in situ hybridization and immunohistochemical localization of insulin-like growth factor-I and myostatin during development of *Dicentrarchus labrax* (Pisces: Osteichthyes). *Cell and Tissue Research* 331, 643–658. <https://doi.org/10.1007/s00441-007-0517-0>
- Preto, A., Cleber, A., Centenaro, G.S., 2017. ISSN 2447-6218. Características sensoriais e bromatológicas da carne de *Prochilodus lineatus* após depuração Alexandra. In: Autor, Caderno de ciências agrárias, Editora, Local. 84–88 pp.
- Ranzani-paiva, m. J. T.; Tavares-dias, m.; egami, m. I. Métodos para análise hematológica em peixes. EDUEM ed. Maringá, 213 p. ISBN 978-85-7628-653-0. Available from Scielo Books <<http://books.scielo.org>>.
- Regost, C., Arzel, J., Cardinal, M., Laroche, M., Kaushik, S.J., 2001. Fat deposition and flesh quality in seawater reared, triploid brown trout (*Salmo trutta*) as affected by dietary fat levels and starvation. *Aquaculture* 193, 325–345. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00498-1](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00498-1)
- Roa, F.G.B., Silva, S.S., Hoshiba, M.A., Silva, L.K.S. da, Barros, A.F. de, Abreu, J.S. de, 2019. Production performance of tambaqui juveniles subjected to short feed-deprivation and refeeding cycles. *Boletim do Instituto de Pesca* 45, 1–9. <https://doi.org/10.20950/1678-2305.2019.45.4.466>
- Rodrigues, M.L., Santos, R.A. dos, Sousa, R.M., Honorato, C.A., Neu, D.H., Bittencourt, F., 2021. Metabolism and growth performance of pacu (*Piaractus mesopotamicus*) juveniles submitted to different feeding frequencies. *Research, Society and Development* 10, páginas? . <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i4.13979>
- Romanovsky, D.L., 1891. Zur Frage der Parasitologie und Therapie der Malaria. *St Petersburg Med Wochenschr.* 16, 297–302, 307–315. <https://doi.org/https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=mdp.39015026307812&view=1up&seq=1&skin=2021>
- Salomão, R.A.S., Drimel, V.G., Santos, V.B. dos, 2017. Crescimento compensatório em tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Pubvet* 11, 646–651. <https://doi.org/10.22256/pubvet.v11n7.646-651>
- Santos, R., R.F. dos, Silva, S.É.M. da, Brandão, M.F., Lobo, M.V.M. da S., Paz, D.J.F. da, Gimbo, R.Y., 2021. Acute response of refeeding in tambaqui submitted to long-term fasting. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*. 22, 1–9. <https://doi.org/10.1590/s1519-99402122232021>

- Santos, E.L., Soares, A.C.L., Tenório, O.L.D., Soares, E.C., Silva, T.J., Gusmão Júnior, L.F., Santos, E.L., 2018. Desempenho de tambaquis (*Colossoma macropomum*) submetidos a restrição alimentar e a realimentação em tanques-rede. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. 70, 931–938. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-9891>
- Santos, M.M., André CALUMBY, J., Alves Coelho Filho, P., Carlos Soares, E., Luis Gentili, A., 2015. Nível De Arraçamento E Frequência Alimentar No Desempenho De Alevinos De Tilápia-Do-Nilo Level and Frequency of the Feeding in the Nile Tilapia Fingerling Development. 41, 387–395.
- SAS Statistical analysis system user's guide. Cary, SAS Institute, 2013. (Software Version 9.4).
- Sehonova, P., Svobodova, Z., Dolezelova, P., Vosmerova, P., Faggio, C., 2018. Effects of waterborne antidepressants on non-target animals living in the aquatic environment: A review. *Science of The Total Environment*. 631–632, 789–794. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.076>
- Silva, C.A, Fujimoto, R.Y., 2015. Crescimento de tambaqui em resposta a densidade e estocagem em tanques-rede. *Acta Amazonica* 45, 323–332. <https://doi.org/10.1590/1809-4392201402205>
- Silva, W. de S. e., Hisano, H., Mattioli, C.C., Torres, I.F.A., Paes-Leme, F. de O., Luz, R.K., 2019. Effects of cyclical short-term fasting and refeeding on juvenile *Lophosilurus alexandri*, a *carnivorous Neotropical* catfish. *Aquaculture*. 505, 12–17. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.02.047>
- Souza, V.L., Urbinati, E.C., Martins, M.I.E.G., Silva, P.C., 2002. Avaliação do crescimento e do custo da alimentação do pacu (*Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887) submetido a ciclos alternados de restrição alimentar e realimentação. *Revista Brasileira de Zootecnia* 32, 19–28. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982003000100003>
- Sridee, N., Boonanuntanasarn, S., 2012. The Effects of Food Deprivation on Hematological Indices and Blood Indicators of Liver Function in *Oxyleotris marmorata*. *International Journal of Nutrition and Food Engineering*. 6, 248–252. <https://doi.org/https://doi.org/10.5281/zenodo.1061665>
- Valenti, W.C., Barros, H.P., Moraes-Valenti, P., Bueno, G.W., Cavalli, R.O., 2021. Aquaculture in Brazil: past, present and future. *Aquaculture Reports*. 19, 100611. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100611>
- Valladão, G.M.R., Gallani, S.U., Pilarski, F., 2018. South American fish for continental aquaculture. *Reviews in Aquaculture*. 10, 351–369. <https://doi.org/10.1111/raq.12164>
- Waagbø R, Jørgensen SM, Timmerhaus G, Breck O, Olsvik PA. Short-term starvation at low temperature prior to harvest does not impact the health and acute stress response of adult Atlantic salmon. *PeerJ*. 2017 Apr 27;5: e3273. doi: 10.7717/peerj.3273. PMID: 28462060; PMCID: PMC5410150.
- Weatherley, A.H., Gill, H.S., 1981. Recovery growth following periods of restricted rations and starvation in rainbow trout *Salmo gairdneri* Richardson. *Journal of Fish Biology* 18, 195–208. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1981.tb02814.x>

- Won, E.T., Borski, R.J., 2013. Endocrine Regulation of Compensatory Growth in Fish. *Frontiers in Endocrinology*. 4, 1–13. <https://doi.org/10.3389/fendo.2013.00074>
- Wood, C.M., Gonzalez, R.J., Ferreira, M.S., Braz-Mota, S., Val, A.L., 2018. The physiology of the Tambaqui (*Colossoma macropomum*) at pH 8.0. *Journal of Comparative Physiology B*. 188, 393–408. <https://doi.org/10.1007/s00360-017-1137-y>
- Woynárovich, A. and Van Anrooy, R. 2019. Field guide to the culture of tambaqui (*Colossoma macropomum*, Cuvier, 1816). FAO, Rome. 132 pp. (Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 624) Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- Zar, J.H. (2010) *Biostatistical analysis*. 5th Edition, Prentice-Hall/Pearson, Upper Saddle River. 944 p.

CAPITULO 3

Impactos da restrição alimentar parcial seguida de realimentação em tambaquis (*Colossoma macropomum*): sobre a hiperplasia e hipertrofia das células musculares esqueléticas, e morfometria das células hepáticas e intestinais.

O artigo a seguir está redigido de acordo com as exigências para publicação no periódico **Aquaculture**

Resumo

Impactos da restrição alimentar parcial seguida de realimentação em tambaquis (*Colossoma macropomum*) sobre a hiperplasia e hipertrofia das células musculares esqueléticas, e morfometria das células hepáticas e intestinais.

A restrição alimentar parcial ou total, é uma estratégia empregada na produção de peixes para maximizar o desempenho produtivo e minimizar os custos de produção. No entanto, os efeitos da restrição alimentar parcial ainda não estão totalmente esclarecidos. Portanto, objetivou-se no presente estudo avaliar se a restrição alimentar parcial afeta as características morfológicas do tecido muscular estriado esquelético e a estrutura das células do intestino e do fígado em tambaquis (*Colossoma macropomum*) ao final do período de restrição e do período de realimentação. Foram utilizados 576 animais que apresentaram peso e comprimento padrão inicial médio de $168,7 \text{ g} \pm 9,40 \text{ g}$ e $16,81 \text{ cm} \pm 0,40 \text{ cm}$, respectivamente, que foram alojados por 112 dias em um sistema de recirculação de água (SRA). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com três grupos experimentais de manejo alimentar: grupo controle, restrição parcial 1 (RP1) e restrição parcial 2 (RP2), e seis repetições. A taxa de alimentação durante 28 dias em cada grupo Experimental foi: Controle com 3,5% do peso vivo; restrição parcial 1 (RP1) com 1% do peso vivo; e restrição parcial 2 (RP2) com 0,5% do peso vivo. Depois, os peixes de todos os grupos experimentais foram submetidos a taxa de alimentação de 3% do peso vivo por 56 dias e, em seguida, de 2,5% do peso vivo por mais 28 dias. As coletas de tecido muscular, fígado e intestino foram realizadas em três momentos (Dia 0, 28, 112 dias) e cada momento foi coletado 3 animais de cada unidade experimental. Durante o experimento, não houve mortalidade. Os grupos apresentaram condições semelhantes no início e ao longo do período experimental ($p > 0,05$), exceto as células de diâmetro médio (40 a 80 μm) aos 120 dias, as quais a restrição alimentar de 28 dias não afetou a distribuição das células musculares de diferentes diâmetros e nem afetou as características celulares normais das células hepáticas e intestinais. Os resultados deste estudo indicam que a restrição alimentar parcial de 1% e 0,5% do peso vivo por 28 dias, seguida de realimentação por 84 dias em juvenis de *C. macropomum*, não afetou os mecanismos de crescimento muscular, tanto em termos de hipertrofia e hiperplasia, e morfologia das células hepáticas e intestinais, sendo um aspecto positivo importante a favor do emprego desse manejo alimentar, o qual pode contribuir para maior sustentabilidade produtiva, ambiental e econômica da atividade.

Palavras-chave: Crescimento muscular, Crescimento Compensatório, Hiperplasia, Hipertrofia.

Abstract

Impacts of Partial Feeding Restriction Followed by Re-alimentation on Tambaqui (*Colossoma macropomum*): Effects on Skeletal Muscle Cell Hyperplasia, Hypertrophy, and Morphometry of Hepatic and Intestinal Cells

Partial or total feeding restriction is a strategy employed in fish production to enhance productive performance and minimize production costs. However, the effects of partial feeding restriction remain incompletely understood. Therefore, the aim of this study was to evaluate whether partial feeding restriction affects the morphological characteristics of skeletal striated muscle tissue and the structure of intestinal and hepatic cells in Tambaqui (*Colossoma macropomum*) at the conclusion of the restriction and re-alimentation periods. A total of 576 animals with an initial mean weight and standard length of $168.7 \text{ g} \pm 9.40 \text{ g}$ and $16.81 \text{ cm} \pm 0.40 \text{ cm}$, respectively, were housed for 112 days in a recirculating water system (RWS). The experimental design was completely randomized, including three experimental feeding management groups: control group, partial restriction 1 (PR1), and partial restriction 2 (PR2), with six replications. The feeding rate for each treatment during the 28-day periods was as follows: Control at 3.5% of body weight; PR1 at 1% of body weight; and PR2 at 0.5% of body weight. Subsequently, fish from all treatments were subjected to a feeding rate of 3% of body weight for 56 days, followed by 2.5% of body weight for an additional 28 days. Muscle, liver, and intestinal tissue samples were collected at three time points (Day 0, 28, 112 days), with three animals collected from each experimental unit at each time point. No mortality was observed during the experiment. The groups exhibited similar conditions at the outset and throughout the experimental period ($p > 0.05$), except for cells with a medium diameter range (40 to 80 μm) on day 120. A 28-day feeding restriction did not affect the distribution of muscle cells with different diameters or the normal cellular characteristics of hepatic and intestinal cells. The results of this study indicate that a 1% and 0.5% partial feeding restriction of body weight for 28 days, followed by re-alimentation for 84 days in juvenile *C. macropomum*, did not impact mechanisms of muscle growth, including hypertrophy and hyperplasia, or the morphology of hepatic and intestinal cells. This important positive aspect supports the implementation of this feeding management approach, contributing to greater productive, environmental, and economic sustainability of the activity.

Keywords: Muscle Growth, Compensatory Growth, Hyperplasia, Hypertrophy.

1 — Introdução

Diferentes métodos para maximizar o crescimento dos peixes têm sido propostos na piscicultura com diversas espécies, visando maximizar o rendimento e reduzir os custos de produção para uma sistema e regime produtivo mais sustentável (Fao, 2022; Hornick et al., 2000; Lovell, 1998).

A restrição alimentar seguida de realimentação é uma técnica de alimentação utilizada para induzir o crescimento compensatório nos peixes, de forma a melhorar o crescimento comparativamente os indivíduos, que foram continuamente alimentados (Gaylord & Gatlin, 2000). Dentre as hipóteses que podem justificar esse aumento do crescimento, estão aquelas relacionadas a hiperfagia, resultante do aumento da ingestão de alimentos (Ruohonen, K., Kettunen, J. and King, 2001) e as relacionadas às respostas hormonais (Gaylord & Gatlin, 2000), que podem afetar a síntese de proteínas e estimular o desenvolvimento muscular (Bower et al., 2009). Além disso, estudos apontam para o efeito do jejum e da realimentação sobre o funcionamento e a estrutura de órgãos como o fígado e o intestino (Enes et al., 2009; Roberts & Ellis, 2012; Sari et al., 2022). A restrição alimentar pode causar alterações celulares nesses tecidos (Dai et al., 2018; Black & Love, 1986; Ali et al., 2001), o que pode impactar o desempenho produtivo dos peixes.

Estratégias de manejo alimentar, que resultam em efeitos de ganho compensatório, podem beneficiar a produção de peixes em termos econômicos, devido à redução dos custos de produção e as melhorias ambientais, uma vez que a alternância entre períodos de escassez e oferta de alimentos pode contribuir para a melhoria da qualidade da água e na redução da necessidade de renovação da água, sendo a restrição alimentar uma estratégia interessante sobretudo para espécies cultivadas em sistemas intensivos de produção.

Algumas espécies de peixes, como o *Colossoma macropomum* (tambaqui), destacam-se pelo bom desempenho produtivo em cultivo, de forma que os incentivos para intensificação de sua produção são crescentes e refletem o grande potencial da espécie para ampliação dos mercados de comercialização de peixes (Hilsdorf et al., 2022; Wood et al., 2018). Adicionalmente, o tambaqui é uma espécie que desenvolve bem quando submetido a restrição alimentar, entretanto, os estudos quanto aos efeitos da restrição alimentar, enquanto estratégia alimentar, na produção da espécie ainda tem sido pouco explorado e os resultados em outras espécies são de aplicação limitada, já que os efeitos da restrição podem ser influenciados por esse fator.

Portanto, objetivou-se no presente estudo avaliar se a restrição alimentar parcial afeta as características morfológicas do tecido muscular estriado esquelético e a estrutura celular das células intestinais e hepáticas de tambaquis (*Colossoma macropomum*) ao final do período de restrição alimentar, e do período de realimentação.

2 — Material e Métodos

2.1— Local experimental e material biológico

O estudo foi conduzido na estação experimental de Piscicultura do Instituto Federal de Mato Grosso, localizada no Campus Avançado de Guarantã do Norte, estado de Mato Grosso, Brasil. O protocolo do estudo recebeu aprovação do Comitê de Ética e Bem-Estar Animal da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (protocolo nº 1.183/2021). Um total de 576 juvenis de *C. macropomum* com peso médio de 168,7 g \pm 9,40 g e comprimento médio de 16,81 cm \pm 0,40 cm, foram adquiridos de uma piscicultura comercial. Esses juvenis foram distribuídos de forma aleatória em 18 tanques circulares de PVC, cada um com capacidade para 1000 litros de água. Esses tanques eram semelhantes entre si e estavam inseridos em um

sistema de recirculação aquícola (SRA), onde a água era renovada a uma taxa de 1 m³/hora. O sistema de recirculação aquícola era mantido através de três bombas submersas e incluía filtros mecânicos e biológicos para a purificação da água. Além disso, o sistema contava com aeração do tipo venturi e um aquecedor automático com uma potência de 10.

As características da água no ambiente de cultivo foram monitoradas diariamente ao longo do período experimental. Para esse fim, foi empregado um multiparâmetro do modelo Akso-AK87, visando manter os parâmetros em níveis favoráveis à espécie, conforme relatado por Araújo-Lima e Gomes (2010). Durante o monitoramento, os seguintes parâmetros foram observados: temperatura da água, mantida dentro da faixa de 26 a 30 °C; nível de oxigênio, mantido entre 5,3 e 7,69 mg L⁻¹; e pH, mantido entre 6,5 e 7,0. Além disso, os níveis de amônia variaram entre 0,14 e 0,62 mg L⁻¹, os de nitrito entre 0,1 e 0,42 mg L⁻¹, a dureza entre 85,87 e 92,01 mg L⁻¹, a alcalinidade total entre 59,96 e 68,74 mg L⁻¹, e o gás carbônico entre 2,31 e 4,87 mg L⁻¹. Essas medições foram realizadas semanalmente utilizando um teste colorimétrico da marca acquasupre® (disponível em www.acquasupre.com.br). O ciclo de iluminação foi mantido com 12 horas de exposição à luz, seguidas por 12 horas de escuridão, ao longo de todo o experimento.

No período de adaptação às condições experimentais, que compreendeu até o dia 0, a densidade de alojamento foi de 32 animais por compartimento. A partir do dia 0 até o dia 28, a densidade foi ajustada para 29 animais por compartimento, e posteriormente, do dia 28 até o término do experimento (112 dias), a densidade foi reduzida para 26 animais por compartimento. Ao longo do experimento, ocorreu uma diminuição na densidade de alojamento devido à necessidade de realizar a eutanásia

dos animais para a coleta de tecidos. Essa redução compreendeu a eutanásia de 3 animais por compartimento nos momentos correspondentes aos dias 0, 28 e 112.

2.2 — Alimentação e restrição alimentar

Foram analisados três grupos experimentais distintos, cada um correspondendo a diferentes abordagens de manejo alimentar ao longo dos primeiros 28 dias, denominado como "período 1". O Grupo Controle (GC) recebeu uma quantidade de alimento equivalente a 3,5% do peso vivo (pv), enquanto o grupo experimental de restrição parcial 1 (RP1) foi alimentado com 1% do peso vivo (pv), e o grupo experimental de restrição parcial 2 (RP2) recebeu apenas 0,5% do peso vivo (pv). Posteriormente, durante o "período 2", todos os grupos de peixes foram alimentados com uma taxa constante de 3% do peso vivo por 56 dias. Finalmente, no "período 3", os peixes de todos os grupos experimentais foram submetidos a uma taxa de alimentação de 2,5% do peso vivo durante mais 28 dias. Isso resultou em um período total de experimentação de 112 dias.

Em todos os grupos, os animais receberam alimentação três vezes ao dia, nos horários de 08h00, 12h00 e 17h00, por meio de uma dieta comercial extrusada (com diâmetro de 4 mm, produzida pela Grupo Socil/Evialis®). A composição proximal da dieta era a seguinte: 32% de proteína bruta, 7% de extrato etéreo, 10% de fibra bruta, 14% de cinzas, 3% de cálcio, 0,6% de fósforo, 13% de umidade, 1% de cálcio e 1,5% de Vitamina C.

2.3— Procedimento de coleta de tecidos

Antes de iniciar cada coleta de tecidos nos dias 0, 28 e 112 do experimento, os animais (um total de 16) foram submetidos à eutanásia através do método de secção da medula espinhal. Antes disso, eles foram previamente anestesiados com óleo de

cravo em concentrações de 50 mg/L, o qual foi diluído em etanol (na proporção de 1:20) por um período de 10 minutos. Foram removidos fragmentos longitudinais do tecido muscular da região medial e dorsal, englobando as fibras musculares de ambos os tipos (vermelhas e brancas), além de fragmentos do fígado. Esses fragmentos foram então fixados em uma solução de formaldeído tamponado a 10%.

Foi utilizado um microtomo semi-automático (modelo Leica 2245). Esse equipamento possibilitou a obtenção de cortes do material em seções transversais de 3 μm , que foram colocados em lâminas de vidro. As lâminas passaram por coloração com Ácido Periódico de Schiff (PAS) para análises morfométricas. Nas análises morfométricas, utilizou-se um sistema de análise de imagem (Moticam 2.0) para medir o diâmetro das células musculares, permitindo uma avaliação qualitativa das células do fígado e intestino. As imagens foram capturadas em oito pontos pré-definidos para todos os animais, registrando os diâmetros das células musculares na seção transversal em micrômetros. AS células musculares foram classificadas de acordo com seus diâmetros celulares em pequenas (<40 μm), médias (40 a 80 μm) e grandes (>80 μm). Que possibilitou avaliar o grau de crescimento das células musculares hipertrofiadas (%) e hiperplásicas (numero de células).

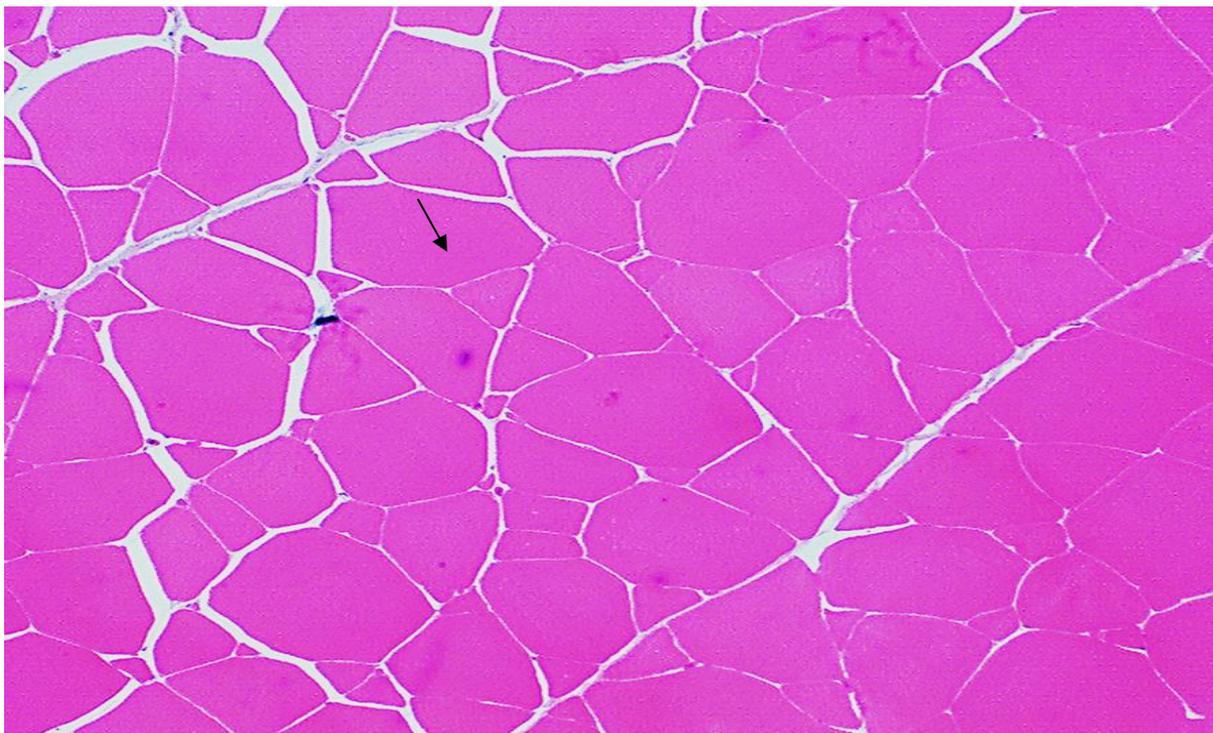


Fig. 1. Corte transversal das fibras musculares. Observam-se fibras musculares (seta), utilizadas para a medida do diâmetro celular em μm . Coloração PAS. Aumento de 20X.

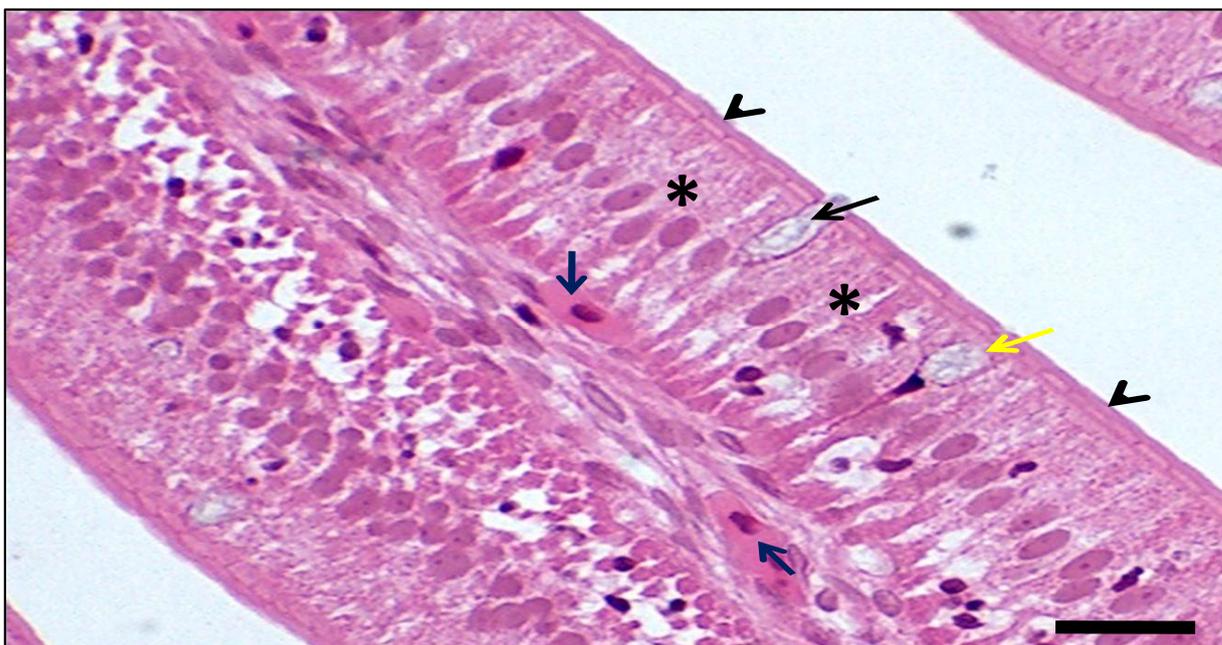


Fig. 2. Fotomicrografia do intestino delgado de tambaqui (*Colossoma macropomum*). Célula caliciforme (setas). Borda estriada (pontas de setas). Enterócitos (asteriscos) HE. Barra= 30 μm .

2.4 — Análise estatística

As variáveis dependentes foram submetidas aos testes de normalidade de Shapiro-Wilk e de Levene para homogeneidade de variâncias. Quando admitida normalidade e homogeneidade de variâncias, as variáveis dependentes foram submetidas a Análise de Variância com um modelo com uma variável independente (Anova - One Way), seguida do Teste t de Student. Todas as análises foram feitas seguindo as recomendações de Zar (2010) e utilizando o Sistema de Análise Estatística (SAS, 2013). O nível de significância utilizado em todos os testes foi de 0,05.

3. — Resultados e discussão

3.1 — Morfometria muscular

Durante o experimento, não ocorreu nenhuma mortalidade em nenhum dos momentos avaliados. Após um período de adaptação de 15 dias, tanto o grupo controle quanto os demais grupos iniciaram o período experimental no Dia 0, apresentando condições semelhantes e sem diferenças significativas ($P > 0,05$) no diâmetro celular. Esse resultado foi no dia 28 e no dia 112, exceto para as células médias (40 a 80 μm) aos 112 dias (Tabela 1) para o grupo Experimental RP1. Isso indica que a restrição alimentar parcial de 28 dias nos níveis aplicados não afetou a distribuição hiperplásica e hipertrófica das células musculares de diâmetro pequeno ($<40 \mu\text{m}$), médio (40 a 80 μm) e grande ($>80 \mu\text{m}$) ao final do período de restrição e do período de realimentação, foram encontradas diferenças significativas ($P < 0,05$) apenas aos 112 dias de experimentação, em que o grupo Experimental RP1 apresentou uma proporção menor de células de diâmetro muscular médio, com um percentual de 30,85% em comparação ao grupo controle (38,59%), porém não diferiu

significativamente de RP2 (36,0%) que também não diferiu do grupo controle (P >0,05).

Tabela 1

Avaliação Morfométrica do tecido muscular esquelético obtidos na criação de tambaquis submetidos a diferentes, regimes de alimentação .

Variáveis	Grupo Experimental			CV(%) ⁽¹⁾	Valor-P ⁽²⁾
	C	RP1	RP2		
Avaliação - Dia 0					
Diâmetro Célula Pequenas (%)	49,30a	44,15a	42,302a	14,03	0,2600
Diâmetro Célula Médias (%)	33,63a	37,59a	39,589a	15,44	0,2797
Diâmetro Célula Grande (%)	17,06a	18,21a	17,066a	27,69	0,9336
Número de células	869,93a	1108a	809,50a	31,86	0,2592
Avaliação - Dia 28					
Diâmetro Célula Pequenas (%)	48,86a	49,81a	49,18a	8,57	0,9308
Diâmetro Célula Médias (%)	34,10a	34,81a	38,10a	11,18	0,3399
Diâmetro Célula Grande (%)	16,38a	15,38a	12,72a	20,09	0,1727
Número de células	867,4a	925,75a	1038,1a	16,54	0,2482
Avaliação - Dia 112					
Diâmetro Célula Pequenas (%)	42,67a	48,50a	48,88a	14,10	0,2196
Diâmetro Célula Médias (%)	38,59a	30,85b	36,00ab	13,02	0,0305
Diâmetro Célula Grande (%)	18,75a	20,65a	15,11a	43,29	0,4819
Número de células	788,75a	843,25a	962,83a	19,98	0,2359

(1) Coeficiente de variação. (2) Valor-P da Análise de Variância, sendo significativo quando P<0.05. Médias seguidas de letras diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas entre os grupos experimentais pelo teste t de student (P<0.05).

Diferente do presente estudo, Nebo (2015) encontrou uma quantidade significativa de células de menor tamanho na tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) durante os períodos de restrição alimentar, indicando crescimento das fibras musculares por meio da hiperplasia. Por outro lado, Johansen e Overturf (2006) relataram que na truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss gilberti*), não houve aumento da hiperplasia nas fibras musculares brancas, mesmo após 30 dias de jejum e 14 dias de realimentação. Brooks & Johnston, (1993) relatam que a importância relativa da hipertrofia e da hiperplasia no crescimento do tecido muscular pode variar dependendo da espécie e da fase de crescimento analisada (Brooks & Johnston,

1993). No entanto na maior parte das espécies, o crescimento hipertrófico, é mais acentuado nas fases de juvenil e adultos (Veggetti et al.,1993; Patruno et al., 1998).

De acordo com os resultados de Braz et al. (2022), a restrição alimentar não provocou alterações nas características morfológicas das fibras musculares em nenhum dos grupos experimentais, o que está em concordância com os achados de Nebo et al. (2013), para a tilápia, as quais encontraram uma preservação da morfologia muscular e um padrão de crescimento muscular em mosaico, resultados estes que também foram observados nesta pesquisa.

Braz et al. (2022), não observaram diferenças significativas no que diz respeito à frequência de distribuição de fibras. Os resultados encontrados sugerem que o início da diferenciação, hipertrofia e hiperplasia ocorre logo no início da realimentação, conforme observado por Kuniyoshi et al. (2019). Esses resultados reforçam a importância do período inicial de realimentação no crescimento e proliferação das fibras musculares, o que sugere que no presente trabalho os efeitos hiperplásico e hipertrófico foram diluídos nos 84 dias de realimentação, não podendo ser observado aos ao final de 112 dias de realimentação, exceto pelas células com diâmetro médio .

3.2 — Avaliação qualitativa da estrutura celular do fígado e intestino

Ao longo do período experimental, as células manifestarem alterações mantendo suas características naturais. Isso indica que a restrição alimentar parcial não afetou a estrutura normal das células do fígado e do intestino (figuras 9,10,11 e 12).

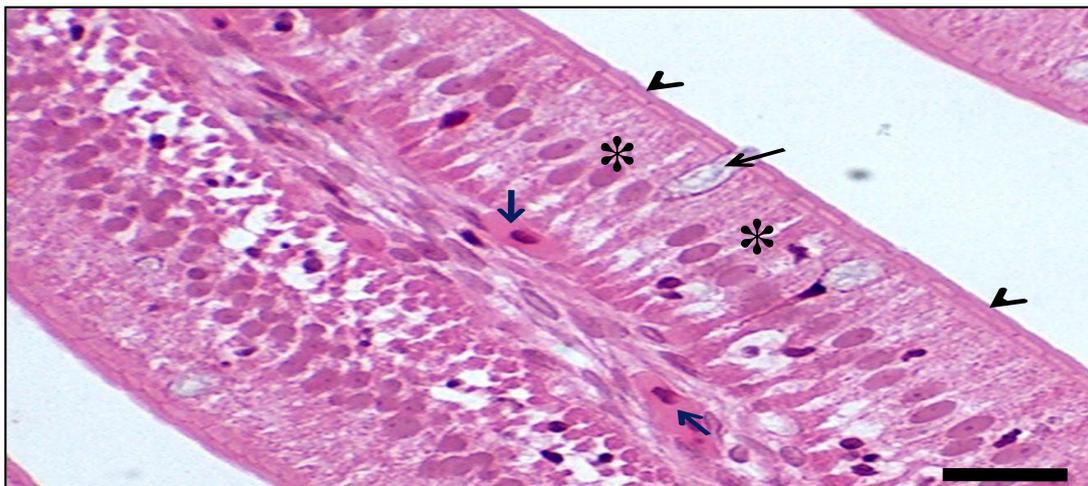


Fig 3. Fotomicrografia do intestino delgado de tambaqui (*Colossoma macropomum*). Célula calciforme (setas). Borda estriada (pontas de setas). Enterócitos (asteriscos) HE. Barra= 30 μ m.

A célula calciforme é responsável pela secreção de muco, que tem a função de lubrificar e neutralizar substâncias no trato gastrointestinal. Sua estrutura se assemelha a um cálice, com um núcleo alongado na base. A borda estriada, uma faixa acidófila na superfície epitelial em contato com o lúmen, contém microvilosidades digitiformes dos enterócitos.



Fig. 4. Fotomicrografia do intestino delgado de tambaqui (*Colossoma macropomum*). Enterócitos (setas). HE. Barra= 30 μ m. Enterócitos ou células absorptivas são responsáveis pela absorção de ácidos graxos, açúcares e aminoácidos.

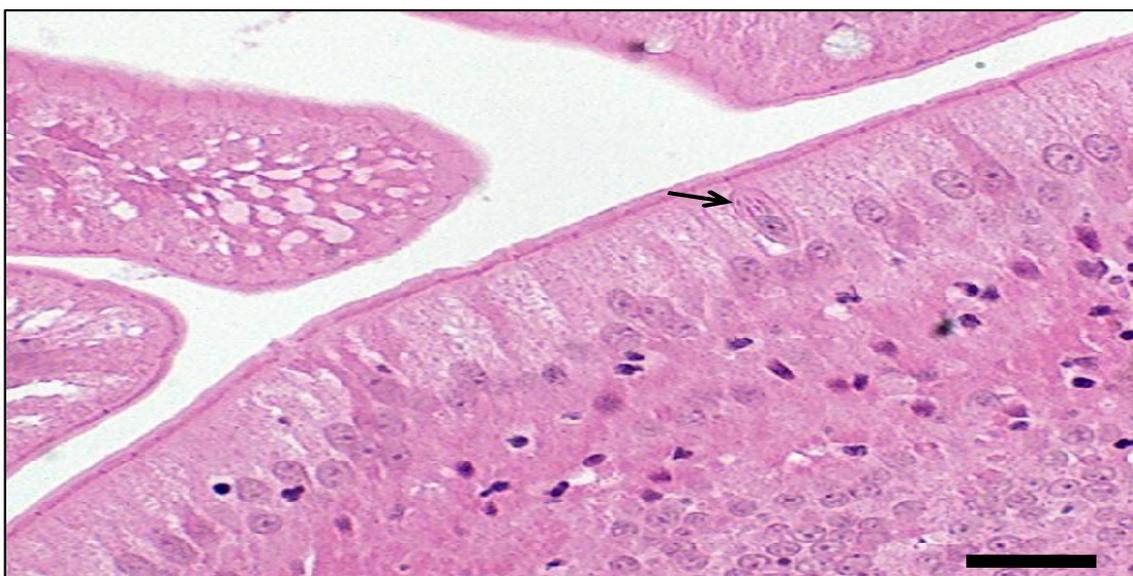


Fig. 5. Fotomicrografia do intestino delgado de tambaqui (*Colossoma macropomum*). Célula “Rodlet” (seta). HE. Barra= 30 μ m. A célula Rodlet (com bastonetes) pode estar relacionada com a função imunológica e biomarcação.

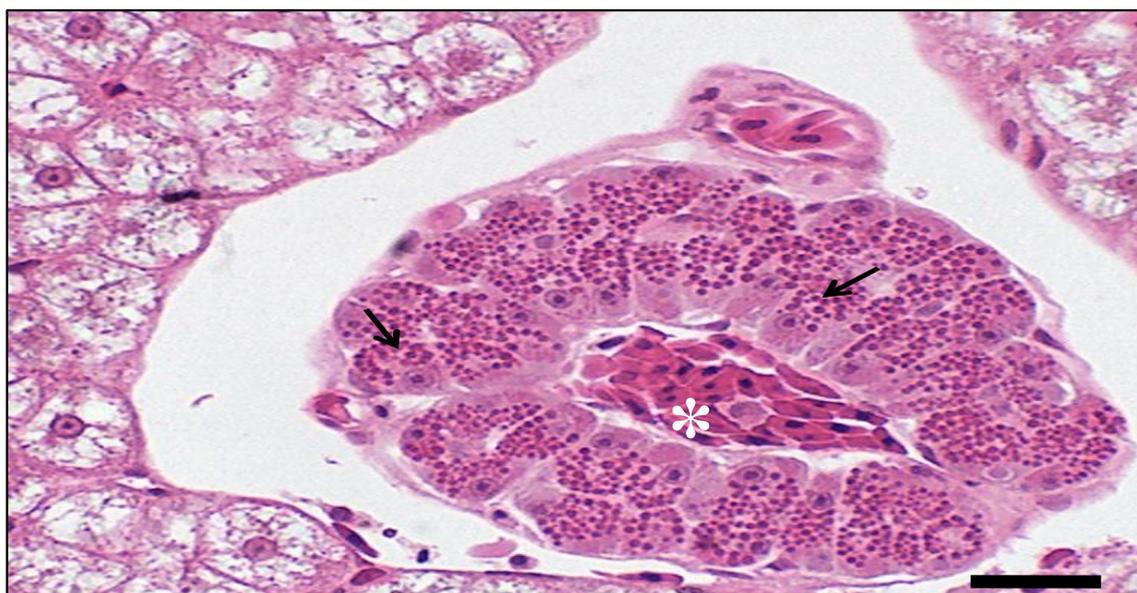


Fig. 6. Fotomicrografia do hepatopâncreas de tambaqui (*Colossoma macropomum*). Conjunto de ácinos pancreáticos com células acinosas repletas de grânulos citoplasmáticos (setas) ao redor de uma veia (asterisco). HE. Barra= 30 μ m.

Os grânulos citoplasmáticos, também chamados de grânulos de zimogênio, contêm pró-enzimas pancreáticas que serão exportadas.

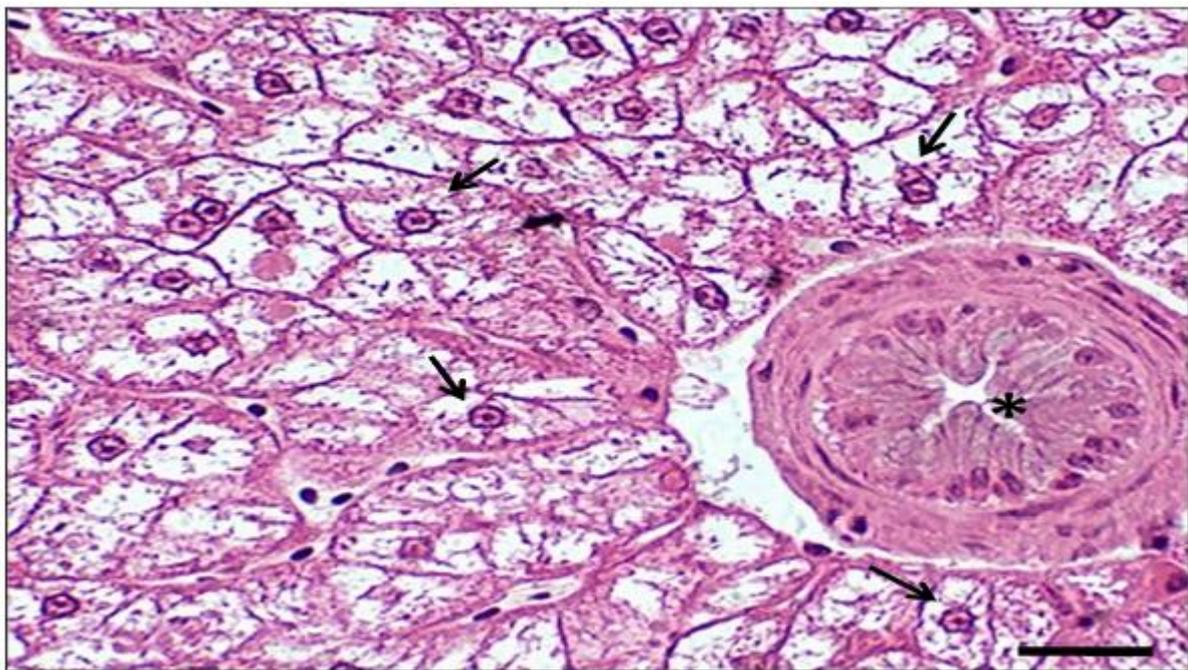


Fig. 7 Fotomicrografia do hepatopâncreas de tambaqui (*Colossoma macropomum*). Grupo 2 AN 1. Ducto biliar (asterico) ao redor dos hepatócitos (setas). HE. Barra= 30 μ m.

Ductos biliares são responsáveis por conduzir substâncias e resíduos metabólicos até a vesícula biliar. Ele se caracteriza pelo seu exuberante epitélio simples cilíndrico (Souza et al., 2017).

5 — Conclusão

Os resultados permitem concluir que o manejo alimentar com a restrição alimentar parcial por 28 dias, seguida de realimentação até 84 dias de criação, não afetou a hiperplasia e hipertrofia muscular, nem influenciou a morfologia normal das células hepáticas e intestinais em juvenis de *C. macropomum*.

6 — Declaração de interesse Concorrente

Os autores asseguram que não possuem nenhum interesse concorrente conhecido, financiamento ou relacionamento pessoal que possa influenciar de alguma forma o trabalho descrito neste artigo.

7 — Agradecimentos

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

A presente pesquisa teve apoio do Instituto Federal de Mato Grosso *Campus* Avançado Guarantã do Norte, da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) Campus Sinop, Piscicultura Boa Esperança do Estado de Rondônia-RO na doação de animais , Piscicultura Buriti do Estado de Mato Grosso-MT no transporte dos animais.

8. — Referências

- Araújo-Lima, C.A.R., Gomes, L.C., 2010. Tambaqui (*Colossoma macropomum*). In: BALDISSEROTTO, GOMES, L.. (Ed.), *Espécies nativas para piscicultura no Brasil*. UFSM, Santana Maria. pp. 175–204.
- Araujo-lima, C., Goulding, M., 1997. So fruitful a fish: ecology, conservation and aquaculture of the amazon's tambaqui. In: *Environmental conservation - Foundati*, New York, NY, pp. 279–289. <https://doi.org/10.1177/0261018311403863>
- Bower, N.I., Taylor, R.G., Johnsnton, I.A., 2009. Phasing of muscle gene expression with fasting-induced recovery growth in Atlantic salmon. *Front. Zool.* 6, 18.
- Brooks, S., Johnston, I.A., 1993. Influence of development and rearing temperature on the distribution, ultrastructure and myosin sub-unit composition of myotomal muscle-fibre types in the plaice *Pleuronectes platessa*. *Marine Biology* 117, 501–513. <https://doi.org/10.1007/BF00349326>
- Eding, E.H., Kamstra, A., Verreth, J.A.J., Huisman, E.A., Klapwijk, A., 2006. Design and operation of nitrifying trickling filters in recirculating aquaculture: A review. *Aquacultural Engineering* 34, 234–260. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2005.09.007>
- FAO 2022. *The state of world fisheries and aquaculture 2022. Towards Blue Transformation*. FAO, Rome.
- Gaylord, I.G., Gatlin, D.M., 2000. Assessment of Compensatory Growth in Channel Catfish *Ictalurus punctatus* R. and Associated Changes in Body Condition indices. *Journal of the World Aquaculture Society* 31, 326–336. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2000.tb00884.x>
- Hilsdorf, A.W.S., Hallerman, E., Valladão, G.M.R., Zaminhan-Hassemer, M., Hashimoto, D.T., Dairiki, J.K., Takahashi, L.S., Albergaria, F.C., Gomes, M.E. de S., Venturieri, R.L.L., Moreira, R.G., Cyrino, J.E.P., 2022. The farming and husbandry of *Colossoma macropomum*: From Amazonian waters to sustainable production. *Reviews in Aquaculture* 14, 993–1027. <https://doi.org/10.1111/raq.12638>
- Hornick, J., Van Eenaeme, C., Gérard, O., Dufrasne, I., Istasse, L., 2000. Mechanisms of reduced and compensatory growth. *Domestic Animal Endocrinology* 19, 121–132. [https://doi.org/10.1016/S0739-7240\(00\)00072-2](https://doi.org/10.1016/S0739-7240(00)00072-2)
- Johansen, K.A., Overturf, K., 2006. Alterations in expression of genes associated with muscle metabolism and growth during nutritional restriction and refeeding and refeeding in rainbow trout. *Comp. Biochem. Physiol. B* 144, 119–127 <https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2006.02.001>
- Johnston, I. a N. a, 2001. *Muscle development*. Academic Press, New York Boston.
- Johnston, I.A., 2006. Environment and plasticity of myogenesis in teleost fish. *Journal of Experimental Biology* 209, 2249–2264. <https://doi.org/10.1242/jeb.02153>
- Johnston, I.A., 1999. Muscle development and growth: potential implications for flesh quality in fish. *Aquaculture* 177, 99–115. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00072-1](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00072-1)

- Johnston, I.A., Macqueen, D.J., Watabe, S., 2008. Molecular biotechnology of development and growth in fish muscle. In: Fisheries for global welfare and environment, World Fisheries Congress, Bunkyo, Tokyo. Terrapub p. 241–262.
- Kuniyoshi, Gabriel, M.L., Nunes Da Silva-Gomes, R., Cavalcante Souza Vieira, J., Casemiro Hessel, M., Assunção Mareco, E., Dos Santos, V.B., Carvalho, R.F., De Magalhães Padilha, P., Dal-Pai-Silva, M., 2019. Proteomic analysis of the fast-twitch muscle of pacu (*Piaractus mesopotamicus*) after prolonged fasting and compensatory growth. *Comparative Biochemistry and Physiology - Part D: Genomics and Proteomics* 30, 321–332. <https://doi.org/10.1016/j.cbd.2019.04.005>
- Lovell, T., 1998. Nutrition and feeding of fish. Springer US, Boston, MA. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-4909-3>
- Nebo, C., 2011. Expressão de genes relacionados ao crescimento muscular durante a restrição alimentar e relacionamento em juvenis de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*. Aleph 94p.
- Nebo, C., Gimbo, R.Y., Kojima, J.T., Overturf, K., Dal-Pai-Silva, M., Portella, M.C., 2018. Depletion of stored nutrients during fasting in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) juveniles. *Journal of Applied Aquaculture* 30, 157–173. <https://doi.org/10.1080/10454438.2017.1420516>
- Patruno, M., Sivieri, S., Poltronieri, C., Sacchetto, R., Maccatrozzo, L., Martinello, T., Funkenstein, B., Radaelli, G., 2008. Real-time polymerase chain reaction, in situ hybridization and immunohistochemical localization of insulin-like growth factor-I and myostatin during development of *Dicentrarchus labrax* (Pisces: Osteichthyes). *Cell and Tissue Research* 331, 643–658. <https://doi.org/10.1007/s00441-007-0517-0>
- Roberts R.J., Ellis, A.E., 2012. The Anatomy and Physiology of Teleosts, in: Roberts, R.J., BVMS (Eds.), *Fish Pathology*. p. 591.
- Ruohonen, K., Kettunen, J. and King, J., 2001. Experimental design in feeding experiments. In: Jobling, D.H., M., T.B. and (Eds.), *Feed intake in fish*. Blackwell Scientific, Oxford, UK, pp. 88–106.
- SAS 2013. Statistical analysis system user's guide. SAS Institute, Cary. (Software Version 9.4).
- Souza, V.L., Urbinati, E.C., Gonçalves, D.C., Silva, P.C., 2002a. Composição corporal e índices biométricos do pacu, *Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887 (Osteichthyes, Characidae) submetido a ciclos alternados de restrição alimentar e realimentação. *Acta Scientiarum - Biological and Health Sciences* 24, 533–540.
- Souza, V.L., Urbinati, E.C., Martins, M.I.E.G., Silva, P.C., 2002b. Avaliação do crescimento e do custo da alimentação do pacu (*Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887) submetido a ciclos alternados de restrição alimentar e realimentação. *Revista Brasileira de Zootecnia* 32, 19–28. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982003000100003>
- Veggetti, A., Mascarello, F., Scapolo, P.A., Rowlerson, A., Carnevali, M.D.C., 1993. Muscle growth and myosin isoform transitions during development of a small teleost fish, *Poecilia reticulata* (Peters) (Atheriniformes, Poeciliidae): a histochemical, immunohistochemical, ultrastructural and morphometric study. *Anatomy and Embryology* 187, 353–361. <https://doi.org/10.1007/BF00185893>

- Wood, C.M., Gonzalez, R.J., Ferreira, M.S., Braz-Mota, S., Val, A.L., 2018. The physiology of the Tambaqui (*Colossoma macropomum*) at pH 8.0. *Journal of Comparative Physiology B* 188, 393–408. <https://doi.org/10.1007/s00360-017-1137-y>
- Zar, J.H. (2010) *Biostatistical Analysis*. 5th Edition, Prentice-Hall/Pearson, Upper Saddle River, xiii, 944 p.
- .