

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

EFEITOS DA RESTRIÇÃO ALIMENTAR E
REALIMENTAÇÃO EM PACUS (*Piaractus mesopotamicus*)
EM DUAS FASES DE CULTIVO EM TANQUES-REDE

Acadêmica: Marilda Ribeiro Soares Davalo

Aquidauana - MS
Agosto / 2020

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

EFEITOS DA RESTRIÇÃO ALIMENTAR E
REALIMENTAÇÃO EM PACU (*Piaractus mesopotamicus*)
EM DUAS FASES DE CULTIVO EM TANQUES-REDE

Acadêmica: Marilda Ribeiro Soares Davalo
Orientadora: Prof.^a Dr^a Cristiane Meldau de Campos Amaral

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

Aquidauana-MS
Agosto / 2020

D267e Davalo, Marilda Ribeiro Soares

Efeitos da restrição alimentar e realimentação em pacu (*Piaractus mesopotamicus*) em duas fases de cultivo em tanques-rede / Marilda Ribeiro Soares Davalo. – Aquidauana, MS: UEMS, 2020.

97p.

Dissertação (Mestrado) – Zootecnia – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, 2020.

Orientadora: Prof. Dra. Cristiane Meldau de Campos Amaral.

1. Ganho compensatório 2. Peixe 3. Reservas metabólicas
I. Amaral, Cristiane Meldau de Campos II. Título

CDD 23. ed. - 597

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

MARILDA RIBEIRO SOARES DAVALO

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

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 02/10/2020.



Dra. Cristiane Fátima Meldau de Campos Amaral (Orientadora)



Dra. Gisele Cristina Fávero, UFMG

(via videoconferência)



Dra. Claucia Aparecida Honorato da Silva, UFGD

(via videoconferência)

Você não encontrará nenhuma paixão se se conforma com uma vida
que é inferior àquela que é capaz de viver.”

Nelson Mandela

Dedico este trabalho ao meu esposo Mario Arcenio Davalo pelo seu amor,
dedicação e companheirismo em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

À Deus, principalmente por ter me permitido viver e ter condições de realizar mais esse sonho.

À minha família, em especial aos meus pais Maria Jomerci e Trajano, por sempre estarem comigo, independente do caminho escolhido e por me passarem valores fundamentados pelos seus gestos e ações, tanto na esfera familiar quanto social. Espero estar com vocês por toda a eternidade.

À minha orientadora Cristiane Meldau, exemplo de mulher forte, inteligente e motivadora, que foi capaz de me transmitir conhecimento, até mesmo com o seu olhar e com os segundos de silêncio, entre uma frase e outra em nossas conversas. Serei eternamente grata.

Ao programa de Pós-graduação em Zootecnia, da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, por me permitir fazer parte de sua comunidade científica. O levarei comigo, com muita satisfação, na caminhada por novos desafios acadêmicos. Agradeço a cada um dos professores e funcionários que tive o prazer de conhecer nessa etapa de minha vida.

À equipe do Laboratório de Sanidade de Peixes, ao qual faço parte, por estarem dispostos em me ajudar nos momentos de manejo a campo e também nas práticas laboratoriais, especialmente os amigos Fayane Espírito Santo, Gleice Souza, Lucas Zotesco, Ueslei de Paula e Patrini Rodrigues.

À equipe do Laboratório de Patologia Experimental da UFMS de Campo Grande – MS pela disponibilidade em me auxiliar na preparação das lâminas

histológicas. Aqui destaco a doutoranda Karine N. Farias, pela assistência em todos as etapas que necessitei de seus conhecimentos.

À Regina Célia Marins, educadora a qual passei a me espelhar e que me possibilitou testemunhar o fato de que o professor transforma o ato de educar e a educação transforma vidas.

Aos meus amigos Jair Ávila e Dirce Neponoceno, a família que Deus me reservou no Mato Grosso do Sul. A vocês o meu amor e a minha gratidão por tudo que fizeram e fazem por mim. Agradeço por cada momento que vivido ao lado do Gabriel e da Ketlin.

À amiga Fúlvia Oliveira, sinônimo de serenidade, por abraçar todas as fases do meu mestrado, com mente e coração dispostos a me ajudar, independente da necessidade.

À Rubia Mara, uma ex-aluna amada, que posteriormente retornou a minha vida como amiga no programa de mestrado e companheira na mesma equipe e pesquisa. Sou muito grata à vida por me permitir essa experiência.

À Gleice Kelli Vieira, a quem aprendi a amar desde os primeiros dias de convivência. Obrigada por tudo que já fez por mim e por tornar os meus dias ainda melhores. Peço a Deus que me permita tê-la sempre perto de mim, independente da distância física.

À Érica Moreira, minha irmã de alma. Agradeço por me motivar com o seu amor e por acreditar sempre que vencerei os desafios que a vida me traz, mesmo quando estou perdendo a batalha. Peço a Deus que os nossos caminhos se cruzem *ad aeternum*.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS	27
1. INTRODUÇÃO	27
2. REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1 A piscicultura brasileira	2
2.2 Restrição alimentar	3
2.3 Ganho compensatório	5
2.4 Perfil bioquímico de peixes	8
2.4.1 Glicose	8
2.4.2 Lipídios	10
2.4.3 Proteínas totais	14
2.5 Histomorfometria de hepatócitos	15
2.6 PACU (<i>Piaractus mesopotamicus</i>)	16
3. OBJETIVOS	19
3.1 Objetivo geral	19
3.2 Objetivos específicos	19
REFERÊNCIAS	20

CAPÍTULO 2 - PACUS (PIARACTUS MESOPOTAMICUS) PRODUZIDOS EM TANQUES-REDE SUPTAM CICLOS DE RESTRIÇÃO ALIMENTAR E REALIMENTAÇÃO (AQUACULTURE).....	30
1. INTRODUÇÃO	30
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	31
2.1 Local de realização do experimento	31
2.2 Monitoramento da qualidade da água de cultivo	32
2.3 Delineamento experimental	32
2.4 Manejo alimentar	32
2.5 Desempenho produtivo.....	32
2.6 Colheita sanguínea.....	33
2.7 Análises hematológicas	33
2.8 Análises bioquímicas do plasma	34
2.9 Histomorfometria dos hepatócitos	34
2.10 Análises estatísticas	35
3. RESULTADOS.....	35
3.1 Desempenho produtivo	36
3.2 Perfil hematológico.....	36
3.3 Perfil bioquímico do plasma	39
3.4 Histomorfometria de hepatócitos.....	39
4. DISCUSSÃO	42
5. CONCLUSÃO	46
6. REFERÊNCIAS.....	47
CAPÍTULO 3 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
APÊNDICE.....	54

LISTA TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros do desempenho zootécnicos (médias $\pm$ desvio-padrão) no cultivo de pacus (<i>Piaractus mesopotamicus</i>), após ciclos quinzenais de restrição alimentar e realimentação (CR) ou alimentados continuamente (SR), durante 30 dias na fase I e 60 dias na fase II	37
Tabela 2 – Perfil hematológico (médias $\pm$ desvio-padrão) no cultivo de pacus (<i>Piaractus mesopotamicus</i>), após ciclos quinzenais de restrição alimentar e realimentação (CR) ou alimentados continuamente (SR), durante 30 dias na fase I e 60 dias na fase II	38
Tabela 3 – Parâmetros histomorfométricos de hepatócitos (médias $\pm$ desvio-padrão) de pacus (<i>Piaractus mesopotamicus</i>), após ciclos quinzenais de restrição alimentar e realimentação (CR) ou alimentados continuamente (SR), durante 30 dias na fase I e 60 dias na fase II	41

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1

Figura 1 - Via da glicólise, Fonte: Pereira, 2014.	9
Figura 2 - Glicose Figura 2 - Glicogenólise, Fonte: NELSON ; COX (2011).....	10
Figura 3 - Degradação de triglicerídeos, Fonte: MARZZOCO; TORRES (2015).....	11
Figura 4 - Oxidação do glicerol, Fonte: MARZZOCO; TORRES (2015).....	112
Figura 5 - Biossíntese de colesterol, Fonte: NELSON e COX (2011).	13
Figura 6 - Efeitos fisiológicos da albumina, Fonte: FALCÃO e JAPIASSÚ (2011)	14

Capítulo 2

Figura 1 - Níveis plasmáticos de glicose (a), triglicerídeos (b), colesterol sérico (c) e proteínas totais (d) de pacus, após ciclos quinzenais de restrição alimentar e realimentação (CR) ou alimentados continuamente (SR) , durante 30 dias na fase I e 60 dias na fase II	54
--	----

RESUMO

A restrição alimentar seguida de realimentação é uma estratégia alimentar que permite a avaliação do ganho compensatório, que representa uma resposta biológica aos intervalos de privação alimentar. Contudo, além do desempenho zootécnico, existe a necessidade de se avaliar a saúde dos animais e a interferência deste na fisiologia do peixe. Com este estudo o objetivo foi avaliar o efeito de restrição alimentar seguida de realimentação em pacus (*Piaractus mesopotamicus*), em duas fases experimentais, por meio da análise de parâmetros de desempenho zootécnico, hematológicos, bioquímicos e histomorfométricos de fígado. O experimento foi realizado em uma propriedade rural (20°34'45 70"S 55°57'5140"W) em Anastácio, MS. Foram utilizados seis tanques-rede com volume útil de 4 m³ cada, enfileirados em uma represa de 5 ha de lâmina d'água. Na primeira fase foram distribuídos aleatoriamente 960 peixes (368,44 ± 155,05 g) em tanques-rede. O delineamento foi inteiramente casualizado e os peixes divididos em dois grupos, sendo alternados 15 dias de restrição alimentar seguidos de 15 dias de realimentação (CR) em um e, em outro, os peixes alimentados de forma contínua (SR), por um intervalo de 30 dias. Decorrido o período experimental, foram realizadas biometria, colheita sanguínea e coleta de amostra do fígado. Os dados foram submetidos à análise de variância ao nível de 5% de significância. A taxa de sobrevivência foi de 91,04±10,69% para o grupo CR e 93,54±2,82% para o grupo SR. O fator de condição foi de 2,15±0,24 e 2,16±0,02, respectivamente para os peixes CR e SR. O ganho de peso médio foi de 124,51±108,73 g e 153,04±118,18 g, respectivamente para os peixes CR e SR, porém, assim como para os demais parâmetros zootécnicos, não houve diferença significativa entre os dois grupos, com exceção do consumo de ração. Não houve diferença significativa ($p>0,05$) para os parâmetros hematológicos, bioquímicos e histomorfométricos. Pacus de 368,44 ± 155,05 g submetidos à restrição alimentar de 15 dias e realimentação em 15 dias posteriores cresceram iguais e não apresentaram alterações na

histomorfometria hepática e fisiologia, comparados aos peixes sem restrição. Na segunda fase foram estocados 600 pacus ($780,40 \pm 96,17$ g) em tanques-rede. Os peixes foram divididos em dois grupos, um que passou por restrição alimentar de 15 dias seguidos de 15 dias de realimentação (CR) e outro em que os peixes foram alimentados diariamente (SR), por um período de 60 dias. O delineamento foi inteiramente casualizado. Ao término dessa fase experimental, foram realizadas biometria e colheita sanguínea, seguindo a mesma metodologia da anterior. Os dados foram submetidos à análise de variância ao nível de 5% de significância. A taxa de sobrevivência foi de $94,33 \pm 0,58\%$ para CR e $94,33 \pm 2,08\%$ para SR. O fator de condição do tratamento CR foi de $1,83 \pm 0,19$ e o valor de SR foi de $1,79 \pm 0,26$. Houve diferença significativa para o consumo de ração ($p < 0,05$), porém o mesmo não foi observado para os demais parâmetros zootécnicos ($p > 0,05$), bem como para os parâmetros hematológicos, bioquímicos e histomorfométricos ($p > 0,05$). Diante dos dados apresentados, verifica-se que os peixes submetidos à restrição alimentar não apresentaram diferenças significativas com relação aos parâmetros analisados, quando comparados aos que receberam alimentação diariamente. Assim, os resultados em ambas as fases sugerem um ganho compensatório total e que prováveis efeitos provocados pela privação alimentar no fígado não ocorreram ou foram revertidos.

Palavras-chave: Ganho compensatório, Peixe, Privação alimentar, Reservas metabólicas.

ABSTRACT

Feed restriction followed by feedback is a feeding strategy that allows the assessment of compensatory gain, which represents a biological response to food deprivation intervals. However, in addition to zootechnical performance, there is a need to evaluate the health of animals and their interference in fish physiology. This study aimed to evaluate the effect of food restriction followed by feedback in pacus (*Piaractus mesopotamicus*), in two experimental phases, through the analysis of parameters of zootechnical, hematological, biochemical and histomorphometric liver performance. The experiment was carried out on a rural property (20°34'45 70 "S 55°57'5140" W) in Anastácio, MS.. Six net tanks with a useful volume of 4 m³ each were used, lined up in a dam of 5 ha of water depth. In the first phase, 960 fish (368.44 ± 155.05 g) were also distributed in net tanks. The design was completely randomized and the fish were divided into two groups, alternating 15 days of food restriction and 15 days of feedback (CR) in one and the other fish fed continuously (SR), for an interval of 30 days. After the experimental period, biometrics, blood collection and liver sample collection were performed. The survival rate was 91.04 ± 10.69% for the CR group and 93.54 ± 2.82% for the SR group. CR fish showed a condition factor of 2.15 ± 0.24 and in SR the value was 2.16 ± 0.02. The average weight gain was 124.51 ± 108.73 g and 153.04 ± 118.18 g, respectively for CR and SR fish, however, as well as for the other zootechnical parameters, there was no significant difference between the two groups. , with the exception of feed consumption. There was no significant difference ($p > 0.05$) for hematological, biochemical and histomorphometric parameters. Pacus weighing 368.44 ± 155.05 g subjected to 15-day food restriction and 15-day feed-back grow the same and show no changes in liver histomorphometry and physiology compared to unrestricted fish. In the second phase, 600 pacus (780.40 ± 96.17 g) were stored in net tanks. The fish were divided into two groups, one that underwent food restriction for 15 days followed by 15 days of feedback (CR) and another in which the fish were fed daily (SR),

for a period of 60 days. The design was completely randomized. At the end of this experimental phase, biometrics and blood collection were performed, following the same methodology as the previous one. The data were submitted to analysis of variance at the level of 5% of significance. The survival rate was $94.33 \pm 0.58\%$ for CR and $94.33 \pm 2.08\%$ for SR. The condition factor of the CR treatment was 1.83 ± 0.19 and the SR value was 1.79 ± 0.26 . There was a significant difference for feed intake ($p < 0.05$), but the same was not observed for the other zootechnical parameters ($p > 0.05$), as well as for hematological, biochemical and histomorphometric parameters ($p > 0.05$). In view of the data presented, it appears that the fish submitted to food restriction did not present significant differences in relation to the parameters analyzed, when compared to those that received daily food. Thus, the results in both phases suggest a total compensatory gain and that probable effects caused by food deprivation in the liver did not occur or were reversed.

Keywords: Compensatory gain, Fish, Food deprivation, Metabolic reserves.

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

1. INTRODUÇÃO

A aquicultura mundial em 2018 foi responsável pela produção de 82,1 milhões de toneladas (t) de peixes, de um total de 178,5 milhões de t comercializadas (FAO, 2020). A atividade aquícola é responsável por cerca de 52% de todo peixe destinado ao consumo humano e, de acordo com o mesmo relatório, a sua produção em 2030 será de 109 milhões de toneladas, o que representará um aumento de 32% se comparado ao ano citado. No Brasil, o que se observa é que o país possui condições territoriais para se tornar um dos maiores produtores de peixe e sua produção cresceu 4,9% entre 2018 e 2019, alcançando a cifra de 758.006 mil toneladas (t). Os peixes nativos representaram em 2019 por volta de 38% desse total, ou seja, 287.930 t (PEIXE BR, 2020).

O pacu (*Piaractus mesopotamicus*), peixe nativo das bacias dos rios Paraná, Uruguai e Paraguai, está concentrado nas planícies alagadas da região Centro-Oeste do país (URBINATI; GONÇALVES, 2005). Esta espécie onívora é utilizada na piscicultura brasileira por apresentar características significantes, como boa adaptação aos sistemas de cultivo intensivo, alto valor comercial da carne, aceitação da alimentação artificial e bom desempenho zootécnico (BITTENCOURT *et al.*, 2010; BOSCOLO, 2011). Entretanto, para que se obtenha um desempenho zootécnico positivo, necessita-se que se adote um manejo alimentar que venha a contribuir com o sucesso do processo produtivo, pois este está diretamente ligada ao crescimento e conversão alimentar dos peixes (MOHSENI *et al.*, 2006).

Assim, muitas pesquisas são realizadas com o intuito de avaliar diferentes estratégias alimentares, uma vez que a formulação das dietas artificiais no regime intensivo de criação deve suprir as necessidades nutricionais e, por conseguinte, manter a sanidade do peixe. Desse modo, a disponibilidade de ração e a sua qualidade estão diretamente relacionados ao sucesso

produção piscícola (GALLARDO-COLLÍ *et al.*, 2020). Desse modo, a restrição alimentar e realimentação, como estratégia alimentar, tem sido avaliada com o objetivo de se verificar o crescimento compensatório que algumas espécies de peixes apresentam após tais períodos, o que permite a diminuição dos custos de produção (SANTOS *et al.*, 2015), pois resulta em um melhor aproveitamento da proteína ingerida, reduz o desperdício, o trabalho com a alimentação e o impacto ambiental (YENGKOKPAM *et al.*, 2014).

Embora muitos peixes consigam passar por intervalos de restrição alimentar sem que resulte em perdas quanto ao crescimento e ganho de peso, alguns fatores podem influenciar na resposta biológica dos animais, como espécie, idade, tamanho, sanidade, estação do ano, temperatura e salinidade (TORFI MOZANZADEH, 2017). Portanto, se faz necessária a avaliação dessa estratégia alimentar, inclusive no que tange à importância de pesquisas inerentes à saúde dos peixes, como a realização de análises hematológicas, bioquímicas e da histologia de fígado, que possibilitem a verificação do estado nutricional dos peixes. Assim sendo, o presente estudo avaliou a influência da restrição alimentar e realimentação no desempenho zootécnico, hematologia, bioquímica plasmática e parâmetros hepáticos em pacus (*Piaractus mesopotamicus*), alojados em tanques-rede.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A piscicultura brasileira

A piscicultura é uma atividade que cresce no mundo e, no Brasil, não é diferente. Esta atividade vem ganhando cada vez mais notoriedade quanto à segurança alimentar e produção de renda, uma vez que fornece proteína de qualidade, bem como abre postos de emprego (BÉNÉ *et al.*, 2015), além de ser impulsionada também pela mudança de hábitos alimentares por parte de uma parcela do mercado consumidor. No ano de 2019 o crescimento da piscicultura

brasileira foi de 4,9%, comparado a 2018. Nesse mesmo período, a produção de peixe de cultivo chegou a 758.006 toneladas t, sendo que destas 287.930 t foram de peixes nativos. O montante referente aos peixes nativos reflete a estagnação do seguimento devido aos problemas pontuais quanto ao processamento e comercialização, assim como os entraves na obtenção dos recursos ambientais (PEIXE BR, 2020).

Os dados de 2019 revelam uma queda de aproximadamente dois pontos percentuais na produção total de peixes nativos, uma vez que a sua participação decresceu de 39,84% para 38%, quando comparada ao ano anterior. O estado de Rondônia ocupa o primeiro lugar no *ranking* de cultivo de peixes nativos, seguido do Mato Grosso e Maranhão (PEIXE BR, 2020). Mato Grosso do Sul ocupa o 11º lugar no *ranking* de produtores de peixes de cultivo no Brasil neste mesmo ano, com um total de 29.800 t, sendo que destas 4.500 t foram de peixes nativos. A produção nacional de pescado se concentra em viveiros escavados e tanques-rede, que se encontram em reservatórios particulares ou em águas da união.

Alguns fatores favorecem a produção piscícola brasileira, como a própria extensão de terra, o clima que permite o cultivo de diferentes espécies de acordo com as características inerentes a cada uma das cinco regiões do país e a abundância de água, pois o Brasil é detentor da maior reserva de água doce do mundo (BUENO *et al.*, 2015). A piscicultura brasileira ainda está se consolidando enquanto uma nova atividade do agronegócio, sendo que se verifica demandas urgentes, principalmente pela concorrência externa. Logo, torna-se imprescindível estudos que respondam o questionamento dos produtores e que permitam o aumento na produção, advindo de estratégias de cultivo oportunas e sustentáveis.

2.2 Restrição alimentar

A estratégia de alimentação que alterna períodos de restrição alimentar com a realimentação tem despertado em muitas pesquisas a necessidade de se avaliar as respostas de diferentes espécies de peixe com relação a esse tipo de manejo. O objetivo é a observação do ganho compensatório, que representa ganhos na massa corporal ou no comprimento (ALI, *et al.*, 2003; YENGKOKPAM, *et al.*, 2014). Para *Lophiosilurus alexandri*, de acordo com Silva *et al.* (2019), não houve diferenças significativas com relação à sobrevivência, conversão alimentar, ganho de peso diário, comprimento total e peso final. Estes foram submetidos a ciclos curtos de 6 dias de alimentação e 1 dia de jejum e 5 dias de alimentação e 2 dias de jejum. Assim, avalia-se que determinadas espécies são capazes de suportar períodos privação alimentar (OLIVEIRA *et al.*, 2015) e que peixes são capazes de reduzir os gastos metabólicos e utilizar as reservas corporais para que se mantenha os processos vitais (FURNÉ, *et al.*, 2012).

A privação alimentar provoca uma mobilização de substratos, com o intuito de se fornecer energia e atender as exigências metabólicas do organismo do peixe, embora esse processo sofra influência de alguns fatores, como por exemplo, da temperatura. De acordo com Souza *et al.* (2001), algumas alterações podem ser observadas em tecidos de peixes que passaram por um período de restrição alimentar, ocasionadas pela mobilização de glicogênio, lipídios e proteínas, embora sejam restabelecidos após a realimentação. Outra característica observada é a otimização dos índices de eficiência alimentar. Isso se deve ao fato de que algumas espécies apresentam maior crescimento e melhor conversão alimentar quando alimentadas em níveis abaixo da saciedade (SUN *et al.*, 2006).

A restrição alimentar pode também afetar o comportamento dos peixes, contribuindo inclusive para que hierarquias sejam estabelecidas. Neste caso, existe a possibilidade de se detectar uma variação de peso entre o grupo, visto que os peixes dominantes são beneficiados por terem maior acesso ao alimento (TUCKER *et al.*, 2006; OLIVEIRA *et al.*, 2015). Contudo, a estratégia de períodos curtos de restrição pode amenizar os efeitos da dominância quanto ao tamanho de indivíduos de um mesmo lote, favorecendo a homogeneidade e

processamento, principalmente por requerer menores esforços e tempo, de acordo com Silva *et al.* (2017).

A estratégia alimentar de restrição pode provocar redução de custos inerentes ao processo produtivo, que aproximadamente 70% dos custos de produção são atribuídos à alimentação (SANTOS *et al.*, 2015). Em um experimento com juvenis de matrinxã da Amazônia (*Brycon amazonicus*), Urbinati *et al.* (2014) relataram que, por um período ininterrupto de 60 dias em que um grupo permanecia em jejum por dois dias e era realimentado por três (D2R3) e o outro por quatro dias (D2R4), o consumo de ração foi 40 e 36% menor ao observado no grupo controle, respectivamente. Nesse mesmo estudo, ambos os grupos apresentaram ganho compensatório completo. Assim, a restrição alimentar seguida de realimentação representa uma alternativa no que se refere à queda dos custos inerentes à atividade, sem que haja prejuízo no desempenho dos animais.

2.3 Ganho compensatório

O ganho compensatório é o nome dado ao crescimento acelerado, após um intervalo de restrição alimentar, seguido por outro de realimentação. É usado para diminuir os custos de produção e aumentar a taxa de crescimento (FARBRIDGE *et al.*, 1992; SANTOS *et al.*, 2015). Pode ser observado e dividido em parcial, completo e sobrecompensação. As características que os definem é o crescimento dos peixes, comparado aos que não passaram por um intervalo de restrição alimentar. Desse modo, percebe-se que os animais que passaram por privação alimentar podem não atingir o peso e tamanho daqueles alimentados diariamente, embora se destaquem quanto a ingestão de alimentos, crescimento e conversão alimentar. Outras possibilidades são apresentarem os mesmos resultados ou serem ainda maiores (ALI *et al.*, 2003). Silva *et al.* (2019), em um experimento com *Lophiosilurus alexandri*, após regimes alimentares semanais de sete, seis e cinco dias de fornecimento de ração, relataram que

houve ganho compensatório completo nos tratamentos em que os peixes passaram por períodos de restrição alimentar.

A hiperfagia, um dos mecanismos que explicam o crescimento compensatório, é a ingestão excessiva de alimentos observada nos peixes que estão sendo realimentados, após um período de restrição alimentar (ALI *et al.*, 2003). A hiperfagia foi observada em juvenis de pacu que passaram por um período de 30 dias de restrição alimentar e realimentação também por 30 dias, segundo Favero *et al.* (2020). Porém, embora seja um dos principais mecanismos envolvidos no ganho compensatório, somente este comportamento não é suficiente para que animais submetidos a privação alimentar consigam atingir peso igual ou superior a animais alimentados continuamente. Em conjunto, ocorre uma alocação que contribui com alto fluxo de nutrientes assimilados durante a realimentação e que favorecem o crescimento estrutural (GURNEY *et al.*, 2003). A indução do ganho compensatório em várias espécies de peixe traz consigo alguns benefícios, tais como: maior retenção da proteína ingerida, menor necessidade de mão de obra, redução do desperdício, redução dos custos de produção e menor impacto ambiental (YENGKOKPAM *et al.*, 2014; ASHOURI *et al.*, 2019).

Os processos vitais, como a função cerebral, respiração e regulação do equilíbrio mineral, são garantidos durante o período de restrição através das reservas metabólicas Furné *et al.* (2012), observaram as adaptações metabólicas em esturjões *Acipenser naccarii* e trutas *Oncorhynchus mykiss* e concluíram que as reservas endógenas foram responsáveis pela manutenção das atividades inerentes ao metabolismo do peixe. Porém, a utilização dos componentes endógenos ocorre de forma diferente, conforme a espécie estudada (SILVA *et al.*, 1997). Durante os períodos de restrição alimentar e de alimentação, observa-se a existência de duas fases que atuam no metabolismo, a catabólica e a anabólica. A primeira utiliza as reservas de energia endógenas (glicogênio, lipídio e proteína) e causa alteração no sistema endócrino, que tem a função de regular o apetite e o potencial de crescimento (WON; BORSKI, 2013). Na segunda ocorre uma síntese de moléculas maiores e complexas, oriundas de moléculas menores e mais simples, com consumo de energia na

forma de Adenosina Trifosfato (ATP), comumente chamada de moeda energética (NELSON; COX, 2011).

O glicogênio é um polissacarídeo formado por resíduos de glicose e armazenado no fígado e no músculo, como reserva energética (GILLIS; BALLANTYNE, 1996). O glicogênio hepático é utilizado com o intuito de atender as necessidades energéticas do organismo (NAMRATA *et al.*, 2011). O glicogênio muscular é responsável por atender as necessidades metabólicas do próprio músculo, conforme afirma Van Dijk *et al.* (2005). Este metabólito pode ser utilizado em períodos de jejum, porém, isso acontece de forma diferenciada nas diferentes espécies de peixe, uma vez que ocorre desde uma acentuada glicogenólise até uma proteção parcial ou quase que total de tal reserva (MÉTON *et al.*, 2003). O experimento conduzido por Barcellos *et al.* (2010) com jundiá (*Rhamdia quelen*) sugere que o glicogênio hepático é uma fonte primária de energia em períodos de privação alimentar para esta espécie.

Os lipídios são as principais fontes de reserva de energia do organismo, sendo estas compostas principalmente por triglicerídeos, que são formados pela reação de esterificação de uma molécula de glicerol com três ácidos graxos. Com a prorrogação do jejum, gorduras do fígado, vísceras e músculos podem ser mobilizadas (VAN DEN THILLART; VAN RAAIJ, 1995). A sua utilização depende de alguns fatores, como a espécie, a própria disponibilidade de lipídios e a forma em que se dá a utilização de outras reservas de energia, como apresentado por Furné *et al.* (2012), que verificaram em esturjão e truta, a utilização de reservas metabólicas (glicogênio, lipídios e proteínas) ocorrendo simultaneamente à resposta enzimática responsável pelo processo catabólico referente à molécula a ser degradada.

As proteínas, após a impossibilidade do uso de glicogênio e de lipídios, passam a ser requeridas para a obtenção de energia (CHATZIFOTIS *et al.*, 2011). Todavia, nota-se que as proteínas não são requeridas no início do jejum, fato que implica na observação da proteólise após o consumo das demais reservas metabólicas (NAVARRO; GUTIERREZ, 1995). Costas *et al.* (2011) descrevem que em linguado senegalês *Solea senegalensis* (Kaup, 1858), triglicerídeos plasmáticos e proteína total se encontravam com níveis mais

baixos em peixes que passaram por 21 dias de restrição alimentar, o que sugere a utilização de lipídios e proteínas como fonte de energia metabólica.

A restrição alimentar e o ganho compensatório, portanto, vêm sendo estudados com diversas finalidades, destacando-se a avaliação do desempenho zootécnico e a redução da quantidade fornecida de ração. Entretanto, é de suma importância que se identifique a sanidade dos peixes que foram inseridos em um protocolo de privação alimentar seguido de realimentação. Para tal, pode-se lançar mão de algumas análises, entre elas a bioquímica do sangue e a histologia de diferentes tecidos, como por exemplo, o hepático.

2.4 Perfil bioquímico de peixes

O perfil sérico bioquímico é utilizado para detectar a situação metabólica e fisiológica do animal, uma vez que refletem a real situação que se encontra o organismo do animal. Dessa maneira, a escolha das variáveis séricas bioquímicas a serem analisadas é que determinará a eficiência destas no diagnóstico de alterações metabólicas em diferentes manejos de forma criteriosa. Essas análises costumam estar presentes nos experimentos que avaliam a restrição alimentar em diferentes espécies de peixe, destacando-se glicose triglicerídeos, colesterol e proteína total.

2.4.1 Glicose

A glicose é um parâmetro bioquímico que se destaca quando comparado aos demais, pois sofre variação quando o animal é exposto a uma condição ou agente estressor. A resposta fisiológica do animal está intimamente relacionada à utilização desse metabólito como fonte de energia para que o seu organismo suporte tal situação (SILVA *et al.*, 2019). Os organismos dos peixes se valem de

vias metabólicas para a regulação da glicose sanguínea, como glicólise e gliconeogênese.

Na via glicólise ocorre a oxidação da molécula de glicose no citosol das células até que resulte em dois piruvatos, dois ATP e dois NAD⁺ reduzidos, que irão agora para a via chamada de cadeia respiratória (Figura 1). As enzimas responsáveis pela glicólise podem ser reversíveis ou irreversíveis, sendo as segundas utilizadas para o fornecimento de informações quanto à produção e uso de energia nos tecidos. Elas também favorecem a avaliação do estado nutricional dos peixes e a via metabólica escolhida (ROTTA, 2003).

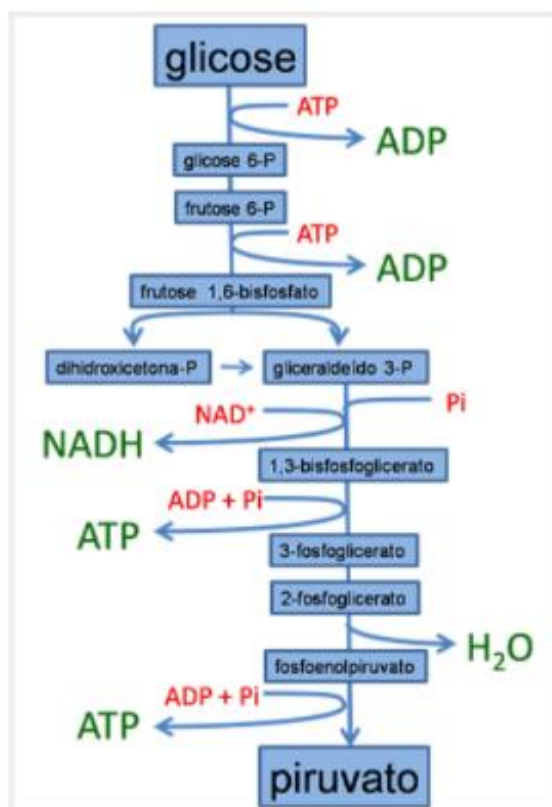


Figura 1- Via da glicólise, Fonte: Pereira,2014.

A via glicogenólise, que ocorre no fígado, é utilizada para que se mantenham os níveis de glicose sanguínea. Esta via se dá pela quebra do glicogênio (figura 2), um polímero de glicose, que é armazenado no tecido

hepático. Desse modo, a glicogenólise é percebida em períodos de jejum, nos quais se observa a diminuição da presença de glicogênio no fígado (RIBEIRO *et al.*, 2012).

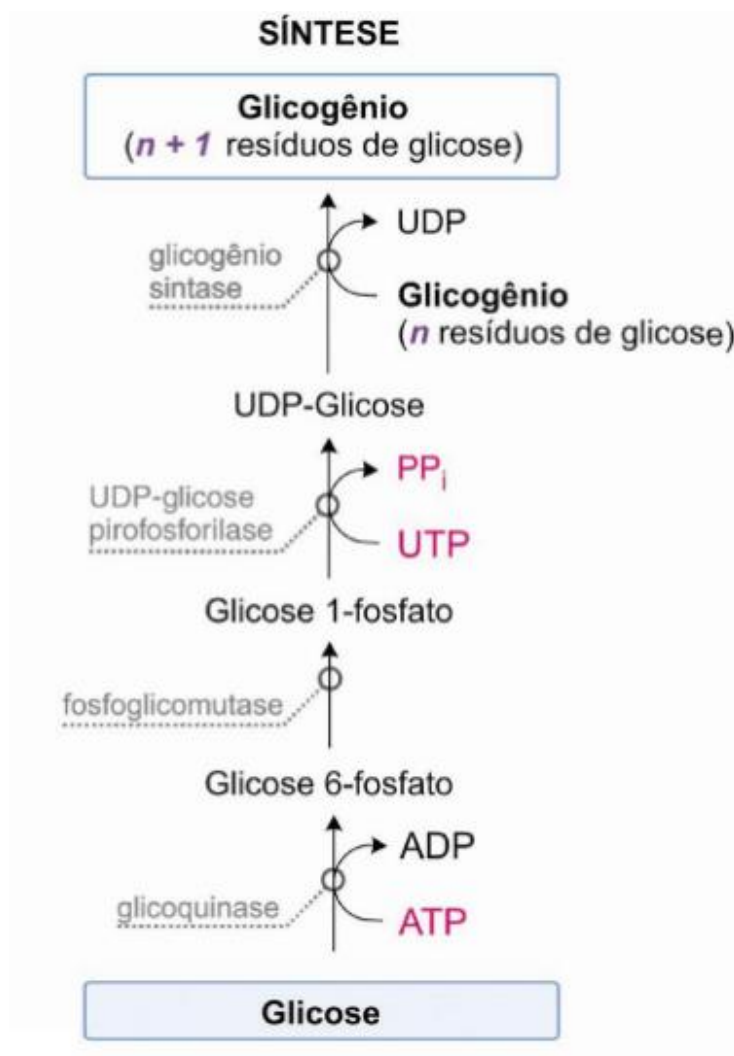


Figura 2 – Glicogenólise, Fonte: NELSON ;COX (2011).

2.4.2 Lipídios

Os lipídios são fontes de energia de suma importância para períodos de privação alimentar, pois são utilizados por muitos peixes como a primeira escolha

na manutenção da homeostase desses animais, juntamente com os carboidratos. Os dois tipos de lipídios avaliados no plasma são os triglicerídeos e o colesterol, sendo o primeiro utilizado como reserva de energia e o segundo como componente estrutural de membranas celulares e na produção do hormônio cortisol, além de outros.

A presença de triglicerídeos no plasma de um peixe em jejum pode se encontrar reduzida, visto que o transporte dos lipídios para os sítios de utilização é realizado pelos ácidos graxos, obtidos através da quebra destes, também chamada de lipólise. A mobilização dos triglicerídeos é realizada pela ação da lipase dos adipócitos, que os hidrolisa em ácidos graxos e glicerol (figura 3). Posteriormente, esses produtos continuam a ser oxidados, porém, por vias metabólicas diferentes.

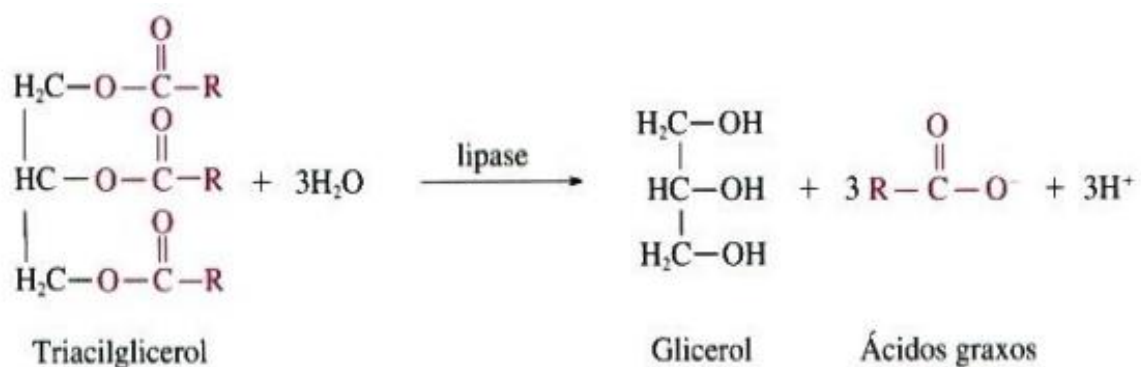


Figura 3 - Degradação de triglicerídeos, Fonte: MARZZOCO; TORRES (2015).

O glicerol não pode ser hidrolisado nos adipócitos devido à ausência do glicerol quinase (figura 4), mas com o auxílio da corrente sanguínea esse processo pode ser observado no fígado e em outras células que possuem essa enzima (MARZZOCO; TORRES, 2015).

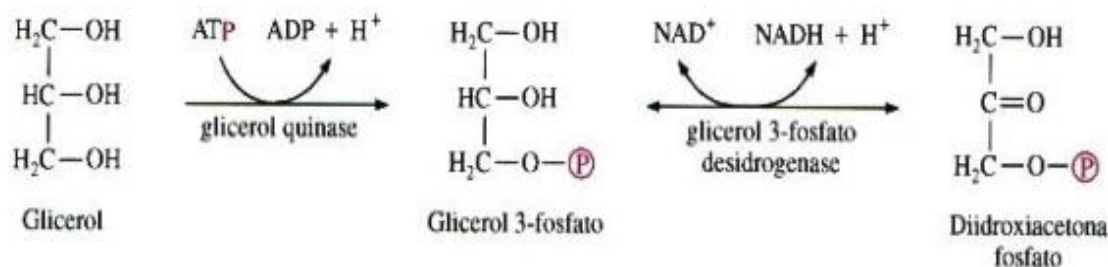


Figura 4 - Oxidação do glicerol, Fonte: MARZZOCO; TORRES (2015).

Os ácidos graxos liberados pelos adipócitos são transportados ligados à albumina e são fonte de energia em vários tecidos, como o hepático e muscular. Contudo, sabe-se que no tecido nervoso e nos eritrócitos este processo não acontece, pois são glicose dependentes (NELSON; COX, 2011). Outro importante papel do aumento de ácidos graxos plasmáticos é a inibição da liberação de glicose pelo fígado e absorção pelos órgãos periféricos (MARZZOCO; TORRES, 2015).

Em um estudo com esturjão siberiano, Ashouri *et al.* (2019) relataram que os peixes que passaram por um período de restrição alimentar de 1 a 4 semanas apresentaram diminuição de triglicerídeo plasmático, sugerindo uma mobilização lipídica do fígado e de tecidos viscerais. Além disso, revela que os lipídios são os substratos escolhidos para a gliconeogênese nos processos lipolíticos para o fornecimento de energia.

O colesterol (figura 5) é um importante componente da membrana celular, além de ser o precursor dos esteroides. A homeostasia do metabolismo do colesterol e o próprio nível do colesterol plasmático é mantido através da sua absorção, síntese e excreção (RAMALHO, 2015).

De acordo com Ramalho (2015), o fígado é o órgão que mais está ligado a essa homeostase, uma vez que sintetiza o colesterol que é transportado para os tecidos e, quando em excesso no plasma, o segrega para a biliar, a fim de que seja excretado pelas fezes. Esse mecanismo recebe o nome de transporte reverso do colesterol. Em peixes que se alimentam de soja presente nas rações

comerciais, os fitoesteróis, através da corrente sanguínea, são utilizados pelo fígado na síntese de colesterol (RAMALHO, 2015).

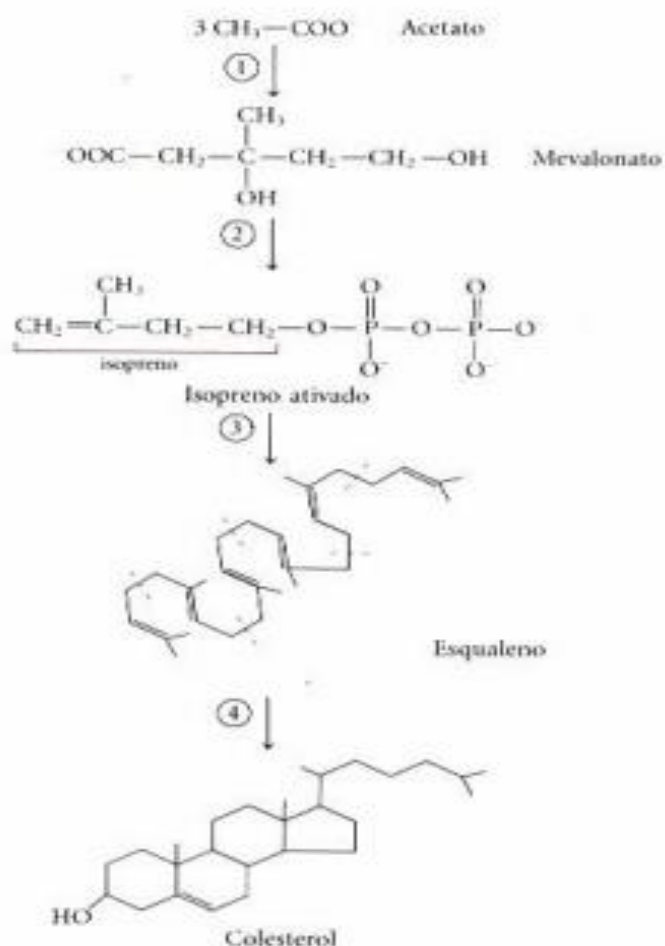


Figura 5- Biossíntese de colesterol, Fonte: NELSON e COX (2011).

O cortisol, chamado de hormônio do estresse, é sintetizado pelo tecido inter-renal, após este ser estimulado pelo hormônio adrenocorticotrópico ou corticotrofina, produzido pelo hipotálamo. A síntese do cortisol se dá pela conversão do colesterol, decorrente de processos enzimáticos (PAYNES; HALES, 2004). Dessa forma, o colesterol é utilizado como um parâmetro ao se avaliar o estresse dos peixes, inclusive em experimentos em que os peixes são submetidos à restrição alimentar seguida de realimentação. Em um ensaio com

esturjão siberiano, Jafari; Falahatkar; Sajjadi. (2018) verificaram que não houve diferença significativa no nível de colesterol entre os animais constantemente alimentados e aqueles que passaram por períodos de privação alimentar.

2.4.3 Proteínas totais

As proteínas possuem diversas funções no organismo, como defesa, contração muscular, crescimento, transporte de oxigênio, catalizadora de reações químicas, além de outras. Outro importante papel das proteínas é o de servir como indicativo da condição nutricional e saúde do animal, já que a produção dessas se dá principalmente no fígado (SHERIDAN E MOMMSEN, 1991; OLIVEIRA, 2015). Este órgão sintetiza muitas das principais proteínas totais, divididas em dois principais grupos, a albumina e as globulinas, responsáveis, por exemplo, pela manutenção da pressão osmótica, transporte de hormônios e minerais, fatores de crescimento e regulação das enzimas. A figura 6 resume os efeitos fisiológicos da albumina:

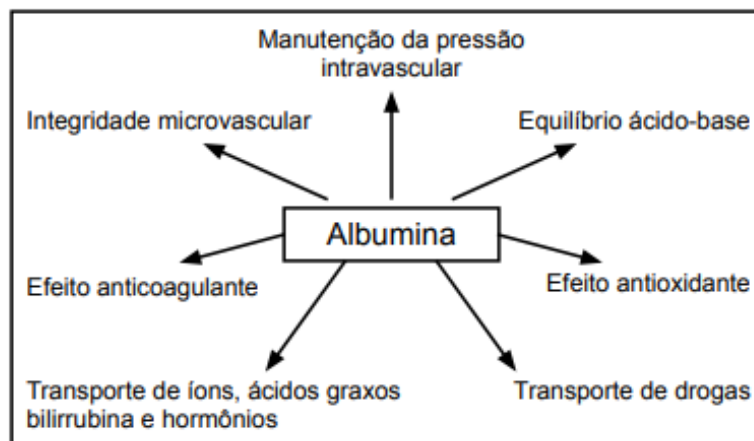


Figura 6- Efeitos fisiológicos da albumina, Fonte: FALCÃO e JAPIASSÚ (2011).

As proteínas totais podem apresentar os seus valores alterados por fatores relacionados a ingestão, absorção e produção. Assim, um animal em jejum terá as funções desse órgão comprometidas, o que resulta em uma queda das proteínas plasmáticas. Após a realimentação, os níveis destas podem aumentar,

o que foi descrito por Silva et al. (2019), em um experimento com juvenil de *Lophiosilurus alexandri*, no qual os peixes foram divididos em tratamentos com 0, 1 e 2 dias de restrição alimentar, no período de uma semana.

2.5 Histomorfometria de hepatócitos

O fígado é um órgão do sistema digestivo que, na maioria dos peixes teleósteos, é formado por dois lobos, sendo o direito próximo da vesícula biliar e o esquerdo do baço. Possui inúmeras funções, tanto endócrina quanto exócrinas, como armazenar nutrientes, sintetizar os sais biliares, regula o metabolismo dos carboidratos, lipídios e proteínas, armazena e degrada substâncias, excreta hormônios e substâncias tóxicas, atua na homeostasia e auxilia na resposta imune (GENTEN; TERWINGHE; DANGUY, 2009). O fígado se localiza na cavidade peritoneal dos peixes, mas pode, em algumas espécies se localizar em uma área maior do abdômen. O tecido hepático é formado principalmente pelos hepatócitos, mas também coexistem nesse órgão ductos biliares, capilares e veias, favorecendo as constantes trocas (GENTEN; TERWINGHE; DANGUY, 2009).

A histomorfometria dos hepatócitos permite que se avalie a sanidade dos peixes, uma vez que essas células sofrem mudanças estruturais que, mesmo sendo reversíveis, podem prejudicar o desempenho zootécnico e o resultado econômico. Isso ocorre no caso do jejum, cuja efeito pode resultar em uma redução da área e do volume do núcleo e do citoplasma (SOUZA *et al.*, 2001). Normalmente a posição do núcleo que era central torna-se periférico, surge uma cadeia de fibras colágenas, há um acúmulo de partículas de ferro, ocorre uma redução nos espaços intercelulares e a perda da organização celular. Tais achados se dão pela utilização do glicogênio que se encontrava depositado no citoplasma celular e também pela utilização do lipídio como fonte de energia. Outra mudança na estrutura celular pode ser observada quando o peixe recebe os carboidratos em quantidades superiores ao exigido nutricionalmente, sendo

nesse caso verificado um acúmulo de glicogênio no citoplasma do hepatócito, fazendo com que as células fiquem pouco coradas. Taddese *et al.* (2014) observaram uma presença elevada de lipídios nos hepatócitos, fazendo com que o núcleo das células fosse deslocado para a periferia. Contudo, conforme afirma Zarpellon (2015), as alterações hepáticas oriundas da restrição alimentar são reversíveis.

Os parâmetros comumente observados na histomorfometria de hepatócitos são a razão entre área do núcleo e a do citoplasma; a razão entre o perímetro do núcleo e o perímetro do citoplasma (R_{pnc}) e o volume nuclear do hepatócito (VNH) pela expressão $4\pi r$, sendo r o raio nuclear. Estes parâmetros, juntamente com o índice hepatossomático podem demonstrar se ocorreram lesões no tecido hepático, provocadas pelo jejum.

O índice hepatossomático é considerado um biomarcador importante ao se analisar as características do fígado, pois é específico e está diretamente relacionado ao depósito de lipídios e glicogênio nos hepatócitos (RODRIGUES *et al.*, 2017). Ainda segundo os mesmos autores, esse índice pode ser afetado pelo sexo, idade, estação do ano e condições fisiológicas, se analisados indivíduos de uma mesma espécie. No que tange aos teleósteos, os valores podem variar entre 1% e 2%.

2.6 PACU (*Piaractus mesopotamicus*)

O pacu (*Piaractus mesopotamicus*), também chamado de pacu-caranha, pertence à classe Osteichthyes, ordem Characiforme e família Characidae (BRITSKI *et al.*, 2007). Está presente nas Bacias dos rios Paraná, Paraguai e Uruguai. É considerado um peixe oportunista, já que apresenta uma alimentação variada, pois nutre-se de folhas, caules, flores, frutos, sementes, vegetais e insetos, orgânicos, crustáceos, moluscos e pequenos peixes, conforme a oferta ao longo do ano (BALDISSEROTTO; GOMES, 2013). Além disso, o pacu é uma espécie reofílica, ou seja, se desloca por distâncias consideráveis no decorrer

do período reprodutivo e a desova acontece na época da piracema. Quando alojados em viveiros, a reprodução exige que se realize a indução hormonal (BERNADINO; ALCANTARA; SENHORINI, 1988).

Além das características supracitadas, esta espécie também desperta interesse por suas características peculiares, como crescimento acelerado, rusticidade ao manejo e uma boa aceitação pelos consumidores, uma vez que a carne possui excelentes cor, textura e sabor (URBINATI; GONÇALVES, 2005; BORGES *et al.*, 2013). Ademais, é um peixe que suporta baixas taxas de oxigênio dissolvido e uma faixa ampla de temperatura (URBINATI; GONCALVES; TAKAHASHI, 2010). Também possui um intestino mais longo, o que acarreta em um tempo maior de passagem do alimento, permitindo um período maior de contato com as enzimas digestivas. Isso favorece a digestão de alimentos de baixa qualidade nutricional, sendo este um fator positivo, tendo em vista o baixo valor nutricional da ingesta (ROTTA, 2003).

De acordo com as características do pacu, torna-se imprescindíveis estudos que avaliem o seu desempenho zootécnico em diferentes sistemas de cultivo e ofertas de alimento, para que o produtor tenha alternativas que resultem em um melhor custo-benefício. Além disso, a restrição alimentar pode ser considerada também como uma alternativa para se controlar o teor de gordura no organismo do peixe, o que melhoraria a qualidade alimentar e aumentaria a aceitação por parte do consumidor.

Os peixes alojados em tanques-redes necessitam ter acesso à ração previamente pesada de acordo com a biomassa de cada tanque, o que facilita o manejo e evita excessos que resultem em uma maior reserva de gordura, inclusive no fígado. Alterações micro e macroscópicas causadas por disfunção hepática podem estar diretamente relacionadas ao acúmulo de gorduras nos hepatócitos (BOLLA; NICOLAISEN; AMIN, 2011). O acúmulo de gordura, também chamado de esteatose hepática, pode estar relacionado a uma longa exposição a um agente estressor e evidenciado pela presença de vacúolos delimitados dentro dos hepatócitos. Estes se mostram esbranquiçados após a coloração com hematoxilina e eosina (HE). O quadro 1 retrata uma compilação da literatura que aborda a restrição alimentar em pacus:

Quadro 1 – Efeitos da restrição alimentar em pacus (*Piaractus mesopotamicus*)

Título	Tratamento	Resultados	Referência
Composição corporal e índices biométricos do pacu, <i>Piaractus mesopotamicus</i> Holmberg, 1887 (osteichthyes, characidae) submetido a ciclos alternados de restrição alimentar e realimentação	Tratamento 1: alimentado diariamente; Tratamento 2: restrição alimentar de quatro semanas realimentação por nove semanas; Tratamento 3: seis semanas de restrição alimentar e realimentação por sete semanas.	Aumentaram lipídios nos peixes alimentados diariamente e proteínas e cinza não foram afetados.	Souza <i>et al.</i> (2020)
Hematologia do pacu criado em tanques-rede submetido a diferentes taxas de alimentação.	Tratamento 1: ração fornecida até a saciedade aparente; Tratamento 2: fornecimento de 90% de ração em relação ao T1; Tratamento 3: fornecimento de 80% de ração em relação ao T1; Tratamento 4: fornecimento de 70% de ração em relação ao T1.	A taxa de alimentação não alterou os parâmetros hematológicos e bioquímicos do <i>pacu</i> .	Hilbig <i>et al.</i> (2010)
O déficit de energia não afeta as respostas imunológicas de pacu infectado (<i>Piaractus mesopotamicus</i>) infectado experimentalmente	Fome (S) e alimentação contínua (F); Desafio bacteriano.	Pacus em situação de déficit de energético foram capazes de exibir proteção contra infecções.	Gimbo <i>et al.</i> (2015)
Um período de jejum durante o crescimento torna os juvenis de pacu (<i>Piaractus mesopotamicus</i>) mais magros, mas não prejudica o crescimento	Tratamento 1: peixes alimentados até a saciedade por 30 dias; Tratamento 2: 30 dias de jejum e 30 dias de realimentação.	Animais saudáveis para o mercado (menos gordura e redução do custo de ração.	Favero <i>et al.</i> (2020)

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Avaliar o efeito de restrição alimentar e realimentação no desempenho produtivo dos peixes através da homeostase metabólica e histomorfometria hepática de pacu, durante duas fases de cultivo em tanques-rede.

3.2 Objetivos específicos

- Avaliar o desempenho zootécnico de pacus submetidos a restrição alimentar seguidos de realimentação, em duas fases de cultivo em tanques-rede;
- Analisar o perfil bioquímico e hematológico de pacus submetidos a períodos alternados de 15 dias restrição alimentar e realimentação, em ensaios de 30 e 60 dias, em tanques-rede;
- Analisar a histomorfometria hepática de pacus submetidos a 15 dias de restrição alimentar seguida de um intervalo idêntico de realimentação, em ensaios de 30 e 60 dias, em tanques-rede.

REFERÊNCIAS

ALI, M. Z.; NICIEZA, A.; WOOTTON, R. J. Compensatory growth in fishes: a response to growth depression. **Fish and Fisheries**, Vancouver, v. 4, p. 147–190, jun. 2003.

ASHOURI, G.; MAHBOOBI-SOOFIANI, N.; HOSEINIFAR, S. H.; TORFI-MOZANZADEH, M.; MANI, A.; KHOSRAVI, A.; CARNEVALI, O. Compensatory growth, plasma hormones and metabolites in juvenile Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*, Brandt 1869) subjected to fasting and re-feeding. **Aquaculture Nutrition**, v. 00, p. 01-10, 2019.

BALDISSEROTTO, B.; GOMES, L.C. **Espécies Nativas para a Piscicultura no Brasil**. 2. Ed. Santa Maria: UFMS, 2013.

BARCELLOS, L. J. G.; MARQUEZE, A; TRAPP, M., QUEVEDO, R. M.; FERREIRA, D. The effects of fasting on cortisol, blood glucose and liver and muscle glycogen in adult jundiá *Rhamdia quelen*. **Aquaculture**, 300(1-4), 231–236, 2010.

BÉNÉ, C.; BARANGE, M.; SUBASINGHE, R.; PINSTRUP-ANDERSEN, P.; MERINO, G.; HEMRE, G.-I.; WILLIAMS, M. Feeding 9 billion by 2050–Putting fish back on the menu. **Food Security**, v. 7, n. 2, p. 261–274, 2015.

BERNARDINO, G.; ALCANTARA, R. C. G.; SENHORINI, J. A. Procedimentos para a reprodução induzida e alevinagem do tambaqui *Colossoma macropomum* e pacu *Piaractus mesopotamicus*. In: Simpósio Brasileiro de Aquicultura, 5, 1988, Florianópolis. **Anais** [...]. Florianópolis: Aquaciência, 1988. p. 74-79.

BIDO, Adriane Federic. **Efeitos da restrição alimentar nos sistemas imunológico e antioxidante em pacu *Piaractus mesopotamicus***. 2020. 99 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias Unesp, Câmpus de Jaboticabal, Jaboticabal, 2020.

BITTENCOURT, F.; FEIDEN, A.; SIGNOR, A. A.; BOSCOLO, W.R.; LORENZ, E.K; MALUF, M.L.F. Densidade de estocagem e parâmetros eritrocitários de pacus criados em tanques-rede. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 11, p. 2323-2329, 2010.

BOLLA, S.; NICOLAISEN, O.; AMIN, A. Liver alterations induced by long term feeding on commercial diets in Atlantic halibut (*Hippoglossus L.*) females. Histological and biochemical aspects. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 312, n. 1/4, p. 117–125, 2011.

BORGES, A.; CONTE JUNIOR, C. A.; FRANCO, R. M.; FREITAS, M.Q. Quality Index Method (QIM) developed for pacu *Piaractus mesopotamicus* and determination of its shelf life. **Food Research International**, v. 54, p. 311–317, 2013.

BOSCOLO, W. R.; SIGNOR, A.; FREITAS, J. M. A.; BITTENCOURT, F.; FEIDEN, A. Nutrição de peixes nativos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, p. 145-154, 2011.

BRITSKI, H.A.; SILIMON, K. Z.; LOPES, B. S. **Peixes do Pantanal, Manual de identificação**. Brasília: Embrapa, 2007.

BUENO, G. W.; OSTRENSKY, A.; CANZI, C.; MATOS, F. T.; ROUBACH, R. Implementation of aquaculture parks in Federal Government waters in Brazil. **Reviews in Aquaculture**, v. 7, n. 1, p. 1–12, 2015.

CHATZIFOTIS, S.; PAPADAKI, M.; DESPOTI, S.; ROUFIDOU, C.; ANTONOPOULOU, E. Effect of starvation and re-feeding on reproductive indices, body weight, plasma metabolites and oxidative enzymes of sea bass (*Dicentrarchus labrax*). **Aquaculture**, v. 316, p. 53 – 59, 2011.

COSTAS, B.; ARAGÃO, C.; RUIZ-JARABO, I.; VARGAS-CHARCOFF, L.; ARJONA, F. J.; DINIS, M. T.; MANCERA, J. M.; CONCEIÇÃO, L. E. C. Feed deprivation in Senegalese sole (*Solea senegalensis*, Kaup, 1858) juveniles: effects on blood plasma metabolites and free amino acid levels. **Fish Physiology and Biochemistry**, v. 37, p. 495 – 504, 2011.

DA SILVA, F. D.; LOPES, J. H.; SANTOS, E. L.; LIMA, M. R.; SOARES, E. C.; OLIVEIRA, W. D.; SILVA, L. L. A. Crescimento heterogêneo de tilápia do Nilo alimentadas com resíduo de biscoito na dieta. **Ciência Agrícola**, v. 15, p. 41-43, 2017.

FALCÃO, H.; JAPIASSÚ, A. M. Uso de albumina humana em pacientes graves: controvérsias e recomendações. **Revista Brasileira de Terapia Intensiva**, v. 23(1), p. 87–95, 2011.

FARBRIDGE, K. J.; FLETT, P. A.; LEATHERLAND, J. F. Temporal effect of restricted diet and compensatory increase dietary intake on thyroid function, plasma growth hormone levels and tissue lipid reserves of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. **Aquaculture**, v. 104, p. 157-174, 1992.

FAO. 2020. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2020**. In brief. 932 Sustainability in action. Rome. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 933 p.28.

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, 735242, 2020.

FURNÉ, M.; MORALES, A. E.; TRENZADO, C. E.; GARCÍA-GALLEGU, M.; CARMEN HIDALGO, M.; DOMEZAIN, A.; SANZ RUS, A. The metabolic effects of prolonged starvation and refeeding in sturgeon and rainbow trout. **Journal of Comparative Physiology**, v. 182, p. 63-76, 2012.

GALLARDO-COLLÍ, A., PÉREZ-FUENTES, M., PÉREZ-ROSTRO, C. I., & Hernández-Vergara, M. P. Compensatory growth of Nile tilapia *Oreochromis niloticus*, L. subjected to cyclic periods of feed restriction and feeding in a biofloc system. **Aquaculture Research**, v. 51, p. 1813-1823, 2020.

GENTEN, F.; TERWINGHE, E.; DANGAY, A. **Atlas of Fish Histology**. Enfield: Science Publishers, 2009.

GILLIS, T. E.; BALLANTYNE, J. S. The effects of starvation on plasma free amino acid and glucose concentrations in lake sturgeon. **Journal of Fish Biology**, v. 49, p. 1306-1316, 1996.

GIMBO, R. Y.; FAVERO, G. C.; FRANCO MONTOYA, L. N.; URBINATI, E. C. Energy deficit does not affect immune responses of experimentally infected pacu (*Piaractus mesopotamicus*). **Fish & Shellfish Immunology**, v. 43(2), p. 295–300, 2015.

GURNEY, W. S. C.; JONES, W.; VEITCH, A. T.; NISBET, R. M. Resource allocation, hyperphagia, and compensatory growth in juveniles. **Ecology**, v. 84, p. 2777-2787, 2003.

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 Physiol. Biochem.**, v. 44, p. 1363–1374, 2018.

LEHNINGER, M.; NELSON, D.L. **Princípios de Bioquímica**. 3 ed. São Paulo: Sarvier, 2002.

MARZZOCO, A; TORRES, B. B; **Bioquímica básica**. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2015.

METÓN, I.; FERNÁNDEZ, F.; BAANANTE, I.V. Short and long-term effects of refeeding on key enzyme activities in glycolysis-gluconeogenesis in the liver of gilthead seabream (*Sparus aurata*). **Aquaculture**, v.225, p.99-107, 2003.

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*. **Journal of Applied Ichthyology**, v. 22, p. 278-282, 2006.

NAMRATA, S.; SANJAY, N.; PALLAVI, C. Effect of starvation on the biochemical composition of freshwater fish *Channa punctatus*. **Recent Research in Science and Technology**, v. 2, n.3, p. 17-19, 2011.

NAVARRO, I.; GUTIÉRREZ, J. Fasting and starvation. *In*: HOCHACHKA, P. W.; MOMMSEN, P. (eds). **Biochemistry and Molecular Biology of Fishes**. Amsterdam: Elsevier Science B, cap. 17, p. 393-434, 1995.

OLIVEIRA, C. A. L.; Yoshida, R. M.; OLIVEIRA, S. N.; KUNITA, N. K.; SANTOS, A. I.; ALEXANDRE FILHO, L.; RIBEIRO, R. P. Avaliação genética de tilápias-do-nilo durante cinco anos de seleção. **Pesq. agropec. Bras**, v. 50, n. 10, p. 871-877, 2015.

PEREIRA, R. F., **Oxidação metabólica da glicose**. Disponível em: <https://rubenpereirafernandes.wordpress.com/2014/02/10/oxidacao-metabolica-da-glicose/>. Acesso em: 12 de ago 2020.

PEIXE BR. **Anuário da Piscicultura, 2020**. Disponível em: < <https://www.peixebr.com.br/anuario-2020/> >. Acesso em 15 fev. 2019.

PAYNE, A. H.; HALES, D. B. Overview of steroidogenic enzymes in the pathway from cholesterol to active steroid hormones. **Endocr. Rev.**, v. 25, p. 947–970, 2004.

RAMALHO, I.M. A.C.A. Contributo dos marcadores de síntese e de absorção do colesterol na terapêutica hipocolesterolemiantes. **Tese** (Doutorado em Ciências da Saúde) – Universidade de Coimbra. Coimbra, p. 200. 2015. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10316/27966>>. Acesso em 20 de fev. 2020.

RIBEIRO, P.A.P.; MELO, D.C.; COSTA, L.S.; TEIXEIRA, E.A. **Manejo nutricional e alimentar de peixes de água doce**. Belo Horizonte, Minas Gerais, 2012.

RODRIGUES, R. A.; SATURNINO, K. C.; FERNANDES, C. E. Liver histology and histomorphometry in hybrid sorubim (*Pseudoplatystoma reticulatum* × *Pseudoplatystoma corruscans*) reared on intensive fish farming. **Aquaculture Research**, v. 48(9), p. 5083–5093, 2017.

ROTTA, M. A. **Aspectos gerais da fisiologia e estrutura do sistema digestivo dos peixes relacionados à piscicultura**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2003. 48 p.

SANTOS, E. L.; SOUZA, A. P. L.; PONTES, E. C.; GONZAGA, L. S.; FERREIRA, A. J. S. Folha de amendoeira (*Terminalia catappa*) como aditivo promotor de crescimento em rações para alevinos de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Agropecu. Tec.**, v. 36, p. 190-196, 2015.

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, p.473-483, 1991.

SILVA, S. S.; GUNASEKARA, R. M.; AUSTIN, C. N. 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, p. 273-290, 1997.

SILVA, W. de S.; HISANO, H.; MATTIOLI, C.C.; TORRES, I. F. A.; PAES-LEME, F. de O.; LUZ, R. K. Effects of cyclical short-term fasting and refeeding on juvenile *Lophiosilurus alexandri*, a carnivorous Neotropical catfish. **Aquaculture**, v. 505, p. 12-17, 2019.

SOUZA, V. L.; LUNARDI, L. O.; VASQUES, L. H.; CASALETI, L.; NAKAGHI, L. S. O.; URBINATI, E. C. Morphometric alterations in hepatocytes and ultrastructural distribution of liver glycogen in pacu (*Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887) during food restriction and refeeding. **Brazilian Journal of Morphological Sciences**, v. 18, p. 15-20, 2001.

SUN, L.H.; CHEN, H.R.; HUANG, L.M.; WANG, Z.; YAN, Y. Growth and energy budget of juvenile cobia (*Rachycentron canadum*) relative to ration. **Aquaculture**, v.257, p.214-220, 2006.

TADDESE, F.; HUH, M.D.; BAI, S.C.; VIJVERBERG, J. Histological changes of liver in overfed young Nile tilapia. **Journal of Fisheries and Aquatic Science**, v. 9, p. 63–74, 2014.

TAKAHASHI, L.S.; BILLER-TAKAHASHI, J.D.; URBINATI, C.E. Physiological response to *Dolops carvalhoi* (Crustacea: Branchiura) infection by pacu, *Piaractus mesopotamicus*, subjected to short cycles of food restriction and refeeding. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 45, p. 567-576, 2014.

TORFI MOZANZADEH, M.; MARAMMAZI, J. G.; YAGHOUBI, M.; YAVARI, V.; AGH, N.; GISBERT, E. Somatic and physiological responses to cyclic fasting and re-feeding periods in sobaity sea bream (*Sparidentex hasta*, Valenciennes 1830). **Aquaculture Nutrition**, v. 23(1), p. 181–191, 2017.

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

URBINATI, E. C.; GONCALVES, F. D.; TAKAHASHI, L. S. Pacu *Piaractus mesopotamicus*. In: BALDISSEROTO, B; GOMES, L. C. (org.). **Espécies Nativas para piscicultura no Brasil**. 2. ed. Santa Maria: UFSM, 2010. cap. 8, p. 1-606.

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, 2014.

VAN DEN THILLART, G.; VAN RAAIJ, M. Circulatory substrate fluxes and their regulation. In: HOCHACHKA, P.W., MOMMSEN, T.P. (eds.). **Metabolic biochemistry, biochemistry and molecular biology of fish**. Amsterdam: Elsevier, v.4, p.14-63, 1995.

VAN DIJK, P. L. M.; HARDEWING, I.; HÖLKER, F. Energy reserves during food deprivation and compensatory growth in juvenile roach: the importance of season and temperature. **Journal of Fish Biology**, v. 66, p. 167–181, 2005.

WON, E. T.; BORSKI, R. J. Endocrine Regulation of Compensatory Growth in Fish. **Frontiers in Endocrinology**, v. 4, 2013.

YENGKOKPAM, S; PAL, A. K.; SAHU, N. P.; DEBNATH, D. Compensatory growth, feed intake and body composition of *Labeo rohita* fingerlings following feeding deprivation. **Aquaculture Nutrition**, v. 20, n. 2, p. 101-108, 2014.

ZARPELLON, I. **Taxa de alimentação para juvenis de pirapitinga criados em hapas**, 2015. 61 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Escola de Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

CAPITULO 2- PACUS (*PIARACTUS MESOPOTAMICUS*) PRODUZIDOS EM TANQUES-REDE SUPORTAM CICLOS DE RESTRIÇÃO ALIMENTAR E REALIMENTAÇÃO (AQUACULTURE)

Marilda Ribeiro Soares Davalo^{a,1}

^a Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, UEMS, Programa de Pós-graduação em Zootecnia, Rodovia Aquidauana_UEMS, km 12 Zona Rural, 79. 200-000 Aquidauana, Mato Grosso do Sul, Brasil

Resumo

Objetivou-se com este estudo avaliar os efeitos da restrição alimentar e realimentação em pacu (*Piaractus mesopotamicus*) sobre os parâmetros de desempenho zootécnico, hematológicos, bioquímicos e histomorfometria hepática. O pacu é um peixe que responde de forma positiva à estratégia de restrição alimentar, pois é uma espécie reofílica, o que faz com que nade por longas distâncias sem se alimentar, utilizando-se das reservas energéticas. O experimento foi realizado em duas fases distintas, sendo a primeira de 30 e a segunda de 60 dias. Na primeira fase, 900 peixes ($368,44 \pm 155,05$ g) foram alojados em seis tanques-rede de 4 m³ de volume útil. Os pacus foram distribuídos em dois tratamentos e três repetições, em um delineamento inteiramente casualizado. Os peixes foram divididos em dois grupos, sendo 15 dias de restrição alimentar seguidos de 15 dias de realimentação (CR) e outro grupo continuamente alimentado (SR). Após o período experimental foi realizada biometria, colheita sanguínea e coleta do fígado. Os dados foram submetidos à análise de variância ao nível de 5% de significância. A taxa de sobrevivência foi de 93,54% para o grupo CR e 91,04% para o grupo SR. O fator de condição foi de 2,15 para CR e de 2,16 para SR. O ganho de peso médio foi de 124,51 g e 153,04 g, respectivamente para os peixes CR e SR, não sendo observado diferença significativa entre os dois grupos, como verificado para os demais parâmetros zootécnicos. Para os parâmetros hematológicos, bioquímicos e histomorfométricos não houve diferença significativa ($p>0,05$). Portanto, pacus de $368,44 \pm 155,05$ g submetidos à restrição alimentar de 15 dias e realimentação em 15 dias posteriores apresentam o mesmo crescimento comparados aos sem restrição, assim como não apresentam alterações na histomorfometria hepática e fisiologia. Na segunda fase foram estocados 600 pacus ($780,40 \pm 96,17$ g) em tanques-rede e divididos em dois grupos, um que passou por restrição alimentar de 15 dias seguidos de 15 dias de realimentação (CR) e outro alimentado diariamente (SR), por um período de 60 dias. A metodologia adotada foi a mesma da fase anterior. A taxa de sobrevivência foi de 94,33% para ambos os tratamentos. O fator de condição foi de 1,83 para CR e 1,79 para SR e não houve diferença significativa para estes os demais parâmetros zootécnicos ($p>0,05$), com exceção do consumo de ração ($p<0,05$), bem como para os parâmetros hematológicos, bioquímicos e histomorfométricos ($p>0,05$). Os peixes submetidos à restrição alimentar não apresentaram diferenças significativas com relação aos parâmetros analisados, quando comparados aos que receberam alimentação diariamente. Portanto, os

resultados em ambas as fases sugerem um ganho compensatório total e não houve na histomorfometria do fígado.

Palavras-chave: Ganho compensatório; Peixe; Privação alimentar; Reservas metabólicas.

Abstract

The objective of this study was to evaluate the effects of food restriction and feedback in pacu (*Piaractus mesopotamicus*) on zootechnical, hematological, biochemical and liver histomorphometric performance parameters. The pacu is a fish that responds positively to the food restriction strategy, as it is a reophilic species, which makes it swim for long distances without feeding, using energy reserves. The experiment was carried out in two distinct phases, the first being 30 and the second 60 days. In the first phase, 900 fish (368.44 ± 155.05 g) were housed in six net tanks of 4 m³ of useful volume. The pacus were distributed in two treatments and three repetitions, in a completely randomized design. The fish were divided into two groups, with 15 days of food restriction followed by 15 days of feedback (CR) and another group continuously fed (SR). After the experimental period, biometrics, blood collection and liver collection were performed. The data were submitted to analysis of variance at the level of 5% of significance. The survival rate was 93.54% for the CR group and 91.04% for the SR group. The condition factor was 2.15 for CR and 2.16 for SR. The average weight gain was 124.51 g and 153.04 g, respectively for CR and SR fish, with no significant difference between the two groups, as observed for the other zootechnical parameters. For hematological, biochemical and histomorphometric parameters, there was no significant difference ($p > 0.05$). Therefore, pacus of 368.44 ± 155.05 g subjected to 15-day food restriction and 15-day refeed presented the same growth compared to unrestricted ones, as well as no changes in liver histomorphometry and physiology. In the second phase, 600 pacus (780.40 ± 96.17 g) were stored in net-tanks and divided into two groups, one that underwent a 15-day food restriction followed by 15 days of feedback (CR) and another fed daily (SR), for a period of 60 days. The methodology adopted was the same as

in the previous phase. The survival rate was 94.33% for both treatments. The condition factor was 1.83 for CR and 1.79 for SR and there was no explanatory difference for this zootechnical parameters ($p > 0.05$), with the exception of feed consumption ($p < 0.05$), as well as for hematological, biochemical and histomorphometric parameters ($p > 0.05$). Fish enriched to the non-food diet differentiated in terms of compensation parameters, when compared to those receiving daily food. Therefore, the results in both phases as advantages a total compensatory gain and there was no liver histomorphometry.

Keywords: Compensatory gain; Fish; Food deprivation; Metabolic reserves.

1. Introdução

Alguns peixes são capazes de sobreviver por períodos longos de privação alimentar, uma vez que a escassez de alimento pode ser vivenciada no seu habitat natural (Sheridan e Mommsen, 1991, Boeck et al., 2013). Desse modo, a restrição alimentar seguida de realimentação se justifica pela capacidade que muitos peixes têm de recuperar os índices metabólicos, crescerem e apresentarem melhores índices zootécnicos, processo conhecido como crescimento compensatório (Yengkokpam et al., 2013). Isso ocorre devido à aptidão destes animais em limitar os gastos metabólicos e utilizar as reservas metabólicas, como glicogênio, lipídios e proteínas para a manutenção dos processos vitais (Furné et al., 2012).

O ganho compensatório está intimamente ligado ao período de duração da restrição alimentar e esta prática propicia uma redução no consumo de ração e de mão-de-obra (Gonçalves et al., 2014), melhora a qualidade da água devido a uma menor entrada de matéria orgânica no ambiente (Takahashi et al., 2010), além de permitir o controle do teor de gordura corporal (Favero et al., 2020). Contudo, períodos de restrição alimentar e realimentação podem provocar alterações no tubo digestivo de diversas espécies de peixes e no organismo do animal quanto à fisiologia, ao metabolismo e comportamento (Chen et al., 2017).

O fígado, órgão anexo do sistema digestório, pode apresentar algumas alterações provocadas pela estratégia alimentar adotada no período de cultivo.

Portanto, a histomorfometria hepática torna-se relevante na investigação de anomalias metabólicas, bem como as variáveis hematológicas e bioquímicas. Os parâmetros hematológicos e bioquímicos do plasma são utilizados como alternativas na observação das alterações fisiológicas do organismo de animais que se veem submetidos a alguma situação antagônica, como desafios nutricionais e desequilíbrios ambientais, que podem interferir no desempenho produtivo (Rosol e Capen, 1989; Morshedl et al., 2017).

A restrição alimentar, como uma estratégia alimentar, é estudada em peixes, como o pacu, principalmente por ser uma espécie nativa reofílica, ser aclimatado à criação intensiva, possuir hábitos alimentares menos dispendiosos, ser resistente às alterações ambientais, ter quantidade expressiva de reserva metabólica (Volkoff et al., 2017; Mastrochirico-Filho, 2019), além de ser bem aceita pelos consumidores devido ao sabor de sua carne. Desse modo, com o presente estudo, o objetivo foi avaliar o efeito de restrição alimentar e realimentação no desempenho produtivo dos peixes, na homeostase metabólica e na histomorfometria hepática de pacus produzidos em tanques-rede.

2. Material e métodos

Este experimento foi realizado em duas fases distintas com pacu *Piaractus mesopotamicus*, cujo intuito foi o de testar o protocolo de restrição alimentar seguido de realimentação. Os procedimentos realizados ao longo desse estudo obedeceram a legislação e norma que rege a utilização de animais em experimentos de pesquisa. Este projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), protocolo número 015/2019.

2.1 Local de realização do experimento

O experimento foi realizado em uma propriedade rural, sediada no município de Anastácio, Mato Grosso do Sul. Foram instalados seis tanques-rede, com volume útil de 4 m³ cada, em uma represa de 5 ha de lâmina d'água, sendo o experimento realizado nas mesmas condições do cultivo comercial.

2.2 Monitoramento da qualidade da água de cultivo

A qualidade da água de cultivo foi mensurada, semanalmente, dentro dos tanque-redes e os valores médios foram $6,7 \pm 0,7$ para pH; $6,5 \pm 0,5$ mg.L⁻¹ para oxigênio dissolvido; $0,003 \pm 0,005$ µg.L⁻¹ para amônia tóxica e $26 \pm 4,5^\circ\text{C}$ para temperatura. Estes resultados estão de acordo com os recomendados para o desenvolvimento dos peixes (Boyd, 2012).

2.3 Delineamento experimental

Este experimento foi conduzido em dois momentos, sendo o primeiro período de 30 dias e o segundo de 60 dias. Na primeira fase foram utilizados 960 pacus na densidade de estocagem de 40 peixes/m³, com peso médio inicial de $368,44 \pm 155,05$ g e comprimento médio de $26,52 \pm 5,0$ cm. Na segunda fase foram estocados 600 pacus com densidade de 25 peixes/m³, peso médio inicial de $780,40 \pm 96,17$ g e comprimento médio de $34,25 \pm 1,58$ cm. Para ambas as fases foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado com dois tratamentos (com e sem restrição alimentar) e três repetições cada.

2.4 Manejo alimentar

Os peixes foram alimentados com ração comercial extrusada com 5 mm na primeira fase e 8 mm na segunda fase. A ração disponibilizada aos peixes possuía, conforme informado pelo fabricante, 28% de proteína, 5% de extrato etéreo, 3,5% de matéria fibrosa e 10% de matéria mineral.

A quantidade de ração fornecida na primeira fase do experimento foi calculada baseada em 5% do peso dos pacus e na segunda fase a proporção foi de 3%. A ração foi disponibilizada em dois horários, às 8:00 h e 16:00 h.

2.5 Desempenho produtivo

Foi realizada uma biometria inicial para que os peixes fossem distribuídos nos tanques-rede, bem como biometrias a cada 15 dias nas duas fases experimentais. Os peixes foram medidos com a utilização de ictiômetro e pesados com balança digital pendular, o que permitiu que as quantidades de ração fossem reajustadas de acordo com as biomassas calculadas nos tanques.

Antes das biometrias, os peixes permaneciam 24 horas em jejum para que ocorresse o esvaziamento intestinal.

Foram determinadas as seguintes variáveis:

- Ganho de comprimento (GC):

$GC = (\text{comprimento médio final} - \text{comprimento médio inicial});$

- Ganho de peso (GP):

$GP = (\text{peso médio final} - \text{peso médio inicial});$

- Ganho em biomassa (GB):

$GB = \text{biomassa final} - \text{biomassa inicial};$

- Taxa de sobrevivência (TS):

$TS = (\text{número final de peixes} / \text{número inicial de peixes}) \times 100;$

- Consumo de ração:

$C = \text{ração fornecida (kg)/dia} \times \text{n}^\circ \text{ total de dias referente ao período experimental};$

- Índice hepatossomático (IHS):

$IHS = \{\text{peso do fígado (g)} / \text{peso corporal (g)}\} \times 100$

- Fator de condição (K):

$K = 100 \times \{\text{peso (g)} / \text{comprimento total (cm)}^3\}$

2.6 Colheita sanguínea

Ao final dos dois períodos experimentais, os peixes foram anestesiados com solução de eugenol (óleo de cravo), na concentração de 50 mg.L⁻¹. As colheitas de sangue foram realizadas por venopunção do vaso caudal, com seringas banhadas em EDTA a 3% e agulhas descartáveis, nas mediações da própria represa. Foram realizadas colheitas sanguíneas em 10 exemplares de cada unidade experimental, totalizando 60 peixes em ambas as fases. Posteriormente, o sangue foi encaminhado ao Laboratório de Sanidade de Peixes para as análises hematológicas, na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, na Unidade Universitária de Aquidauana.

2.7 Análises hematológicas

Para a determinação do hematócrito (Ht) foi utilizado o método de microhematócrito de Goldenfarb et al. (1971). Foram preenchidos 75% do

volume de tubos microcapilares com sangue, sendo uma das extremidades obstruída por massa de modelar. Logo em seguida foram centrifugados por 5 minutos à 1.200 rpm e, após esse intervalo tempo, foi realizada a leitura dos microcapilares pela tabela própria para obtenção do hematócrito.

A concentração de hemoglobina (Hb) das amostras foi determinada por espectrometria, de acordo com o método de cianometa-hemoglobina, descrito por COLLIER (1944). Foi utilizado o kit Labtest, sendo pipetado 2,5 ml da solução Drabkin e 10 µL de sangue em tubos falcon. Posteriormente, os tubos foram colocados em uma centrífuga por 5 minutos à 2000 rpm e, em seguida, foi realizada a leitura em espectrofotômetro a 540 nm.

Para a contagem do número de eritrócitos (Er) foi usada a câmara de Neubauer, estando o sangue diluído (1:200) em uma solução de Natt e Herrick (1952).

2.8 Análises bioquímicas do plasma

O sangue, após a determinação dos parâmetros hematológicos, foi centrifugado para que fossem realizados os exames laboratoriais. Estes foram processados no aparelho BIOPLUS- S200, utilizando kit reagente Gold Analisa®, conforme indicação do fabricante. Por meio da metodologia colorimétrica de ponto final foram determinados os seguintes índices bioquímicos: glicose (glicose oxidase), triglicerídeos (glicerol fosfato oxidase), colesterol total (colesterol oxidase) e proteínas totais (biureto). As análises bioquímicas foram realizadas no Laboratório de Ecofisiologia de Peixes, na Universidade Federal da Grande Dourados.

2.9 Histomorfometria dos hepatócitos

Os peixes foram eutanasiados após passarem por um aprofundamento anestésico na concentração de 450 mg.L⁻¹ de eugenol (Kildea, Allan e Kearney, 2004) para a retirada do fígado, através de um corte longitudinal na parte anterior da cavidade peritoneal. As amostras de fígado foram pesadas e uma porção fixada em formol tamponado 10% por 24 horas e depois armazenada em álcool

70%, até o processamento histológico no Laboratório de Patologia Experimental, na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

Para a histomorfometria dos hepatócitos, porções de fígado foram coletadas e processadas para que fossem parafinizadas e, em seguida, cortadas a uma espessura de 5 μm e coradas por eosina e hematoxilina. Depois desse processo, os cortes histológicos foram analisados com objetiva de 100x e fotomicrografados por uma câmera fotográfica Nikon D3100, sendo armazenadas dez fotos de cada lâmina. Posteriormente, 60 hepatócitos foram, aleatoriamente, amostrados para a mensuração da área (μm^2) e perímetro (μm) do citoplasma e área (μm^2), perímetro (μm) e diâmetro (μm) do núcleo, utilizando-se para isso o *software* Motic 2.0 (Motic Asia, Hong Kong). Estes valores permitiram que fossem calculados os seguintes parâmetros: relação da área do núcleo/área do citoplasma ($R_{\text{anc}} = \text{área nuclear}/\text{área citoplasma} \times 100$), relação perímetro núcleo/citoplasma ($R_{\text{pnc}} = \text{perímetro nuclear}/\text{perímetro citoplasma} \times 100$), volume nuclear do hepatócito ($VN (\mu\text{m}^3) = 4/3 \cdot \pi \cdot r^3$, sendo $r^3 = \text{diâmetro}/2$) e a circularidade do núcleo do hepatócito ($CN = p^2/4 \cdot \pi \cdot a$, em que $p^2 = \text{perímetro nuclear}$ e $a = \text{área nuclear}$).

2.10 Análises estatísticas

Os dados de desempenho zootécnico, hematológicos, bioquímicos, histomormométricos e de qualidade de água foram submetidos a análise de variância e aos testes de Shapiro-Wilk para verificação da normalidade e Bartlett para homogeneidade. A variável área foi transformada em tlog por não apresentar os pressupostos de normalidade. As médias foram comparadas ao teste de Tukey ao nível de 5% significância. Foi usado o *software* 'R' versão 3.4.3.

3. Resultados

3.1 Desempenho produtivo

Os juvenis de pacus submetidos aos tratamentos com restrição (CR) e sem restrição (SR) não apresentaram diferenças significativas ($p > 0,05$) nos parâmetros avaliados (Tabela 1), com exceção do consumo de ração.

O tratamento SR em ambas as fases consumiram mais ração que o tratamento CR, uma vez que não passaram por períodos de restrição alimentar. Na fase I o consumo foi de $24,15 \pm 2,83$ e $49,63 \pm 1,00$ para CR e SR, respectivamente. Na fase II o consumo foi de $49,24 \pm 6,10$ para CR e $101,78 \pm 23,07$ para o SR.

A taxa de sobrevivência, além de não apresentar diferença significativa ($p > 0,05$), foi alta em ambos os tratamentos, próxima a 95%.

Os valores obtidos para o fator de condição foram relevantes, sendo que na fase I foi de $2,15 \pm 0,24$ para CR e $2,16 \pm 0,02$ para SR e na fase II foi de $1,83 \pm 0,19$ e $1,79 \pm 0,26$, respectivamente para CR e SR.

3.2 Perfil hematológico

A estratégia de restrição alimentar adotada nas fases I e II não ocasionou alterações hematológicas, como podemos observar nos dados de eritrócitos, hematócrito e hemoglobina dos juvenis de pacus, não diferindo dos peixes alimentados continuamente ($p > 0,05$), conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 1- Parâmetros do desempenho zootécnicos (médias $\pm$ desvio-padrão) no cultivo de pacus (*Piaractus mesopotamicus*), após ciclos quinzenais de restrição alimentar e realimentação (CR) ou alimentados continuamente (SR), durante 30 dias na fase I e 60 dias na fase II.

Parâmetros	Tratamentos							
	Fase I				Fase II			
	CR	SR	Valor-F	Valor-p	CR	SR	Valor-F	Valor-p
CMF (cm)	28,40 $\pm$ 3,19	28,78 $\pm$ 2,05	0,03	0,87	34,56 $\pm$ 2,25	34,99 $\pm$ 1,51	0,05	0,84
PMF (g)	492,95 $\pm$ 108,73	521,48 $\pm$ 118,18	0,09	0,77	796,23 $\pm$ 117,69	818,40 $\pm$ 62,78	0,05	0,82
GP (g)	124,51 $\pm$ 108,73	153,04 $\pm$ 118,18	0,95	0,77	38,33 $\pm$ 24,82	45,92 $\pm$ 22,98	0,10	0,77
GC (cm)	1,88 $\pm$ 3,19	2,26 $\pm$ 2,05	0,30	0,87	0,87 $\pm$ 0,53	1,51 $\pm$ 0,55	0,56	0,50
GB (kg)	15,43 $\pm$ 7,98	18,81 $\pm$ 12,71	0,11	0,75	5,81 $\pm$ 5,53	6,01 $\pm$ 1,11	0,00	0,96
C (kg)	24,15 $\pm$ 2,83 ^a	49,63 $\pm$ 1,00 ^b	189,73	0,00	49,24 $\pm$ 6,10 ^a	101,78 $\pm$ 23,07 ^b	9,70	0,04
IHS (%)	1,14 $\pm$ 0,17	1,20 $\pm$ 0,34	0,25	0,62	1,17 $\pm$ 0,16	1,25 $\pm$ 0,10	1,33	0,26
S (%)	91,04 $\pm$ 10,69	93,54 $\pm$ 2,82	0,15	0,71	94,33 $\pm$ 0,58	94,33 $\pm$ 2,08	7,79	1
K	2,15 $\pm$ 0,24	2,16 $\pm$ 0,02	0,01	0,93	1,83 $\pm$ 0,19	1,79 $\pm$ 0,26	0,03	0,86

Com restrição (CR); Sem restrição (SR); Comprimento médio final (CMF); peso médio final (PMF); ganho de peso (GP); ganho de comprimento (GC); ganho de biomassa (GB); consumo de ração (C); índice hepatossomático (IHS), taxa de sobrevivência (S) e fator de condição (K). Médias comparadas pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 2 - Perfil hematológico (médias $\pm$ desvio-padrão) de pacus (*Piaractus mesopotamicus*), após ciclos quinzenais de restrição alimentar e realimentação (CR) ou alimentados continuamente (SR), durante 30 dias na fase I e 60 dias na fase II.

Parâmetros	Tratamentos							
	Fase I				Fase II			
	CR	SR	Valor-F	Valor-p	CR	SR	Valor-F	Valor-p
Número de eritrócito ($10^6 \mu\text{L}^{-1}$)	1,39 $\pm$ 0,56	0,89 $\pm$ 0,36	0,30	0,87	4,57 $\pm$ 1,33	4,90 $\pm$ 1,33	0,91	0,34
Hematócrito (%)	42,36 $\pm$ 2,31	41,25 $\pm$ 5,78	0,26	0,61	64,77 $\pm$ 10,76	68,72 $\pm$ 11,87	1,34	0,25
Concentração de hemoglobina (gdL^{-1})	14,30 $\pm$ 3,44	12,06 $\pm$ 2,74	12,15	0,00	9,13 $\pm$ 2,45	9,72 $\pm$ 2,37	0,89	0,35

Teste de Tukey ($p < 0,05$).

3.3 Perfil bioquímico do plasma

Na primeira fase os níveis de glicose foram $111,28 \pm 18,06$ (CR) e $91,33 \pm 27,03$ (SR), na segunda fase $91,33 \pm 27,03$ (CR) e $83,66 \pm 26,35$ (SR). Para os triglicerídeos na primeira fase os valores foram $170,92 \pm 16,02$ (CR) e $165,60 \pm 16,95$ (SR), na segunda fase $187,63 \pm 29,86$ (CR) e $195,23 \pm 28,76$ (SR). Os valores de colesterol para a primeira fase foram $290,92 \pm 43,07$ (CR) e $285,60 \pm 44,98$ (SR), e para a segunda fase $396,30 \pm 117,11$ (CR) e $459,73 \pm 162,71$ (SR). Para proteínas totais os valores da primeira fase foram $3,06 \pm 0,90$ (CR) e $3,50 \pm 0,94$ (SR) e da segunda fase $5,79 \pm 2,01$ (CR) e $6,86 \pm 2,97$ (SR). Os níveis plasmáticos de glicose, triglicerídeos, colesterol e proteínas totais dos juvenis de pacus, submetidos a restrição alimentar e depois realimentados, não apresentaram alterações expressivas no metabolismo energético quando comparados ao grupo de peixes que foram alimentados continuamente (Figura 1), em ambas as fases de cultivo ($p > 0.05$).

3.4 Histomorfometria de hepatócitos

O manejo alimentar restritivo não influenciou os parâmetros histomorfométricos de hepatócitos avaliados (Tabela 3), sendo assim, tais parâmetros não apresentaram diferenças significativas ($p > 0.05$) quando comparados aos peixes que foram alimentados diariamente nas duas fases do experimento.

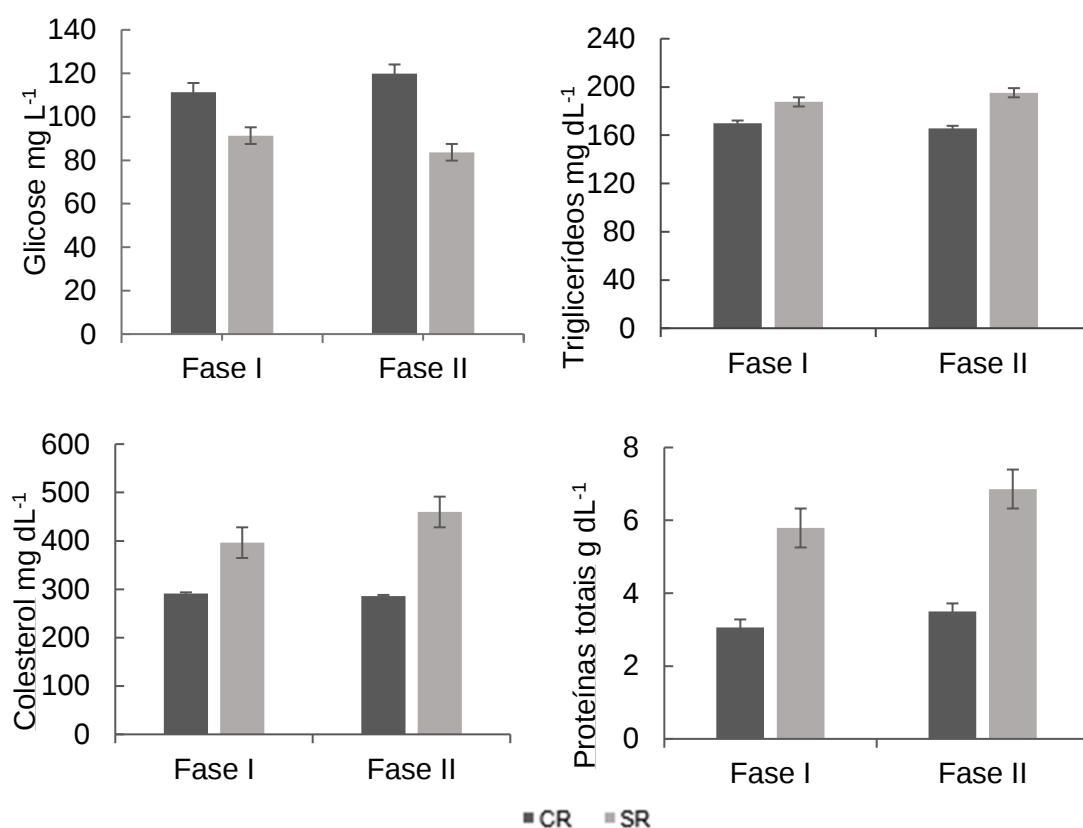


Figura 1- Níveis plasmáticos e desvio-padrão de glicose (a), triglicerídeos (b), colesterol sérico (c) e proteínas totais (d) de pacu (*Piaractus mesopotamicus*), após ciclos quinzenais de restrição alimentar e realimentação (CR) ou alimentados continuamente (SR) , durante 30 dias na fase I e 60 dias na fase II.

Tabela 3 - Parâmetros histomorfométricos de hepatócitos (médias $\pm$ desvio-padrão) de pacus (*Piaractus mesopotamicus*), após ciclos quinzenais de restrição alimentar e realimentação (CR) ou alimentados continuamente (SR), durante 30 dias na fase I e 60 dias na fase II.

Parâmetros	Tratamento							
	Fase I				Fase II			
	CR	SR	Valor-F	Valor-p	CR	SR	Valor-F	Valor-p
AN (μm^2)	1,06 $\pm$ 0,01	1,05 $\pm$ 0,01	0,22	0,66	0,99 $\pm$ 0,43	0,93 $\pm$ 0,34	0,11	0,74
AC (μm^2)	8,92 $\pm$ 0,04	8,94 $\pm$ 0,05	0,24	0,65	6,09 $\pm$ 2,42	7,60 $\pm$ 2,71	2,56	0,15
RANC	12,38 $\pm$ 0,17	12,31 $\pm$ 0,18	0,17	0,70	16,14 $\pm$ 5,3	13,30 $\pm$ 8,90	2,13	0,18
PN (μm)	3,74 $\pm$ 0,01	3,73 $\pm$ 0,01	0,20	0,67	3,33 $\pm$ 0,78	3,45 $\pm$ 1,25	0,09	0,77
PC (μm)	11,76 $\pm$ 0,06	11,79 $\pm$ 0,06	0,25	0,64	9,19 $\pm$ 4,9	9,93 $\pm$ 1,95	1,02	0,34
RPNC	32,19 $\pm$ 0,27	32,07 $\pm$ 0,27	0,19	0,68	37,66 $\pm$ 6,75	35,52 $\pm$ 11,89	0,69	0,43
VN (μm^3)	0,64 $\pm$ 0,00	0,64 $\pm$ 0,00	1,10	0,35	0,42 $\pm$ 0,32	0,55 $\pm$ 0,22	0,25	0,63
C (0-1)	0,94 $\pm$ 0,01	0,97 $\pm$ 0,03	1,28	0,32	0,95 $\pm$ 0,42	0,94 $\pm$ 0,09	3,89	0,08

Área núcleo (AN); Área citoplasma (AC); relação área do núcleo/área do citoplasma (RANC); perímetro núcleo (PN); perímetro citoplasma (PC); relação perímetro do núcleo/perímetro do citoplasma (RPNC); volume nuclear (VN) e circularidade (C). Todas as médias foram comparadas pelo Teste de Tukey ($p>0,05$).

4. Discussão

O manejo alimentar de juvenis de pacus (*Piaractus mesopotamicus*) submetidos aos tratamentos CR e SR, sucessivamente, primeiro por 30 e posteriormente por 60 dias, não afetou o crescimento dos peixes. Em ambas as fases o desempenho zootécnico dos pacus foi estatisticamente igual quando comparado aos peixes que foram alimentados continuamente, sendo observado diferença apenas no consumo de ração, o que já era esperado devido à restrição alimentar. O período de restrição e realimentação aplicado nesse experimento permitiu que as reservas endógenas fossem restabelecidas, uma vez que não houve diferenças entre os tratamentos.

Durante a restrição alimentar pode ser verificada uma mobilização das reservas metabólicas, reduzindo, inclusive, o crescimento do animal. Contudo, o período de realimentação em algumas espécies pode fazer com que os peixes apresentem o chamado ganho compensatório. Esse termo se refere ao crescimento acelerado do peixe após o restabelecimento da alimentação, sendo influenciado pelo intervalo de privação alimentar, o estado fisiológico do peixe (Xiao et al., 2013; Takahashi, 2014) e o sexo (Vainikka, Huusko e Hyvärinen, 2012). A estratégia de restrição alimentar e realimentação, alternadas quinzenalmente nas duas fases desse estudo de 30 e 60 dias, foi capaz de estimular o ganho compensatório completo em ambas as fases, o que sugere a ocorrência de hiperfagia e melhor absorção de proteínas no tratamento CR, uma vez que os valores obtidos para ganho de peso e comprimento foram semelhantes aos do tratamento SR, já que o pacu é um peixe que não perde facilmente a sua gordura corporal.

O índice hepatossomático (IHS) de ambas as fases demonstraram que os pacus submetidos à restrição alimentar restabeleceram as reservas depositadas no fígado, pois os valores desse parâmetro foram semelhantes aos observados nos tratamentos CR e SR. Resultados semelhantes foram também obtidos por Souza et al. (2001) e Favero et al. (2020) em *Piaractus mesopotamicus*. A obtenção do IHS é relevante na avaliação da condição nutricional dos peixes, além de ser eficiente como biomarcador na análise do manejo nutricional adotado, quando se verifica as características fisiológicas do fígado. De acordo com Rodrigues et al. (2017), pode ser afetado pela idade, sexo, estação do ano e condições fisiológicas e está diretamente

relacionado à reserva energética no fígado, ou seja, a deposição de lipídios e carboidratos.

O fator de condição (K) relacionado aos peixes da fase experimental I foi de $2,15 \pm 0,24$ e $2,16 \pm 0,02$ para os tratamentos CR e SR, respectivamente e na fase II o valor de CR foi de $1,83 \pm 0,19$ e $1,79 \pm 0,26$ o de SR, não apresentando diferença significativa em ambas as fases. Este parâmetro se faz importante por promover a relação entre peso e comprimento do peixe, além de ser usado com indicativo do bem-estar animal e das condições fisiológicas, refletindo a capacidade de enfrentar as adversidades ambientais provenientes do cultivo (Vazzoler, 1996). Valores acima de 1,0 sugerem que os peixes se encontram fisiologicamente mais preparados para enfrentar os desafios que lhes são impostos. Assim, os valores encontrados sugerem que os peixes submetidos à restrição alimentar e realimentação não tiveram afetadas as condições corporais dos peixes, como observado por Souza et al. (2003) em *Piaractus mesopotamicus*, Silva et al. (2020) em *Lophiosilurus alexandri* e Gallardo-Collí et al. (2020) em *Oreochromis niloticus*.

Os parâmetros hematológicos representam uma forma barata e confiável de se avaliar a sanidade dos peixes, favorecendo o estudo das alterações fisiológicas ocorridas no período de cultivo (Higuchi et al., 2011), pois propiciam a verificação de possíveis distúrbios metabólicos, carências e estresse crônico, antes mesmo que tais sejam relacionados a uma enfermidade (Peres et al, 2013; Torfi Mozanzadeh et al., 2017).

Os eritrócitos representam o maior número de células sanguíneas (Nascimento et al., 2020) e são responsáveis pelo transporte de oxigênio e gás carbônico. Este parâmetro sofre influência das condições externas em que os peixes estão submetidos, como as baixas temperaturas, que reduzem os níveis de eritrócitos no sangue (Araujo et al., 2011). Os valores encontrados nesse estudo estão de acordo com o que já foi mencionado para pacu e, em ambas as fases, sugerem que os eritrócitos dos peixes submetidos aos tratamentos CR e SR não foram afetados pela restrição seguida de realimentação em ciclos quinzenais.

O hematócrito dos peixes da fase I de ambos os tratamentos está de acordo com o esperado para pacu, contudo, os valores da fase II se mostram elevados para os tratamentos CR e SR. Experimentos com restrição alimentar relatam que os valores de hematócrito apresentados por peixes de diferentes espécies que passaram por restrição alimentar podem ser menores (Torfi Mozanzadeh et al., 2017; Silva et al.,

2019; Assis et al., 2020), maiores (Morshedi et al, 2011; Favero et al., 2019) ou sem alterações (Caruso et al., 2012). Quando o percentual demonstra uma redução nos valores desse parâmetro, pode-se verificar uma alteração negativa na sanidade do peixe, pois é indício de anemia. Porém, o aumento sugere que o estresse provocou um aumento da atividade eritropoiética do baço e dos rins (Tavares-Dias e Moraes, 2004).

A hemoglobina está também diretamente relacionada ao transporte de oxigênio e gás carbônico, pois dentro dos eritrócitos se liga de forma reversível a esses gases. Os níveis de hemoglobina evidenciados nas duas fases experimentais não diferiram estatisticamente, na primeira fase se apresentaram superiores ao encontrado por Bittencourt et al. (2010) também em pacu, que foi de 9,42, 9,48 e 10,09 g.dL⁻¹. Entretanto, os valores da segunda fase se encontram nesse mesmo intervalo.

Os parâmetros bioquímicos também são capazes de evidenciar o estado fisiológico dos peixes e estes podem não sofrer alterações significativas quando submetidos à períodos cíclicos de privação alimentar e realimentação, principalmente pelo fato do sangue refletir as alterações na dieta (Higuchi et al., 2011; Morshedi et al., 2017). Nesse estudo não ocorreram diferenças entre os peixes submetidos a restrição quando comparados aos alimentados diariamente para os parâmetros glicose, triglicerídeos, colesterol e proteína total, reforçando as condições fisiológicas e metabólicas dos peixes.

A glicose é um importante parâmetro bioquímico, pois evidencia as condições nutricionais, sanitária e imunológicas dos peixes e pode ser influenciado por fatores inerentes ao metabolismo ou fisiologia. Esta pentose é uma das principais fontes de energia que o organismo dispõe e é armazenada no fígado e nos músculos na forma de glicogênio sendo utilizado no período inicial da restrição alimentar através da glicogenólise (Morgan e Iwana, 1997; Nelson e Cox, 2014). No estudo, os níveis de glicose dos pacus submetidos a restrição alimentar não foram diferentes quando comparados aos peixes alimentados diariamente, em ambas as fases, o que evidencia que o período de realimentação foi capaz de repor os níveis de glicogênio no fígado e a homeostase da glicose sanguínea. O mesmo foi relatado por Namrata et al. (2011) em salmão coho (*Oncorhynchus Kisutch*), após quatro semanas de privação alimentar.

Os níveis de triglicerídeos plasmático no presente estudo apresentaram-se normais em ambos os tratamentos e fases. Em períodos de restrição alimentar, devido

à alta atividade metabólica, estes são mobilizados para que seja suprida a demanda de energia (Lermen et al., 2004). A lipólise nos adipócitos permite que os triglicerídeos sejam hidrolizados em ácidos graxos e glicerol. Os ácidos graxos, então, farão o transporte de lipídios para os sítios de utilização.

Conforme os outros parâmetros bioquímicos, a concentração plasmática de colesterol se apresentou semelhante entre os peixes que passaram pelos tratamentos CR e SR, em concordância com o que foi apresentado em juvenis de pacu por Favero et al. (2020). Este estudo corrobora igualmente com Furné et al. (2012), que descrevem o restabelecimento dos níveis desse parâmetro em truta arco-íris após a realimentação. Os níveis de colesterol são mantidos no sangue através da alimentação, mas também pela produção endógena. Quando há queda na concentração deste no sangue o próprio organismo passa a produzi-lo no fígado (Nelson e Cox, 2014).

No experimento, as proteínas totais se apresentaram de forma semelhante entre os tratamentos CR e SR, o que sugere que não houve a utilização desta no metabolismo animal ou que os níveis foram restabelecidos, uma vez que são normalmente o último recurso utilizado como reserva energética. Os níveis de proteínas plasmáticas são regulados pelo fígado, sendo utilizadas para determinar o funcionamento desse órgão em peixes (Tamandoni, 2020).

O fígado do peixe que passou por privação alimentar, segundo Rodrigues et al. (2017), apresenta-se atrofiado e com redução em seu peso, visto que a área e volume do citoplasma e núcleo se encontram diminuídos devido ao decréscimo dos processos anabólicos e aumento dos catabólicos (Souza, 2001). Entretanto, tais achados desaparecem após a realimentação, inclusive o peso do próprio órgão e, por isso, os parâmetros histomorfométricos dos hepatócitos são biomarcadores das respostas nutricionais, das condições metabólicas e saúde dos peixes (Rodrigues et al., 2017). Neste estudo, os parâmetros histomorfométricos hepáticos nos pacus dos tratamentos CR e SR se mostraram semelhantes, o que sugere que a reserva de glicogênio foi restabelecida em ambas as fases, ratificando os resultados do IHS, que para seu cálculo é utilizado o peso do fígado.

Portanto, pode-se afirmar que os parâmetros observados demonstraram que, nas duas fases desse estudo, ciclos de 15 dias de restrição alimentar e realimentação não alteraram as condições nutricionais, metabólicas e de saúde dos animais, uma

vez que o organismo se utiliza das reservas energéticas para o restabelecimento da homeostase.

5. Conclusão

Pacus (*Piaractus mesopotamicus*), submetidos à restrição alimentar de 15 dias seguida de realimentação pelo mesmo intervalo de tempo em tanques-rede, não foram afetados quanto ao desempenho zootécnico e histomorfometria, quando comparados aos que receberam alimentação de forma contínua. O ganho compensatório foi completo em ambas as fases experimentais, estando os pacus alojados em condições semelhantes à produção comercial. De acordo com os resultados obtidos com esse estudo, recomenda-se que outros experimentos sejam realizados na fase de engorda, tanto no verão quanto no inverno.

Agradecimentos

Ao Programa de Pós-graduação em Zootecnia da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul; ao Sr. Cláudio Zotesso, por disponibilizar a fazenda para o experimento; ao Prof. Carlos Eurico Fernandes, pela disponibilização do Laboratório de Patologia Experimental na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS, para confecção das lâminas histológicas e à Prof^a. Claucia Honorato, pelo auxílio nas análises bioquímicas realizadas no Laboratório de Ecofisiologia de Peixes da Universidade da Grande Dourados - UFGD.

Referências

- 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, 735689.
- Araujo, D. de M.; Pezzato, A. C.; Barros, M. M.; Pezzato, L. E.; Nakagome, F. K., 2011. Hematologia de tilápias-do-Nilo alimentadas com dietas óleos vegetais e estimuladas pelo frio. Pesquisa Agropecuária Brasileira. 46, 3.

Bittencourt, F.; Feiden, A.; Signor, A.A.; Boscolo, W.R.; Lorenz, E.K.; Maluf, M.L.F., 2010. Densidade de estocagem e parâmetros eritrocitários de pacus criados em tanques-rede. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39,11, .2323-2329.

Boeck, G. D.; Wood, C. M.; Iftikar, F. I.; Matey, V.; Scott, G. R.; Sloman, K. A.; Silva, M. N. P.; Almeida-Val, V. M.; Val, A. L., 2013. Interactions between hypoxia tolerance and food deprivation in *Amazonian oscars*, *Astronotus ocellatus*. *The Journal of Experimental Biology*, 216, 4590-4600.

Caruso, G., Denaro, M. G., Caruso, R., Genovese, L., Mancari, F., & Maricchiolo, G., 2012. Short fasting and refeeding in red porgy (*Pagrus*, *Linnaeus 1758*): Response of some haematological, biochemical and non specific immune parameters. *Marine Environmental Research*, 81, 18–25.

Chen, C; Tan, Q.; Liu, M.; Wu, F.; Chen, J.; Xie, S., 2017. Effect of starvation on growth, histology and ultrastructure of digestive system of juvenile red swamp crayfish (*Procambarus clarkii* Girard), Iran. *J. Fish. Sci.* 16,1214-1233

Correa, A. de S., Pinho, S. M., Molinari, D., Pereira, K. da R., Gutiérrez, S. M., Monroy-Dosta, M. del C., Emerenciano, M. G. C., 2019. Rearing of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) juveniles in a biofloc system employing periods of feed deprivation. *Journal of Applied Aquaculture*, 1–18.

Favero, G. C., Boaventura, T. P., Ferreira, A. L., Silva, A. C. F., Porto, L. A., & Luz, R. K., 2019. Fasting/re-feeding and water temperature promote the mobilization of body reserves in juvenile freshwater carnivorous catfish *Lophiosilurus alexandri*. *Aquaculture*, 734223.

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.

Furné, M., Morales, A.E., Trenzado, C.E., García-Gallego, M., Hidalgo, M.C., Domezain, A., Rus, A.S., 2012. The metabolic effects of prolonged starvation and refeeding in sturgeon and rainbow trout. *J. Comp. Physiol. B.* 182, 63–76.

Gallardo-Collí, A., Pérez-Fuentes, M., Pérez-Rostro, C. I., Hernández-Vergara, M. P., 2020. Compensatory growth of Nile tilapia *Oreochromis niloticus*, L. subjected to cyclic periods of feed restriction and feeding in a biofloc system. *Aquaculture Research*, 51, 1813–1823.

Gonçalves, F. A. G., Colen, G., & Takahashi, J. A., 2014. *Yarrowia lipolytica* and Its Multiple Applications in the Biotechnological Industry. *The Scientific World Journal*, 2014, 1–14.

Gong, Y., Chen, W., Han, D., Zhu, X., Yang, Y., Jin, J., Xie, S., 2017. Effects of food restriction on growth, body composition and gene expression related in regulation of lipid metabolism and food intake in grass carp. *Aquaculture*, 469, 28–35.

Higuchi, O., Hamuro, J., Motomura, M., Yamanashi, Y., 2011. Autoantibodies to low-density lipoprotein receptor-related protein 4 in myasthenia gravis. *Annals of Neurology*, 69(2), 418–422.

Kildea, M.A.; Allan, G.L.; Kearney, R.E., 2004. Accumulation and clearance of the anesthetics clove oil and Aquil-STM from the edible tissue of silver perch (*Bidyanus bidyanus*). *Aquaculture*, 232, 265-277.

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.

Li, Y., Liang, Y. Learning overparameterized neural networks via stochastic gradient descent on structured data. In *Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS)*, 2018.

Morgan, J. D.; Iwama, G. K., 1997. Measurements of stressed states in the field. In G. W. Iwana, A. D.; Pickering, J. P. Sumpter (eds.). Fish stress and health in aquaculture. University press, 247-270.

Morshedi, V., Ashouri, G., Khochanian, P., Yavari, V., Bahmani, M., Pourdehghani, M., Yazdani, M. A., Fashtami, H. R. P., Azodi, M., 2011. Effects of short-term starvation on hematological parameters in cultured juvenile Beluga. International Journal of Veterinary Research, 66(4), 363–368.

Morshedi, V., Kochanian, P., Bahman, M., Yazdanic, M.A., Pouralic, H.R., Ashourib, G.H., 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.

Mastrochirico-Filho, V. A., Ariede, R. B., Freitas, M. V., Lira, L. V. G., Agudelo, J. F. G., Pilarski, F., Hashimoto, D. T., 2019. Genetic parameters for resistance to *Aeromonas hydrophila* in the Neotropical fish pacu (*Piaractus mesopotamicus*). Aquaculture, 734442.

Namrata, S.; Sanjay, N.; Pallavi, C. 2011., Effect of Starvation on the Biochemical Composition of Freshwater Fish *Channa punctatus*. Recent Research in Science and Technology, 3(9), 17-19.

Nascimento, G. B.; Amaral, L. V; Nathalie Catão Ramos, N. C. 2020., Hematological parameters of Matrinxã *Brycon amazonicus* (Characidae: Bryconinae) created in captivity in the Amazon region. Braz. J. of Develop., 6, 3303- 3315.

Nelson, D. L., Cox, M. M., 2014. Princípios de Bioquímica de Lehninger, sixth ed. Artmed, Porto Alegre.

Peres, H., Santos, S.; Oliva-Teles, A., 2013. Selected plasma biochemistry parameters in gilthead seabream (*Sparus aurata*) juveniles. J. Appl. Ichthyol., 29, 630–636.

Richard P, Bergeron J, Boulhic M, Galios R, Person-Le Ruyet, J 1991. Effect of starvation on RNA, DNA and protein content of laboratory-reared larvae and juveniles of *Solea solea*. Mar Ecol. Prog. Ser., 72, 69-77.

Rodrigues, R. A., Saturnino, K. C., Fernandes, C. E., 2017. Liver histology and histomorphometry in hybrid sorubim (*Pseudoplatystoma reticulatum* × *Pseudoplatystoma corruscans*) reared on intensive fish farming. Aquaculture Research, v. 48(9), p. 5083–5093.

Rosol, T.J.; Capen, C.C., 1989. Calcium-regulating hormone and diseases of abdominal mineral (calcium, phosphorus, magnesium metabolism). In: Kaneko J.J. Clinical Biochemistry of Domestic Animal, fourth ed. Academic, London.

Sheridan, M.A., Mommsen, T.P., 1991. Effects of nutritional state on in vivo lipid and carbohydrate metabolism of coho salmon, *Oncorhynchus kisutch*. Gen. Comp. Endocrinol., 81, 473-483.

Silva, W.S., Hisano, H., Mattioli, C.C., Torres, I.F.A., Paes-Leme, F.O., Luz, R.K., 2019. Effects of cyclical short-term fasting and refeeding on juvenile *Lophiosilurus alexandri*, a carnivorous Neotropical catfish. Aquaculture 505, 12-17.

Souza, V. L.; Lunardi, L. O.; Vasques, L. H.; Casaletti, L.; Nakaghi, L. S. O; Urbinati, E. C., 2001. Morphometric alterations in hepatocytes and ultrastructural distribution of liver glycogen in pacu (*Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887) during food restriction and refeeding. Brazilian Journal of Morphological Sciences, 18, 15-20.

Swenson, W. O., 1996. Fisiologia dos animais domésticos, eleventh ed. Guanabara, Rio de Janeiro.

Nelson, D. L., Cox, M. M., 2014. Dukes Princípios de Bioquímica de Lehninger, sixth ed. Artmed, Porto Alegre.

Tamadoni, R., Nafisi Bahabadi, M., Morshedi, V., Bagheri, D., Torfi Mozanzadeh, M., 2020. Effect of short-term fasting and re-feeding on growth, digestive enzyme activities

and antioxidant defence in yellowfin seabream, *Acanthopagrus latus* (Houttuyn, 1782). Aquaculture Research, 00, 1-9.

Takahashi, L. S., Palma, E. H. da, Dias, L. T. S., Gimbo, R. Y., Kojima, J. T., Nicodemo, D., 2010. Estratégia alimentar com ciclos de restrição e realimentação no desempenho produtivo de juvenis de tilápia do Nilo da linhagem GIFT. Ciência Rural, 40(2), 391–396.

Takahashi, L. S., Biller-Takahashi, J. D.; Urbinati, E. C., 2014. Physiological Response to *Dolops carvalhoi* (Crustacea: Branchiura) Infection by Pacu, *Piaractus mesopotamicus*, Subjected to Short Cycles of Food Restriction and Refeeding. Journal of The World Aquaculture Society. Hoboken: Wiley-blackwell, 45, 5, 567-576.

Tavares-Dias, M.; Mataqueiro, M.I., 2004. Hematological, biochemical and biometric characteristics of *Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887 (Osteichthyes: Characidae), reared in captivity. Acta Scientiarum, 24, 157-16.

Torfi Mozanzadeh, M., Marammazi, J. G., Yaghoubi, M., Yavari, V., Agh, N., Gisbert, E., 2017. Somatic and physiological responses to cyclic fasting and re-feeding periods in sobaity sea bream (*Sparidentex hasta*, Valenciennes 1830). Aquaculture Nutrition, 23(1), 181–191.

Vainikka, A.; Huusko, R.; Hyvärinen, P., 2012. Food restriction prior to release reduces precocious maturity and improves migration tendency of Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts. Can. J. Fish. Aquac. Sci., 69, 1981-1993.

Vazzoler, A.E.A. de M., 1996. Biologia da reprodução de peixes teleósteos: teoria e prática. Nupelia, Maringá.

Volkoff, H., Sabioni, R.E., Coutinho, L.L., Cyrino, J.E.P., 2017. Appetite regulating factors in pacu (*Piaractus mesopotamicus*): tissue distribution and effects of food quantity and quality on gene expression. Comp. Biochem. Physiol. Part A. 203, 241–254.

Xiao, J. X., F. Zhou, N. Yin, J. Zhou, S. Gao, H. Li, Q. J. Shao, and J. Xu., 2013. Compensatory growth of juvenile black sea bream, *Acanthopagrus schlegelii*, with cyclical feed deprivation and refeeding. *Aquaculture Research*, 44,1045–1057.

Yengkokpam, S; Pal, A. K.; Sahu, N. P.; Debnath, D., 2013. Compensatory growth, feed intake and body composition of *Labeo rohita* fingerlings following feeding deprivation. *Aquaculture Nutrition*, 20, 2, 101-108.

Yu, Y.-M., Fukagawa, N. K., 2020. Protein and amino acids. *Present Knowledge in Nutrition*, 15–35.

CAPÍTULO 3 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O crescimento da atividade aquícola no Brasil vem exigindo a busca por estratégias alimentares que propiciem o aumento da produção de forma sustentável, ou seja, que contemple os seus três pilares: econômico, social e ambiental. Dessa forma, a restrição alimentar e realimentação em algumas espécies de peixes se define como uma alternativa para que se reduza os custos com a ração, otimize o trabalho e diminua a carga orgânica no sistema, de forma que não comprometa o desempenho zootécnico. Assim, por consequência, os produtos teriam os seus preços amortizados, vantagem essa que permitiria que fossem ainda mais atrativos ao consumidor final.

O pacu, uma das espécies nativas mais aceitas no cardápio do brasileiro, é um peixe que vem despertando interesse quando o assunto é restrição alimentar. Percebe-se que ele responde positivamente à períodos curtos de restrição e também a intervalos maiores de privação alimentar e realimentação. Contudo, pode-se verificar que vários são os fatores que interferem na resposta do peixe à restrição, como idade, sexo, temperatura e estação do ano, o que exige pesquisas que correlacionem tais fatores e suas implicações.

Portanto, verifica-se que a restrição alimentar seguida de realimentação pode ser uma estratégia alimentar que venha a contribuir ainda mais com a piscicultura brasileira, principalmente por não se distanciar do que se refere ao desempenho zootécnico, sanidade animal e redução do impacto ambiental.

APÊNDICE



AQUACULTURE

An International Journal

AUTHOR INFORMATION PACK

TABLE OF CONTENTS

<u>Description</u>	p.1
<u>Audience</u>	p.1
<u>Impact Factor</u>	p.1
<u>Abstracting and Indexing</u>	p.2
<u>Editorial Board</u>	p.2
<u>Guide for Authors</u>	p.4

ISSN: 0044-8486



DESCRIPTION

The aim of *Aquaculture* is to publish and make available the highest quality international scientific contributions to aquaculture. The Journal publishes disciplinary, interdisciplinary and transdisciplinary aquaculture research. The scope of *Aquaculture* includes the traditional priorities of its sections, but also includes papers from non-traditional scientific areas such as sustainability science, social-ecological systems, ornamental, conservation and restoration related to aquaculture.

Benefits to authors

We also provide many author benefits, such as free PDFs, a liberal copyright policy, special discounts on Elsevier publications and much more. Please click here for more information on our [author services](#).

Please see our [Guide for Authors](#) for information on article submission. If you require any further information or help, please visit our [Support Center](#).

Original research papers and reviews with a regional context and focus, can be submitted to *Aquaculture's* open access companion title, [Aquaculture Reports](#).

AUDIENCE

Aquaculturists, Fisheries Scientists, Marine Biologists.

IMPACT FACTOR

2019: 3.224 © Clarivate Analytics Journal Citation Reports 2020

ABSTRACTING AND INDEXING

Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts

EMBiology

BIOSIS Citation Index

Current Contents - Agriculture, Biology & Environmental Sciences

Freshwater and Aquaculture Contents Tables

Marine Science Contents Tables

Engineering Village - GEOBASE

Scopus

Elsevier BIOBASE

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief

D.M. Gatlin, Texas A&M University Department of Wildlife and Fisheries Sciences, College Station, Texas, 77843-2258, United States (Vertebrate Nutrition)

Section Editors

Q. Ai, Ocean University of China, Qingdao, China

J. A. H. Benzie, University College Cork National University of Ireland, Cork, Ireland (Genetics)

P. Bossier, Ghent University, Gent, Belgium (Diseases)

J. Galindo-Villegas, Nord University Department of Genomics, Bodø, Norway
Immunity, Fish models, Host-microbe, Innate, Mucosal

F. Kibenge, University of Prince Edward Island, Atlantic Veterinary College, Department of Pathology & Microbiology, Charlottetown, Prince Edward Island, Canada Aquatic viruses, Orthomyxoviruses, reoviruses, Coronaviruses, Bafinivirus, Virus evolution, Virus-host interactions, Virus detection, Viral vaccines, Immunology

D.C. Little, University of Stirling, Stirling, United Kingdom (Social Aspects of Aquaculture)

W.A. O'Connor, Port Stephens Fisheries Centre, Taylors Beach, Australia (Invertebrate Physiology)

J.G. Qin, Flinders University College of Science and Engineering, Adelaide, South Australia, Australia Aquaculture Production, Nutrition, Culture System, Husbandry, Aquatic Ecology

A. P. Shinn, Fish Vet Group Asia, Samet, Thailand Aquatic animal health, aquatic parasitology, disease diagnostics, disease management and control, chemotherapy

A. Takemura, University of the Ryukyus Faculty of Science Graduate School of Engineering and Science, Nakagami-gun, Japan Aquaculture, biological rhythm, circadian, coral reef, fish, gonadotropin, lunar cycle, melatonin, ovary, reproduction, sex steroids, tide, Internal and external regulation of enigmatic rhythms in fish and marine invertebrates, reproductive physiology, biological clock

M.T. Viana, Autonomous University of Baja California Institute of Oceanology, Ensenada, Mexico (Invertebrate Nutrition)

Editorial Advisory Board

A. Arenal, University of Camaguey, Cuba Shrimp, molecular biology, microbiology, tilapia, immunology

R. Ballestrazzi, University of Udine Department of Agriculture and Environmental Sciences, Udine, Italy

G. Bastos Gomes, Hong Kong, Hong Kong, Hong Kong Aquaculture microbiome, Environmental DNA, aquatic animal diseases, fish protozoan parasites, AI in aquaculture

B. Beck, Auburn, United States

B. Belton, Michigan State University, East Lansing, Michigan, United States

T.J. Benfey, University of New Brunswick Fredericton Biology Department, Fredericton, New Brunswick, Canada Polyploidy, sex control, fish physiology, aquaculture

A. Bonaldo, University of Bologna, Bologna, Italy

A.H. Buschmann, University of Los Lagos i-mar Centre, Puerto Montt, Chile Algal ecology, Development of cultivation methods and strategies for macroalgae, Use of macroalgae for bioremediation of aquaculture impacts

S. Bush, Wageningen University, Wageningen, Netherlands **L. Chen**, East China Normal University, Shanghai, China Crustacean, Fish, Nutrition, Metabolism, Biochemistry.

B.A. Costa-Pierce, University of New England, Biddeford, Maine, United States (Production Sciences)

K. Dabrowski, OHIO STATE UNIVERSITY, Columbus, Ohio, United States

H. Dong, Thonburi, Bangkok, Thailand Aquatic animal health, histopathology, emerging infectious diseases, molecular diagnosis, vaccines

S.-J. Fu, Chongqing University School of Life Sciences, Chongqing, China Swimming performance, Exercise training, Digestion, Metabolic rate, Thermal biology

A. García-Ortega, University of Hawai'i at Hilo, Hilo, Hawaii, United States Fish Nutrition, Marine Fish, Algae, Seaweeds

F.J. Gatesoupe, Ifremer Brittany Centre, Plouzane, France

R.W. Hardy, University of Idaho Aquaculture Research Institute, Hagerman, Idaho, United States **D. Hedgecock**, University of Southern California, Los Angeles, California, United States **A. J. Hernández Arias**, Temuco Catholic University, Temuco, Chile Aquaculture, Fish Nutrition, Aquafeeds

M. Jobling, UiT The Arctic University of Norway, Tromsø, Norway

S.J. Kaushik, Nutrition Metabolism Aquaculture, St Pee sur Nivelle, France

F. Kruijssen, WorldFish, Amsterdam, Netherlands

F. Lahnsteiner, University of Salzburg, Salzburg, Austria

P. Li, National Renderers Association Inc Hong Kong, Hong Kong, Hong Kong

I. Lupatsch, Swansea University, Swansea, United Kingdom

J. Mata-Sotres, Baja California, México, Ensenada, Mexico Fish Nutrition, Fish Physiology, Fish Larvae, Molecular Biology, Nutritional Stress

H. Migaud, University of Stirling, United Kingdom

S. Moriyama, Kitasato University, Japan

H.M. Munang'andu, Norwegian University of Life Sciences Faculty of Veterinary Medicine, Oslo, Norway Infection biology, Immunology and vaccinology

C.C. Mylonas, Hellenic Center for Marine Research, Anavyssos, Greece

D. J. Penman, University of Stirling Institute of Aquaculture, Stirling, United Kingdom Genetics, Genomics, Aquaculture

T.G. Pottinger, Centre for Ecology and Hydrology, Wallingford, United Kingdom **H. Rodger**, Institute of Aquaculture, Scotland, Galway, Ireland

A.N.R. Rombenso, Queensland Department of Agriculture and Fisheries Bribie Island Research Facility, Bribie Island, Australia

Aquaculture nutrition, Fatty acid, Feed formulation, Extrusion technology, and Marine finfish

S.-S. Sheen, National Taiwan Ocean University, Keelung, Taiwan

B.C. Small, Southern Illinois University Carbondale, Carbondale, Illinois, United States

J. K. Swain, UiT Arctic University of Norway, Norwegian College of Fishery Science, Tromsø, Norway Immunology, Vaccinology, fish disease, molecular biology, immunomodulation

K. Thompson, Moredun Research Institute, Penicuik, United Kingdom Fish Immunology, Fish Vaccines, Fish health, Diagnostics, Functional feeds

H. Thorarensen, Holar University College, Sauðárkróki, Iceland

J. Vielma, National Resources Institute Finland Department of Forests, Vantaa, Finland Recirculation aquaculture, RAS aquaculture, Nutrition, Nutrient discharges

T. Yamamoto, National Research Institute of Aquaculture, Japan Fisheries Research and Education Agency, Tamaki, Japan Nutrition, Protein, Amino Acids, Digestion

G.-H. Yue, National University of Singapore, Singapore

Z. Zhou, Chinese Academy of Agricultural Sciences, China-Norway Joint Lab on Fish Gut Microbiota, Haidian, Beijing, China Fish Nutrition, Fish Disease, Gut Health, Gut Microbiota, Fish diet

INTRODUCTION

Types of paper

Research Papers should report the results of original research. The material should not have been previously published elsewhere. Articles are expected to contribute new information (e.g. novel methods of analysis with added new insights and impacts) to the knowledge base in the field, not just to confirm previously published work.

Review Articles can cover either narrow disciplinary subjects or broad issues requiring interdisciplinary discussion. They should provide objective critical evaluation of a defined subject. Reviews should not consist solely of a summary of published data. Evaluation of the quality of existing data, the status of knowledge, and the research required to advance knowledge of the subject are essential.

Short Communications are used to communicate results which represent a major breakthrough or startling new discovery and which should therefore be published quickly. They should not be used for preliminary results. Papers must contain sufficient data to establish that the research has achieved reliable and significant results.

Technical Papers should present new methods and procedures for either research methodology or culture-related techniques.

The *Letters to the Editor* section is intended to provide a forum for discussion of aquacultural science emanating from material published in the journal.

Contact details for submission

Papers for consideration should be submitted via the electronic submission system mentioned below to the appropriate Section Editor:

Nutrition:

Vertebrate Nutrition: D.M. Gatlin

Invertebrate Nutrition: M.T. Viana

Larval Nutrition: Q. Ai

The Nutrition Section welcomes high quality research papers presenting novel data as well as original reviews on various aspects of aquatic animal nutrition relevant to aquaculture. Manuscripts addressing the following areas of investigation are encouraged:

- 1) determination of dietary and metabolic requirements for various nutrients by representative aquatic species. Studies may include environmental/stress effects on animal's physiological responses and requirements at different developmental stages;

- 2) evaluation of novel or established feedstuffs as well as feed processing and manufacturing procedures with digestibility and growth trials. Such studies should provide comprehensive specifications of the process or evaluated ingredients including nutrients, potential anti-nutrients, and contaminants;

- 3) comparison of nutrient bioavailability from various ingredients or product forms as well as metabolic kinetics of nutrients, food borne anti-nutrients or toxins;
- 4) identification of key components in natural diets that influence attractability, palatability, metabolism, growth reproduction and/or immunity of cultured organisms;
- 5) optimization of diet formulations and feeding practices;
- 6) characterization of the actions of hormones, cytokines and/or components in intracellular signaling pathway(s) that influence nutrient and/or energy utilization.
- 7) evaluation of diet supplementation strategies to influence animal performance, metabolism, health and/or flesh quality.
- 8) evaluation of nutritional strategies oriented to environment-friendly aquaculture and high-quality products.

Manuscripts concerning other areas of nutrition using novel or advanced methods are also welcome. Please note that in regard to various diet additives such as probiotics, prebiotics, herbal extracts, etc., a very large number of papers have already been published. Therefore, Aquaculture will not continue to accept manuscripts that present initial and preliminary investigations of such additives. Manuscripts addressing these and other feed additives will be accepted for review only if they are of the highest scientific quality and they represent a significant advance in our knowledge of the mechanisms involved in their metabolism. Manuscripts may also be considered if they present clinical efficacy data generated in large-scale trials and economic cost-benefit analysis of these applications.

Jian Qin

The Aquaculture Production Science (PS) is dedicated to research on improvements and innovations in aquatic food production.

This section supports worldwide dissemination of the results of innovative, globally important, scientific research on production methods for aquatic foods from fish, crustaceans, mollusks, amphibians, and all types of aquatic plants. Contributions are encouraged in the following areas:

1) Improvement of production systems that results in greater efficiencies of resource usage and sustainability of aquaculture; 2) Effective applications of technologies and methods of aquaculture production for improved stocking regimes; 3) The use of new species and species assemblages; and,

4) Investigations to minimize aquaculture wastes and improve water quality, including technologies for nutrient recycling in aquaculture ecosystems, and potential synergy of aquaculture and other food production systems using methods such as polyculture and integrated aquaculture. Aspects of seafood processing and technology will not be considered in this section although aquaculture techniques that may influence the nutritional value of aqu

Physiology:

Vertebrate Physiology: A. Takemura

Invertebrate Physiology: W.A. O'Connor

The Physiology Section welcomes high quality papers that present either novel research data or original reviews. The content must be relevant to solving aquaculture problems on all aspects of the physiology of cultured aquatic animals and plants.

Submitted manuscripts must have a valid hypothesis or objective, clearly state the relevance to aquaculture, have proper experimental design with appropriate controls and utilize appropriate statistical analysis. Mention of trade names is limited to the main text.

Relevant physiological topics include, but are not limited to: Reproductive and endocrine physiology, including control of development and sex differentiation, induced ovulation and spermiation, gamete quality, storage and cryopreservation, physiology of gynogenetic, and triploid and transgenic organisms Cardiorespiratory, muscle and exercise physiology Osmoregulatory physiology Digestive physiology, including endocrine and environmental regulation of growth Larval physiology and ontogeny, including metamorphosis, smolting and molting Performance under variable culture conditions, including temperature, water quality, rearing density, and stress and disease physiology Physiology of harvest and handling techniques

Genetics:

J.A.H. Benzie

The Genetics Section welcomes high-quality research papers presenting novel data, as well as critical reviews, on various aspects of selective breeding, genetics and genomics. Submitted manuscripts must have a valid hypothesis or objective, clearly state the relevance to aquaculture, have proper experimental design with appropriate sample size and controls and utilize appropriate statistical analysis.

Relevant genetics topics include, but are not limited to: Breeding programs using classic selection procedures, markers or combining marker assisted selection with classic selection Applications of crossbreeding and interspecific hybridization Evaluation of commercially important phenotypes among cultured strains, populations or stocks Applications of biotechnology and genetic manipulation methods Development of linkage maps, identification of QTL or association of commercially important traits with specific gene(s). Where appropriate, linkage maps should include co-dominant markers, such as microsatellite DNA and SNP markers, to enable application to other populations and facilitate comparative mapping.

Aquaculture will NOT accept manuscripts dealing with the application of well-described techniques to yet another species, unless the application solves a specific biological problem important to aquaculture production; or manuscripts dealing with gene cloning, characterizing of microsatellites, species identification using molecular markers, EST papers with small collections, or mapping papers with a small number of markers, unless the papers also deal with solving a biological problem that is relevant to aquaculture production.

Aquaculture will not accept manuscripts focusing mainly on population genetics studies that are based on RAPD and AFLP markers, since the dominance and multilocus nature of the fingerprints are not suitable for making inferences about population genetic diversity and structure.

Sustainability and Society:

D.C. Little

The Sustainability and Society section of the journal Aquaculture invites articles at the interface of natural and social sciences that address the broader roles of aquaculture in global food security and trade.

Aims and scope of the Sustainability and Society section are the: global dissemination of interdisciplinary knowledge regarding the management of aquatic resources and resulting impacts on people. Interconnections with other sectors of food production; resource management and implications for societal impact. Going beyond a narrow techno-centric focus, towards more holistic analyses of aquaculture within well-defined contexts. Enquiry based on understanding trajectories of change amid the global challenges of climate change and food security. Mixed methods and approaches that incorporate and integrate both social and natural sciences. Relevance for the diverse range of policy makers, practitioners and other stakeholders involved. Articles that take a value chain approach, rather than being wholly production orientated, are encouraged.

Immunology

J. Galindo-Villegas

The Immunology section aims to attract high-quality manuscripts dealing with the understanding and characterization of the innate and adaptive immune mechanisms and defense systems, from molecules and cells to tissues impacting the varied aquatic organisms generated through controlled culture means. Functional studies are preferred over those merely descriptive and without a clear scope among aquacultured organisms. Developments and new notions in the understanding of host-microbe interactions, immunostimulation, vaccination, trained immunity, immune-tolerance, etc. determined via using state-of-the-art techniques like (meta)genomics, transcriptomics, metabolomics or proteomics on specific target species, or explicitly demonstrated in lower taxa model-organisms with a clear further application in aquaculture are highly encouraged.

Disease

Microbial interaction: P. Bossier

Parasites and Parasite Control: A. Shinn

Viral interactions: F. Kibenge

The Disease sections welcomes critical reviews and high quality articles containing novel data on all aspects concerning diseases of farmed aquatic species. The aims of the section are: description of new and emerging diseases including characterization of the causal agent(s), development in the understanding of fish pathogens for example including new methods of growth where this has been a problem for fastidious organisms, pathogenicity and epizootiology, developments in the diagnosis of disease going beyond the use of standard well used methods, and methods of disease control, notably new developments in vaccines, immunostimulants, dietary supplements, medicinal plant products, probiotics, prebiotics and genetically-disease resistant stock. Relevance to aquaculture must be demonstrated. Articles, which adapt well known methods without further refinement of those methods, are unlikely to be accepted.

Submission Checklist

You can use this list to carry out a final check of your submission before you send it to the journal for review. Please check the relevant section in this Guide for Authors for more details.

Ensure that the following items are present:

One author has been designated as the corresponding author with contact details:

- E-mail address
- Full postal address

All necessary files have been uploaded:

Manuscript:

- Include keywords

- All figures (include relevant captions)
- All tables (including titles, description, footnotes)
- Ensure all figure and table citations in the text match the files provided
- Indicate clearly if color should be used for any figures in print *Graphical Abstracts / Highlights files* (where applicable) *Supplemental files* (where applicable)

Further considerations

- Manuscript has been 'spell checked' and 'grammar checked'
- All references mentioned in the Reference List are cited in the text, and vice versa
- Permission has been obtained for use of copyrighted material from other sources (including the Internet)
- Relevant declarations of interest have been made
- Journal policies detailed in this guide have been reviewed
- Referee suggestions and contact details provided, based on journal requirements

For further information, visit our [Support Center](#).

In order to facilitate the review process, please make sure your submission is prepared with:

- Double line spacing
- Continuously numbered lines throughout the manuscript
- Numbered pages

BEFORE YOU BEGIN

Author of papers to Aquaculture are requested to verify their experimental design. Results should always include biological replicates. These could be obtained by performing an experiment multiple times within the same time window (demonstrating repeatability) or by performing an experiment multiple times in different time windows (demonstrating reproducibility). In a typical experiment, a biological replicate in aquaculture is a tank. Individuals that were kept during the experiment in one single tank are not independent from each other and can hence not be considered as a biological replicate. Authors are also requested to consult Aquaculture Volume 437, 1 Pages 344-350 for further support on statistical processing of data.

Ethics in publishing

Please see our information pages on [Ethics in publishing](#) and [Ethical guidelines for journal publication](#).

Studies in humans and animals

If the work involves the use of human subjects, the author should ensure that the work described has been carried out in accordance with [The Code of Ethics of the World Medical Association](#) (Declaration of Helsinki) for experiments involving humans. The manuscript should be in line with the [Recommendations for the Conduct, Reporting, Editing and Publication of Scholarly Work in Medical Journals](#) and aim for the inclusion of representative human populations (sex, age and ethnicity) as per those recommendations. The terms [sex and gender](#) should be used correctly.

Authors should include a statement in the manuscript that informed consent was obtained for experimentation with human subjects. The privacy rights of human subjects must always be observed.

All animal experiments should comply with the [ARRIVE guidelines](#) and should be carried out in accordance with the U.K. Animals (Scientific Procedures) Act, 1986 and associated guidelines, [EU Directive 2010/63/EU for animal experiments](#), or the National Institutes of Health guide for the care and use of Laboratory animals (NIH Publications No. 8023, revised 1978) and the authors should clearly indicate in the manuscript that such guidelines have been followed. The sex of animals must be indicated, and where appropriate, the influence (or association) of sex on the results of the study.

Declaration of interest

All authors must disclose any financial and personal relationships with other people or organizations that could inappropriately influence (bias) their work. Examples of potential conflicts of interest include employment, consultancies, stock ownership, honoraria, paid expert testimony, patent applications/ registrations, and grants or other funding. Authors should complete the declaration of interest statement using [this template](#) and upload to the submission system at the Attach/Upload Files step.

Note: Please do not convert the .docx template to another file type. Author signatures are not required. If there are no interests to declare, please choose: 'Declarations of interest: none' in the template. This statement will be published within the article if accepted. [More information](#).

Submission declaration

Submission of an article implies that the work described has not been published previously (except in the form of an abstract, a published lecture or academic thesis, see '[Multiple, redundant or concurrent publication](#)' for more information), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was

carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder.

Submission declaration and verification

Submission of an article implies that the work described has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <https://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. To verify originality, your article may be checked by the originality detection service CrossCheck <https://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

If the manuscript to be submitted was previously rejected by *Aquaculture* or another journal, it is necessary to specify what substantive new work and/or revisions have been included to elevate the manuscript's quality for consideration by *Aquaculture*.

Preprints

Please note that [preprints](#) can be shared anywhere at any time, in line with Elsevier's [sharing policy](#). Sharing your preprints e.g. on a preprint server will not count as prior publication (see '[Multiple, redundant or concurrent publication](#)' for more information).

Use of inclusive language

Inclusive language acknowledges diversity, conveys respect to all people, is sensitive to differences, and promotes equal opportunities. Content should make no assumptions about the beliefs or commitments of any reader; contain nothing which might imply that one individual is superior to another on the grounds of age, gender, race, ethnicity, culture, sexual orientation, disability or health condition; and use inclusive language throughout. Authors should ensure that writing is free from bias, stereotypes, slang, reference to dominant culture and/or cultural assumptions. We advise to seek gender neutrality by using plural nouns ("clinicians, patients/clients") as default/wherever possible to avoid using "he, she," or "he/she." We recommend avoiding the use of descriptors that refer to personal attributes such as age, gender, race, ethnicity, culture, sexual orientation, disability or health condition unless they are relevant and valid. These guidelines are meant as a point of reference to help identify appropriate language but are by no means exhaustive or definitive.

Author contributions

For transparency, we encourage authors to submit an author statement file outlining their individual contributions to the paper using the relevant CRediT roles: Conceptualization; Data curation; Formal analysis; Funding acquisition; Investigation; Methodology; Project administration; Resources; Software; Supervision; Validation; Visualization; Roles/Writing - original draft; Writing - review & editing. Authorship statements should be formatted with the names of authors first and CRediT role(s) following. [More details and an example](#)

Changes to authorship

Authors are expected to consider carefully the list and order of authors **before** submitting their manuscript and provide the definitive list of authors at the time of the original submission. Any addition, deletion or rearrangement of author names in the

authorship list should be made only **before** the manuscript has been accepted and only if approved by the journal Editor. To request such a change, the Editor must receive the following from the **corresponding author**: (a) the reason for the change in author list and (b) written confirmation (e-mail, letter) from all authors that they agree with the addition, removal or rearrangement. In the case of addition or removal of authors, this includes confirmation from the author being added or removed.

Only in exceptional circumstances will the Editor consider the addition, deletion or rearrangement of authors **after** the manuscript has been accepted. While the Editor considers the request, publication of the manuscript will be suspended. If the manuscript has already been published in an online issue, any requests approved by the Editor will result in a corrigendum.

Article transfer service

This journal is part of our Article Transfer Service. This means that if the Editor feels your article is more suitable in one of our other participating journals, then you may be asked to consider transferring the article to one of those. If you agree, your article will be transferred automatically on your behalf with no need to reformat. Please note that your article will be reviewed again by the new journal. [More information](#).

Copyright

Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete a 'Journal Publishing Agreement' (see [more information](#) on this). An e-mail will be sent to the corresponding author confirming receipt of the manuscript together with a 'Journal Publishing Agreement' form or a link to the online version of this agreement.

Subscribers may reproduce tables of contents or prepare lists of articles including abstracts for internal circulation within their institutions. [Permission](#) of the

Publisher is required for resale or distribution outside the institution and for all other derivative works, including compilations and translations. If excerpts from other copyrighted works are included, the author(s) must obtain written permission from the copyright owners and credit the source(s) in the article. Elsevier has [preprinted forms](#) for use by authors in these cases.

For gold open access articles: Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete an 'Exclusive License Agreement' ([more information](#)). Permitted third party reuse of gold open access articles is determined by the author's choice of [user license](#).

Author rights

As an author you (or your employer or institution) have certain rights to reuse your work. [More information](#).

Elsevier supports responsible sharing

Find out how you can [share your research](#) published in Elsevier journals.

Role of the funding source

You are requested to identify who provided financial support for the conduct of the research and/or preparation of the article and to briefly describe the role of the sponsor(s), if any, in study design; in the collection, analysis and interpretation of data; in the writing of the report; and in the decision to submit the article for publication. If the funding source(s) had no such involvement then this should be stated.

Open access

Please visit our [Open Access page](#) for more information.

Elsevier Researcher Academy

[Researcher Academy](#) is a free e-learning platform designed to support early and mid-career researchers throughout their research journey. The "Learn" environment at Researcher Academy offers several interactive modules, webinars, downloadable guides and resources to guide you through the process of writing for research and going through peer review. Feel free to use these free resources to improve your submission and navigate the publication process with ease.

Language (usage and editing services)

Please write your text in good English (American or British usage is accepted, but not a mixture of these). Authors who feel their English language manuscript may require editing to eliminate possible grammatical or spelling errors and to conform to correct scientific English may wish to use the [English Language Editing service](#) available from Elsevier's Author Services.

Submission

Our online submission system guides you stepwise through the process of entering your article details and uploading your files. The system converts your article files to a single PDF file used in the peer-review process. Editable files (e.g., Word, LaTeX) are required to typeset your article for final publication. All correspondence, including notification of the Editor's decision and requests for revision, is sent by e-mail.

Authors should avoid responding by messages received from the system using the 'Reply' button on their e-mail message; this will send the message to the system support and not to the editorial office, and will create unnecessary load of sorting out and forwarding

Please submit your article via
[https://www.evis.com/profile/api/navigate/AQUA Referees](https://www.evis.com/profile/api/navigate/AQUA_Referees)

Please submit the names and institutional e-mail addresses of several potential referees. For more details, visit our [Support site](#). Note that the editor retains the sole right to decide whether or not the suggested reviewers are used. Kindly prevent suggesting reviewers from the same country.

PREPARATION

Peer review

This journal operates a single blind review process. All contributions will be initially assessed by the editor for suitability for the journal. Papers deemed suitable are then typically sent to a minimum of two independent expert reviewers to assess the scientific quality of the paper. The Editor is responsible for the final decision regarding acceptance or rejection of articles. The Editor's decision is final. [More information on types of peer review](#).

Use of word processing software

It is important that the file be saved in the native format of the word processor used. The text should be in single-column format. Keep the layout of the text as simple as possible. Most formatting codes will be removed and replaced on processing the article. In particular, do not use the word processor's options to justify text or to hyphenate words. However, do use bold face, italics, subscripts, superscripts etc. When preparing tables, if you are using a table grid, use only one grid for each individual table and not a grid for each row. If no grid is used, use tabs, not spaces, to align columns. The electronic text should be prepared in a way very similar to that of

conventional manuscripts (see also the [Guide to Publishing with Elsevier](#)). Note that source files of figures, tables and text graphics will be required whether or not you embed your figures in the text. See also the section on Electronic artwork.

To avoid unnecessary errors you are strongly advised to use the 'spell-check' and 'grammar-check' functions of your word processor.

LaTeX

You are recommended to use the Elsevier article class [elsarticle.cls](#) to prepare your manuscript and [BibTeX](#) to generate your bibliography.

Our [LaTeX site](#) has detailed submission instructions, templates and other information.

Article structure

Subdivision - numbered sections

Divide your article into clearly defined and numbered sections. Subsections should be numbered 1.1 (then 1.1.1, 1.1.2, ...), 1.2, etc. (the abstract is not included in section numbering). Use this numbering also for internal cross-referencing: do not just refer to 'the text'. Any subsection may be given a brief heading. Each heading should appear on its own separate line.

Introduction

State the objectives of the work and provide an adequate background, avoiding a detailed literature survey or a summary of the results.

Material and methods

Provide sufficient details to allow the work to be reproduced by an independent researcher. Methods that are already published should be summarized, and indicated by a reference. If quoting directly from a previously published method, use quotation marks and also cite the source. Any modifications to existing methods should also be described.

Theory/calculation

A Theory section should extend, not repeat, the background to the article already dealt with in the Introduction and lay the foundation for further work. In contrast, a Calculation section represents a practical development from a theoretical basis.

Results

Results should be clear and concise.

Discussion

This should explore the significance of the results of the work, not repeat them. A combined Results and Discussion section is often appropriate. Avoid extensive citations and discussion of published literature.

Conclusions

The main conclusions of the study may be presented in a short Conclusions section, which may stand alone or form a subsection of a Discussion or Results and Discussion section.

Appendices

If there is more than one appendix, they should be identified as A, B, etc. Formulae and equations in appendices should be given separate numbering: Eq. (A.1),

Eq. (A.2), etc.; in a subsequent appendix, Eq. (B.1) and so on. Similarly for tables and figures: Table A.1; Fig. A.1, etc.

Essential title page information

- **Title.** Concise and informative. Titles are often used in information-retrieval systems. Avoid abbreviations and formulae where possible.

- **Numbering.** Manuscripts that are sequentially numbered (e.g., I, II, etc.) are no longer accepted.

- **Author names and affiliations.** Where the family name may be ambiguous (e.g., a double name), please indicate this clearly. Present the authors' affiliation addresses (where the actual work was done) below the names. Indicate all affiliations with a lower-case superscript letter immediately after the author's name and in front of the appropriate address. Provide the full postal address of each affiliation, including the country name and, if available, the e-mail address of each author.

- **Corresponding author.** Clearly indicate who will handle correspondence at all stages of refereeing and publication, also post-publication. Ensure that phone numbers (with country and area code) are provided in addition to the e-mail address and the complete postal address. Contact details must be kept up to date by the corresponding author.

- **Present/permanent address.** If an author has moved since the work described in the article was done, or was visiting at the time, a 'Present address' (or 'Permanent address') may be indicated as a footnote to that author's name. The address at which the author actually did the work must be retained as the main, affiliation address. Superscript Arabic numerals are used for such footnotes.

Highlights

Highlights are optional yet highly encouraged for this journal, as they increase the discoverability of your article via search engines. They consist of a short collection of bullet points that capture the novel results of your research as well as new methods that were used during the study (if any). Please have a look at the examples here: [example Highlights](#).

Highlights should be submitted in a separate editable file in the online submission system. Please use 'Highlights' in the file name and include 3 to 5 bullet points (maximum 85 characters, including spaces, per bullet point).

Abstract

A concise and factual abstract is required. The abstract should state briefly the purpose of the research, the principal results and major conclusions. An abstract is often presented separately from the article, so it must be able to stand alone. For this reason, References should be avoided, but if essential, then cite the author(s) and year(s). Also, non-standard or uncommon abbreviations should be avoided, but if essential they must be defined at their first mention in the abstract itself.

The abstract should be not longer than 400 words.

Keywords

Immediately after the abstract, provide a maximum of 4-6 keywords, using American spelling and avoiding general and plural terms and multiple concepts (avoid,

for example, "and", "of"). Be sparing with abbreviations: only abbreviations firmly established in the field may be eligible. These keywords will be used for indexing purposes.

Highlights of the manuscript

As part of the submission process, authors are required to provide 3 or 4 highlights, each one sentence long. Beyond stating key discoveries, these highlights must explicitly establish why the work is novel and why it has an application to aquaculture. It is not sufficient to state that the species is one that is farmed.

Abbreviations

Define abbreviations that are not standard in this field in a footnote to be placed on the first page of the article. Such abbreviations that are unavoidable in the abstract must be defined at their first mention there, as well as in the footnote. Ensure consistency of abbreviations throughout the article.

Acknowledgements

Collate acknowledgements in a separate section at the end of the article before the references and do not, therefore, include them on the title page, as a footnote to the title or otherwise. List here those individuals who provided help during the research (e.g., providing language help, writing assistance or proof reading the article, etc.).

Formatting of funding sources

List funding sources in this standard way to facilitate compliance to funder's requirements:

Funding: This work was supported by the National Institutes of Health [grant numbers xxxx, yyyy]; the Bill & Melinda Gates Foundation, Seattle, WA [grant number zzzz]; and the United States Institutes of Peace [grant number aaaa].

It is not necessary to include detailed descriptions on the program or type of grants and awards. When funding is from a block grant or other resources available to a university, college, or other research institution, submit the name of the institute or organization that provided the funding.

If no funding has been provided for the research, please include the following sentence:

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Nomenclature and units

Follow internationally accepted rules and conventions: use the international system of units (SI). If other quantities are mentioned, give their equivalent in SI. You are urged to consult [IUPAC: Nomenclature of Organic Chemistry](#) for further information.

1. Authors and editors are, by general agreement, obliged to accept the rules governing biological nomenclature, as laid down in the International Code of Botanical Nomenclature, the International Code of Nomenclature of Bacteria, and the International Code of Zoological Nomenclature.

2. All biota (crops, plants, insects, birds, mammals, etc.) should be identified by their scientific names when the English term is first used, with the exception of common domestic animals.

3. All biocides and other organic compounds must be identified by their Geneva names when first used in the text. Active ingredients of all formulations should be likewise identified.

4. For chemical nomenclature, the conventions of the International Union of Pure and Applied Chemistry and the official recommendations of the IUPAC IUB Combined Commission on Biochemical Nomenclature should be followed.

DNA sequences and GenBank Accession numbers. Many Elsevier journals cite "gene accession numbers" in their running text and footnotes. Gene accession numbers refer to genes or DNA sequences about which further information can be found in the databases at the National Center for Biotechnical Information (NCBI) at the National Library of Medicine. Authors are encouraged to check accession numbers used very carefully. **An error in a letter or number can result in a dead link.** Note that in the final version of the electronic copy, the accession number text will be linked to the appropriate source in the NCBI databases enabling readers to go directly to that source from the article.

Example 1: "GenBank accession nos. **AI631510**, **AI631511**, **AI632198**, and **BF223228**, a B-cell tumor from a chronic lymphatic leukemia (GenBank accession no. BE675048), and a T-cell lymphoma (GenBank accession no. **AA361117**)".

Authors are encouraged to check accession numbers used very carefully. An error in a letter or number can result in a dead link.

In the final version of the printed article, the accession number text will not appear bold or underlined (see Example 2 below).

Example 2: "GenBank accession nos. AI631510, AI631511, AI632198, and BF223228), a B-cell tumor from a chronic lymphatic leukemia (GenBank accession no. BE675048), and a T-cell lymphoma (GenBank accession no. AA361117)".

In the final version of the electronic copy, the accession number text will be linked to the appropriate source in the NCBI databases enabling readers to go directly to that source from the article (see Example 3 below).

Example 3: "GenBank accession nos. AI631510, AI631511, AI632198, and BF223228), a B-cell tumor from a chronic lymphatic leukemia (GenBank accession no. BE675048), and a T-cell lymphoma (GenBank accession no. AA361117)".

Math formulae

Please submit math equations as editable text and not as images. Present simple formulae in line with normal text where possible and use the solidus (/) instead of a horizontal line for small fractional terms, e.g., X/Y . In principle, variables are to be presented in italics. Powers of e are often more conveniently denoted by $\exp$. Number consecutively any equations that have to be displayed separately from the text (if referred to explicitly in the text).

Give the meaning of all symbols immediately after the equation in which they are first used. In chemical formulae, valence of ions should be given as, e.g. Ca^{2+} and not Ca^{++} . Isotope numbers

should precede the symbols, e.g., ^{18}O . The repeated writing of chemical formulae in the text is to be avoided where reasonably possible; instead, the name of the compound should be given in full. Exceptions may be made in the case of a very long name occurring very frequently or in the case of a compound being described as the end product of a gravimetric determination (e.g., phosphate as P_2O_5).

Footnotes

Footnotes should be used sparingly. Number them consecutively throughout the article. Many word processors can build footnotes into the text, and this feature may be used. Otherwise, please indicate the position of footnotes in the text and list the footnotes themselves separately at the end of the article. Do not include footnotes in the Reference list.

Artwork

Electronic artwork

General points

- Make sure you use uniform lettering and sizing of your original artwork.
 - Embed the used fonts if the application provides that option.
 - Aim to use the following fonts in your illustrations: Arial, Courier, Times New Roman, Symbol, or use fonts that look similar.
-
- Number the illustrations according to their sequence in the text.
 - Use a logical naming convention for your artwork files.
 - Provide captions to illustrations separately.
 - Size the illustrations close to the desired dimensions of the published version.
 - Submit each illustration as a separate file.
 - Ensure that color images are accessible to all, including those with impaired color vision.

A detailed [guide on electronic artwork](#) is available.

You are urged to visit this site; some excerpts from the detailed information are given here. *Formats*

If your electronic artwork is created in a Microsoft Office application (Word, PowerPoint, Excel) then please supply 'as is' in the native document format.

Regardless of the application used other than Microsoft Office, when your electronic artwork is finalized, please 'Save as' or convert the images to one of the following formats (note the resolution requirements for line drawings, halftones, and line/halftone combinations given below):

EPS (or PDF): Vector drawings, embed all used fonts.

TIFF (or JPEG): Color or grayscale photographs (halftones), keep to a minimum of 300 dpi.

TIFF (or JPEG): Bitmapped (pure black & white pixels) line drawings, keep to a minimum of 1000 dpi.

TIFF (or JPEG): Combinations bitmapped line/half-tone (color or grayscale), keep to a minimum of dpi.

Please do not:

- Supply files that are optimized for screen use (e.g., GIF, BMP, PICT, WPG); these typically have a low number of pixels and limited set of colors;

- Supply files that are too low in resolution;

- Submit graphics that are disproportionately large for the content.

Color artwork

Please make sure that artwork files are in an acceptable format (TIFF (or JPEG), EPS (or PDF), or MS Office files) and with the correct resolution. If, together with your accepted article, you submit usable color figures then Elsevier will ensure, at no additional charge, that these figures will appear in color online (e.g., ScienceDirect and other sites) regardless of whether or not these illustrations are reproduced in color in the printed version. **For color reproduction in print, you will receive information regarding the costs from Elsevier after receipt of your accepted article.** Please indicate your preference for color: in print or online only. [Further information on the preparation of electronic artwork.](#)

Figure captions

Ensure that each illustration has a caption. Supply captions separately, not attached to the figure. A caption should comprise a brief title (**not** on the figure itself) and a description of the illustration. Keep text in the illustrations themselves to a minimum but explain all symbols and abbreviations used.

Text graphics

Text graphics may be embedded in the text at the appropriate position. See further under Electronic artwork.

Tables

Please submit tables as editable text and not as images. Tables can be placed either next to the relevant text in the article, or on separate page(s) at the end. Number tables consecutively in accordance with their appearance in the text and place any table notes below the table body. Be sparing in the use of tables and ensure that the data presented in them do not duplicate results described elsewhere in the article. Please avoid using vertical rules and shading in table cells.

References

Citation in text

Please ensure that every reference cited in the text is also present in the reference list (and vice versa). Any references cited in the abstract must be given in full. Unpublished results and personal communications are not recommended in the reference list, but may be mentioned in the text. If these references are included in the reference list, they should follow the standard reference style of the journal and should include a substitution of the publication date with either 'Unpublished results' or 'Personal communication'. Citation of a reference as 'in press' implies that the item has been accepted for publication.

Reference links

Increased discoverability of research and high quality peer review are ensured by online links to the sources cited. In order to allow us to create links to abstracting and indexing services, such as Scopus, CrossRef and PubMed, please ensure that data provided in the references are correct. Please note that incorrect surnames, journal/book titles, publication year and pagination may prevent link creation. When copying references, please be careful as they may already contain errors. Use of the DOI is highly encouraged.

A DOI is guaranteed never to change, so you can use it as a permanent link to any electronic article. An example of a citation using DOI for an article not yet in an issue is: VanDecar J.C., Russo R.M., James D.E., Ambeh W.B., Franke M. (2003). Aseismic continuation of the Lesser Antilles slab beneath northeastern Venezuela. *Journal of Geophysical Research*, <https://doi.org/10.1029/2001JB000884>. Please note the format of such citations should be in the same style as all other references in the paper.

Web references

As a minimum, the full URL should be given and the date when the reference was last accessed. Any further information, if known (DOI, author names, dates, reference to a source publication, etc.), should also be given. Web references can be listed separately (e.g., after the reference list) under a different heading if desired, or can be included in the reference list.

Data references

This journal encourages you to cite underlying or relevant datasets in your manuscript by citing them in your text and including a data reference in your Reference List. Data references should include the following elements: author name(s), dataset title, data repository, version (where available), year, and global persistent identifier. Add [dataset] immediately before the reference so we can properly identify it as a data reference. The [dataset] identifier will not appear in your published article.

References in a special issue

Please ensure that the words 'this issue' are added to any references in the list (and any citations in the text) to other articles in the same Special Issue.

Reference management software

Most Elsevier journals have their reference template available in many of the most popular reference management software products. These include all products that support [Citation Style Language styles](#), such as [Mendeley](#). Using citation plug-ins from these products, authors only need to select the appropriate journal template when preparing their article, after which citations and bibliographies will be automatically formatted in the journal's style. If no template is yet available for this journal, please follow the format of the sample references and citations as shown in this Guide. If you use reference management software, please ensure that you remove all field codes before submitting the electronic manuscript. [More information on how to remove field codes from different reference management software.](#)

Users of Mendeley Desktop can easily install the reference style for this journal by clicking the following link:

<http://open.mendeley.com/use-citation-style/aquaculture>

When preparing your manuscript, you will then be able to select this style using the Mendeley plug-ins for Microsoft Word or LibreOffice.

Reference formatting

There are no strict requirements on reference formatting at submission. References can be in any style or format as long as the style is consistent. Where applicable, author(s) name(s), journal title/ book title, chapter title/article title, year of publication, volume number/book chapter and the article number or pagination must be present. Use of DOI is highly encouraged. The reference style used by the journal will be applied to the accepted article by Elsevier at the proof stage. Note that missing data will be highlighted at proof stage for the author to correct. If you do wish to format the references yourself they should be arranged according to the following examples:

Reference style

Text: All citations in the text should refer to:

1. *Single author:* the author's name (without initials, unless there is ambiguity) and the year of publication;
2. *Two authors:* both authors' names and the year of publication;
3. *Three or more authors:* first author's name followed by 'et al.' and the year of publication. Citations may be made directly (or parenthetically). Groups of references can be listed either first alphabetically, then chronologically, or vice versa.

Examples: 'as demonstrated (Allan, 2000a, 2000b, 1999; Allan and Jones, 1999).... Or, as demonstrated (Jones, 1999; Allan, 2000). Kramer et al. (2010) have recently shown ...'

List: References should be arranged first alphabetically and then further sorted chronologically if necessary. More than one reference from the same author(s) in the same year must be identified by the letters 'a', 'b', 'c', etc., placed after the year of publication.

Examples:

Reference to a journal publication:

Van der Geer, J., Hanraads, J.A.J., Lupton, R.A., 2010. The art of writing a scientific article. J. Sci. Commun. 163, 51–59. <https://doi.org/10.1016/j.Sc.2010.00372>.

Reference to a journal publication with an article number:

Van der Geer, J., Hanraads, J.A.J., Lupton, R.A., 2018. The art of writing a scientific article. Heliyon. 19, e00205. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00205>.

Reference to a book:

Strunk Jr., W., White, E.B., 2000. The Elements of Style, fourth ed. Longman, New York.

Reference to a chapter in an edited book:

Mettam, G.R., Adams, L.B., 2009. How to prepare an electronic version of your article, in: Jones, B.S., Smith, R.Z. (Eds.), Introduction to the Electronic Age. E-Publishing Inc., New York, pp. 281–304. Reference to a website:

Cancer Research UK, 1975. Cancer statistics reports for the UK. <http://www.cancerresearchuk.org/aboutcancer/statistics/cancerstatsreport/> (accessed 13 March 2003).

Reference to a dataset:

[dataset] Oguro, M., Imahiro, S., Saito, S., Nakashizuka, T., 2015. Mortality data for Japanese oak wilt disease and surrounding forest compositions. Mendeley Data, v1. <https://doi.org/10.17632/xwj98nb39r.1>.

Journal Abbreviations Source

Define abbreviations that are not standard in this field at their first occurrence in the article: in the abstract but also in the main text after it. Ensure consistency of abbreviations throughout the article.

Video

Elsevier accepts video material and animation sequences to support and enhance your scientific research. Authors who have video or animation files that they wish to submit with their article are strongly encouraged to include links to these within the body of the article. This can be done in the same way as a figure or table by referring to the video or animation content and noting in the body text where it should be placed. All submitted files should be properly labeled so that they directly relate to the video file's content. In order to ensure that your video or animation material is directly usable, please provide the file in one of our recommended file formats with a preferred maximum size of 150 MB per file, 1 GB in total. Video and animation files supplied will be published online in the electronic version of your article in Elsevier Web products, including [ScienceDirect](#). Please supply 'stills' with your files: you can choose any frame from the video or animation or make a separate image. These will be used instead of standard icons and will personalize the link to your video data. For more detailed instructions please visit our [video instruction pages](#). Note: since video and

animation cannot be embedded in the print version of the journal, please provide text for both the electronic and the print version for the portions of the article that refer to this content.

Data visualization

Include interactive data visualizations in your publication and let your readers interact and engage more closely with your research. Follow the instructions [here](#) to find out about available data visualization options and how to include them with your article.

Supplementary material

Supplementary material such as applications, images and sound clips, can be published with your article to enhance it. Submitted supplementary items are published exactly as they are received (Excel or PowerPoint files will appear as such online). Please submit your material together with the article and supply a concise, descriptive caption for each supplementary file. If you wish to make changes to supplementary material during any stage of the process, please make sure to provide an updated file. Do not annotate any corrections on a previous version. Please switch off the 'Track Changes' option in Microsoft Office files as these will appear in the published version.

Research data

This journal encourages and enables you to share data that supports your research publication where appropriate, and enables you to interlink the data with your published articles. Research data refers to the results of observations or experimentation that validate research findings. To facilitate reproducibility and data

reuse, this journal also encourages you to share your software, code, models, algorithms, protocols, methods and other useful materials related to the project.

Below are a number of ways in which you can associate data with your article or make a statement about the availability of your data when submitting your manuscript. If you are sharing data in one of these ways, you are encouraged to cite the data in your manuscript and reference list. Please refer to the "References" section for more information about data citation. For more information on depositing, sharing and using research data and other relevant research materials, visit the [research data](#) page.

Data linking

If you have made your research data available in a data repository, you can link your article directly to the dataset. Elsevier collaborates with a number of repositories to link articles on ScienceDirect with relevant repositories, giving readers access to underlying data that gives them a better understanding of the research described.

There are different ways to link your datasets to your article. When available, you can directly link your dataset to your article by providing the relevant information in the submission system. For more information, visit the [database linking page](#).

For [supported data repositories](#) a repository banner will automatically appear next to your published article on ScienceDirect.

In addition, you can link to relevant data or entities through identifiers within the text of your manuscript, using the following format: Database: xxxx (e.g., TAIR: AT1G01020; CCDC: 734053; PDB: 1XFN).

Mendeley Data

This journal supports Mendeley Data, enabling you to deposit any research data (including raw and processed data, video, code, software, algorithms, protocols, and methods) associated with your manuscript in a free-to-use, open access repository. During the submission process, after uploading your manuscript, you will have the opportunity to upload your relevant datasets directly to *Mendeley Data*. The datasets will be listed and directly accessible to readers next to your published article online.

For more information, visit the [Mendeley Data for journals page](#).

Data in Brief

You have the option of converting any or all parts of your supplementary or additional raw data into one or multiple data articles, a new kind of article that houses and describes your data. Data articles ensure that your data is actively reviewed, curated, formatted, indexed, given a DOI and publicly available to all upon publication. You are encouraged to submit your article for *Data in Brief* as an additional item directly alongside the revised version of your manuscript. If your research article is accepted, your data article will automatically be transferred over to *Data in Brief* where it will be editorially reviewed and published in the open access data journal, *Data in Brief*. Please note an open access fee of 600 USD is payable for publication in *Data in Brief*. Full details can be found on the [Data in Brief website](#). Please use [this template](#) to write your Data in Brief.

MethodsX

You have the option of converting relevant protocols and methods into one or multiple MethodsX articles, a new kind of article that describes the details of customized research methods. Many researchers spend a significant amount of time on developing methods to fit their specific needs or setting, but often without getting

credit for this part of their work. MethodsX, an open access journal, now publishes this information in order to make it searchable, peer reviewed, citable and reproducible. Authors are encouraged to submit their MethodsX article as an additional item directly alongside the revised version of their manuscript. If your research article is accepted, your methods article will automatically be transferred over to MethodsX where it will be editorially reviewed. Please note an open access fee is payable for publication in MethodsX. Full details can be found on the [MethodsX website](#). Please use [this template](#) to prepare your MethodsX article.

Data statement

To foster transparency, we encourage you to state the availability of your data in your submission. This may be a requirement of your funding body or institution. If your data is unavailable to access or unsuitable to post, you will have the opportunity to indicate why during the submission process, for example by stating that the research data is confidential. The statement will appear with your published article on ScienceDirect. For more information, visit the [Data Statement page](#).

AFTER ACCEPTANCE

Online proof correction

To ensure a fast publication process of the article, we kindly ask authors to provide us with their proof corrections within two days. Corresponding authors will receive an e-mail with a link to our online proofing system, allowing annotation and correction of proofs online. The environment is similar to

MS Word: in addition to editing text, you can also comment on figures/tables and answer questions from the Copy Editor. Web-based proofing provides a faster and less error-prone process by allowing you to directly type your corrections, eliminating the potential introduction of errors.

If preferred, you can still choose to annotate and upload your edits on the PDF version. All instructions for proofing will be given in the e-mail we send to authors, including alternative methods to the online version and PDF.

We will do everything possible to get your article published quickly and accurately. Please use this proof only for checking the typesetting, editing, completeness and correctness of the text, tables and figures. Significant changes to the article as accepted for publication will only be considered at this stage with permission from the Editor. It is important to ensure that all corrections are sent back to us in one communication. Please check carefully before replying, as inclusion of any subsequent corrections cannot be guaranteed. Proofreading is solely your responsibility.

Offprints

The corresponding author will, at no cost, receive a customized [Share Link](#) providing 50 days free access to the final published version of the article on [ScienceDirect](#). The Share Link can be used for sharing the article via any communication channel, including email and social media. For an extra charge, paper offprints can be ordered via the offprint order form which is sent once the article is accepted for publication. Both corresponding and co-authors may order offprints at any time via Elsevier's [Author Services](#). Corresponding authors who have published their article gold open access do not receive a Share Link as their final published version of the article is available open access on ScienceDirect and can be shared through the article DOI link.

AUTHOR INQUIRIES

Visit the [Elsevier Support Center](#) to find the answers you need. Here you will find everything from Frequently Asked Questions to ways to get in touch.

You can also [check the status of your submitted article](#) or find out [when your accepted article will be published](#).

© Copyright 2018 Elsevier | <https://www.elsevier.com>