

CICLOS CURTOS DE JEJUM E REALIMENTAÇÃO PARA JUVENIS DE *COLOSSOMA MACROPOMUM* EM TANQUES-REDE

Renata Franco dos Santos¹, Joana Paula de Souza Cornélio², Ádria Silva Gomes³, Juliana Tomomi Kojima⁴,
Hugo Gabriel Guedes de Oliveira⁵, Rodrigo Yukihiro Gimbo⁶, Lucas Pedro Gonçalves Junior⁷

RESUMO

São escassos os estudos sobre manejo alimentar, principalmente avaliando a capacidade de ganho compensatório, assim como os efeitos dessa prática nas respostas metabólicas nas diferentes fases e sistema de criação. Assim, objetivou-se avaliar o crescimento, as reservas energéticas e parâmetros hematológicos de juvenis de *Colossoma macropomum* submetidos a jejum e realimentação cíclicos de curta duração em tanques-rede flutuantes. Foram utilizados 7.560 juvenis de *C. macropomum* ($40,56 \pm 10,96$ g). Os peixes foram distribuídos em seis tanques-rede (3,0m x 3,0m x 2,7m) com densidade de estocagem de 50 peixes/m³. Durante os 60 dias de experimento, os peixes receberam dietas comerciais com 28% de proteína bruta (3–4 mm) duas vezes ao dia (08h00 e 17h00), de acordo com a saciedade aparente. Os peixes foram distribuídos entre os dois tratamentos a seguir com três repetições cada: 1) Controle (alimentados continuamente); e F1R2, submetido a um dia de jejum seguido de dois dias de realimentação (vinte ciclos de jejum-realimentação). O protocolo F1R2 afetou negativamente as respostas de juvenis de *C. macropomum* mantidos em produção comercial em sistema de tanque-rede flutuante. O hematócrito, a contagem de glóbulos vermelhos e o volume celular médio permaneceram reduzidos durante o período experimental. Foi observada mobilização do glicogênio hepático e reservas lipídicas dos tecidos adiposo e muscular. *C. macropomum* conseguiu apresentar ganho compensatório apenas parcial, após os 60 dias de experimento. Os juvenis apresentaram ajuste fisiológico e metabólico ao manejo alimentar cíclico de jejum e realimentação. A estratégia de manejo F1R2 submeteu os peixes em nível de restrição considerado severo na fase inicial de crescimento.

Palavras-chave: Fisiologia de peixes; Peixe amazônico; Restrição alimentar; Sistema intensivo; Tambaqui.

¹ Universidade Nilton Lins. renatafranco13@gmail.com, ORCID: [0000-0002-8433-9022](https://orcid.org/0000-0002-8433-9022)

² Universidade Nilton Lins. joanapaula_aqui@hotmail.com, ORCID: [0000-0002-7865-2354](https://orcid.org/0000-0002-7865-2354)

³ Universidade Nilton Lins. adriasilvagomes@gmail.com, Lattes: [7224283660391962](https://lattes.cnpq.br/7224283660391962)

⁴ Universidade Nilton Lins. juliana.kojima@niltonlins.edu.br, ORCID: [0000-0001-5099-7505](https://orcid.org/0000-0001-5099-7505)

⁵ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins. hugo.guedes94@gmail.com, ORCID: [0000-0002-5750-8054](https://orcid.org/0000-0002-5750-8054)

⁶ rodrigo_gimbo@yahoo.com.br, ORCID: [0000-0001-8913-3165](https://orcid.org/0000-0001-8913-3165)

⁷ Universidade Nilton Lins. lpgoncalvesjr@hotmail.com, ORCID: [0009-0000-2232-8443](https://orcid.org/0009-0000-2232-8443)

SHORT CYCLES OF FASTING AND REFEEDING FOR JUVENILES OF *COLOSSOMA MACROPOMUM* IN NET TANKS

ABSTRACT

There are few studies on feeding management, mainly evaluating the capacity for compensatory gain, as well as the effects of this practice on metabolic responses in different phases and breeding systems. Like this, the aim was to evaluate, energy reserves, hematological and biochemical parameters of juvenile *Colossoma macropomum* subjected to short-term cyclic fasting and refeeding in floating cages. A total of 7560 juvenile *C. macropomum* (40.56 ± 10.96 g) were used. Fish were distributed in six net cages (3,0m x 3,0m x 2,7m) at a stocking density of 50 fish/m³. During the 60 days of the experiment, the fish were offered commercial diets of 28% crude protein (3–4 mm) twice daily (08h00 am and 05h00 pm) according to apparent satiation. Fish were distributed between the following two treatments with three replicates each: 1) Control, (fed continuously daily); and F1R2, submitted to one day of fasting followed by two days of refeeding (twenty fasting-refeeding cycles). The F1R2 protocol negatively affected the responses of juvenile *C. macropomum* kept in commercial production in a floating net tank system. Hematocrit, red blood cell count and mean cell volume remained reduced during the experimental period. Mobilization of liver glycogen and lipid reserves in adipose and muscle tissues was observed. *C. macropomum* managed to show only partial compensatory gain after 60 days of experiment. Juveniles showed physiological and metabolic adjustment to the cyclical dietary management of fasting and refeeding. The F1R2 management strategy subjected the fish to a level of restriction considered severe in the initial growth phase.

Keywords: Fish physiology; Amazon fish; Food restriction; Intensive system.

INTRODUÇÃO

Peixes em ambientes naturais são adaptados a períodos de privação alimentar em função da sazonalidade de oferta de alimento ou jejum durante o ciclo reprodutivo. Os mecanismos de ajustes fisiológicos durante esta fase foram amplamente estudados nos teleósteos (ŞAHIN *et al.*, 2000; MORALES *et al.*, 2004; FURNÉ *et al.*, 2008, 2012; FAVERO *et al.*, 2020; FEIDANTSIS *et al.*, 2022; FRAÇOIS *et al.*, 2023). Sabe-se que após o início da restrição alimentar as reservas de glicogênio passam a ser mobilizadas e convertidas em glicose pelo processo chamado glicogenólise (BARCELLOS *et al.*, 2010; FURNÉ *et al.*, 2012; FAVERO *et al.*, 2020; KLAHAN *et al.*, 2023). Com a redução da reserva de glicogênio, a homeostase da glicose passa a ser mantida pela gliconeogênese (SOENGAS *et al.*, 1996; METÓN *et al.*, 2003; PY *et al.*, 2022). Paralelamente à glicogenólise, as reservas lipídicas do músculo e tecido adiposo também são utilizados como substrato para obter energia (FAVERO *et al.*, 2018; LI *et al.*, 2023).

Quando o período de restrição se prolongou foi observado redução da massa corporal (WANG *et al.*, 2000; GAO & LEE, 2012; ELBIALY *et al.*, 2022). Esta última resposta esteve associada à redução na concentração de proteína no músculo e aumento da concentração de aminoácidos não essenciais no plasma (BLASCO *et al.*, 1992). Outra alteração, como a redução da taxa metabólica ocorre como mecanismo poupador de energia (REEVE *et al.*, 2022). Durante a realimentação, o nível de atividade metabólica antes da inanição é recuperado, com restabelecimento das reservas teciduais, parâmetros plasmáticos (glicemia e colesterol), atividades enzimáticas hepáticas e musculares (ASHOURI *et al.*, 2020; FURNÉ *et al.*, 2012; METÓN *et al.*, 2003; ALBANESI *et al.*, 2022). Nesse período também ocorre hiperfagia e ganho compensatório (ALI *et al.*, 2003; BRAZ *et al.*, 2022).

A manipulação desses cíclicos de jejum e realimentação podem ser utilizados como estratégia de manejo alimentar na piscicultura para reduzir o custo com alimentação (OLIVEIRA *et al.*, 2020; 2022) ou durante o atraso na compra de ração. Benefícios também são observados na manutenção da qualidade da água, uma vez que a excreção fósforo foi 32% menor em tanques que receberam alimentação cíclica versus tanques continuamente alimentados (TURANO *et al.*, 2008). Os resultados para desempenho e conversão alimentar são mais satisfatórios quando se utiliza períodos curtos de um ou dois dias de restrição

(URBINATI *et al.*, 2014; SILVA *et al.*, 2019; WANG *et al.*, 2019; ASSIS *et al.*, 2020) em relação a ciclos longo de sete ou mais dias de restrição (SOUZA *et al.*, 2003; CHO, 2005; WANG *et al.*, 2009; GAO & LEE, 2012). Vários fatores podem afetar o estabelecimento do protocolo de restrição ideal, como a espécie, temperatura da água, estado nutricional anterior ao jejum, duração da privação e do período de realimentação (ALI *et al.*, 2003; COSTA *et al.*, 2019). Contudo, é provável que a resposta metabólica e de crescimento também seja diferente em estudo com uma mesma espécie em função da variação atribuída ao sistema de produção (GALLARDO-COLLÍ *et al.*, 2020; AVADI *et al.*, 2022), devido ao grau de intensificação e a disponibilidade de alimento natural.

O *Colossoma macropomum* é uma espécie de hábito alimentar onívoro da bacia do Rio Amazonas, sendo criada tanto no sistema de produção em viveiro escavado quanto em tanque rede flutuante em grandes reservatórios (HILSDORF *et al.*, 2022). No ano de 2022 foram produzidas 267 mil toneladas, sendo a principal espécie nativa criada (PEIXE BR, 2023). Quando alimentada com dieta comercial e mantida em água com temperatura média de 28 °C pode superar os 1,5 kg após 12 meses de cultivo (PEDROZA-FILHO *et al.*, 2016). Além disso, é capaz de tolerar níveis de oxigênio dissolvido na água inferior a 1 mg.L⁻¹ (NEVES *et al.*, 2020). No entanto, ainda são escassos os estudos sobre manejo alimentar com essa espécie, principalmente avaliando a capacidade de ganho compensatório, assim como os efeitos dessa prática nas respostas metabólicas nas diferentes fases e sistema de criação. Sabe-se que para juvenis de *C. macropomum* de 75 g, a compensação do crescimento foi total quando os peixes foram submetidos à privação alimentar até 14 dias (ITUASSÚ *et al.*, 2004). Já para peixes de 8 g manejados com ciclos de restrição de dois dias e realimentação de cinco, também foi possível obter ganho compensatório total e redução na conversão alimentar em 57 %, em comparação a peixes alimentados até a saciedade aparente em sistema de tanque rede (SANTOS *et al.*, 2018). Para juvenis de 18 g em sistema de recirculação de água submetidos a restrição alimentar de uma vez na semana, o crescimento, glicose, triglicerídeos e reservas energéticas não foram afetados em comparação aos peixes alimentados continuamente (ASSIS *et al.*, 2020). Estes resultados são promissores e evidenciam a necessidade da realização de novos estudos que possam contribuir para o manejo nutricional do *C. macropomum*.

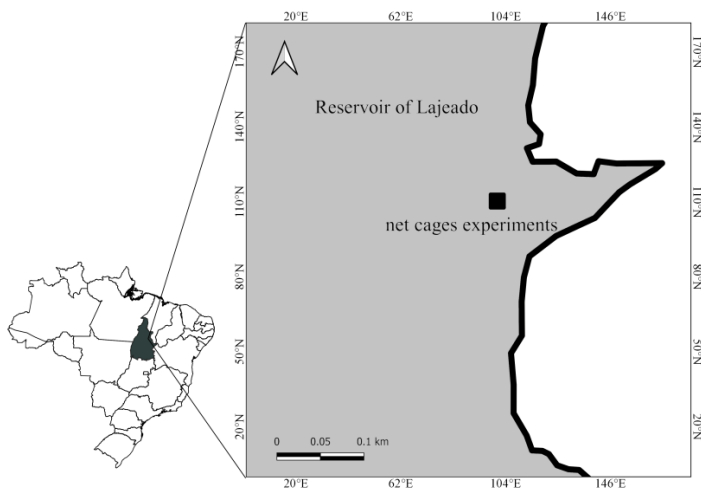
Portanto, este estudo teve como objetivo avaliar o desempenho de crescimento, reservas energéticas, parâmetros hematológicos e bioquímicos de juvenis de *C. macropomum* submetidos a ciclo curtos de jejum e realimentação em tanques-rede flutuantes.

METODOLOGIA

Área de estudo e condições experimentais

A pesquisa foi realizada na fazenda do Parque Aquícola de Sucupira ($24^{\circ}50'24.5''$ N $9^{\circ}03'22.5''$ E), no Reservatório do Lajeado, que ocupa uma área de 360 km² e representa 0,23% da área do Estado do Tocantins (Figura 1).

Figura 1: Localização da piscicultura onde foi realizado o experimento no reservatório do Lajeado, Estado do Tocantins, Brasil.



Fonte: Proprios Autores

Um total de 7.560 juvenis de *C. macropomum* ($40,56 \pm 10,96$ g) foi obtido na Piscicultura São Paulo, Tocantins, Brasil. Os peixes foram aclimatados por três semanas em tanques de 50.000 L com aeração constante, sendo alimentados com ração comercial extrusada três vezes ao dia até aparente saciedade (40% de proteína bruta, 2–3 mm de diâmetro). Os peixes foram posteriormente distribuídos em seis tanques-rede (3,0m x 3,0m x 2,7m) utilizando a densidade de estocagem de 50 peixes/m³.

Desenho experimental

Durante os 60 dias de experimento, os peixes receberam dietas comerciais com 28% de proteína bruta (3–4 mm) duas vezes ao dia (08h00 e 17h00) de acordo com a saciedade aparente. Os peixes foram distribuídos entre os dois tratamentos a seguir, com três repetições cada (totalizando seis unidades experimentais):

1. Controle, peixes alimentados continuamente;
2. F1R2, peixes submetidos a um dia de jejum seguido de dois dias de realimentação (vinte ciclos de jejum-realimentação).

Hematologia

Nos dias 30 e 60 do experimento, 45 peixes dos tratamentos foram capturados e anestesiados (solução de eugenol 60 mg L⁻¹) para coleta de sangue por vaso caudal. O sangue foi dispensado em microtubos (2 ml), contendo anticoagulante (EDTA adicionado de fluoreto de potássio, Glistab, 20µl). Os protocolos de análise foram adaptados de Ranzani-Paiva *et al.* (2013). A contagem de eritrócitos (RBC) foi realizada em câmara de Neubauer com sangue previamente fixado em tampão formalina-citrato. Para determinação do hematócrito (Hct), os tubos de microhematócrito foram centrifugados a 10.000 rpm por 5 minutos, e a leitura foi realizada em uma placa medidora que fornece os valores do hematócrito. A concentração de hemoglobina (Hb) foi medida pelo método da cianometemoglobina utilizando kit comercial (Kit Labtest Ref.43). O volume celular médio (VCM) foi estimado pela equação. $VCM = (Hct / RBC) \times 10$.

Análise bioquímica

O sangue total foi centrifugado (3000 x g, 10min, 4°C) para obtenção de alíquotas de plasma para determinação das concentrações de glicose e triglicerídeos por métodos colorimétricos enzimáticos (Kit Labtest 84 e 87, respectivamente). Outro microtubo sem anticoagulante foi utilizado para obtenção de soro para determinação da concentração proteica total (Kit Labtest 99), utilizando kit colorimétrico comercial, conforme recomendações do fabricante.

Índices biométricos e reservas energéticas

Após coleta de sangue, 36 peixes por tratamento foram eutanasiados por anestesia de imersão (solução de eugenol 70 mg L⁻¹) e dissecados para remoção do fígado, tecido muscular e adiposo. Fígado e tecido adiposo foram utilizados para calcular o índice hepatossomático (HSI) e o índice somático de gordura visceral (VFSI), respectivamente, como [(peso do tecido/peso corporal) x 100].

O tecido hepático e muscular foram congelados a -20°C para posterior determinação das concentrações hepáticas de glicogênio e lipídios hepáticos (MOON *et al.*, 1989) e concentração de lipídios musculares, respectivamente (BLIGH & DYER, 1959).

Desempenho zootécnico

O desempenho zootécnico foi avaliado pela pesagem dos peixes (n= 200) de cada tanque-rede em balança digital modelo BP001 nos dias 30 e 60 do experimento para determinação dos seguintes índices: peso corporal final (PCF, g); peso corporal (PC, g) = (peso final – peso inicial); taxa de crescimento específico (TCE, %/dia) = 100 x [(ln peso final médio)-(ln peso médio inicial)]/dias experimentais; taxa de conversão alimentar (TCA) = consumo de ração (g) / ganho de peso (g), biomassa final (BF, Kg) = (peso final * número de peixes) e taxa de sobrevivência (S, %) = [(sobrevivência final peixe/Peixe estocado)x100].

Qualidade da água

A temperatura, condutividade elétrica, pH e oxigênio dissolvido (OD) foram monitorados duas vezes ao dia (8h00 e 16h00), enquanto a amônia total foi monitorada uma vez por semana (Tabela 1). A temperatura da água, a condutividade elétrica e o pH foram medidos com medidor multiparâmetro AK 59 (Akso Produtos Eletrônicos, São Leopoldo, RS, Brasil) enquanto o oxigênio dissolvido (OD) e a amônia total foram medidos com kits de testes colorimétricos.

Qualidade da água

Os dados foram testados quanto aos pressupostos estatísticos de normalidade e homogeneidade pelos testes Cramér Von Mises e Brown Forsythe, respectivamente. As comparações estatísticas entre os tratamentos foram feitas por análise de variância (ANOVA) seguida do teste F ($p < 0,05$), utilizando o software estatístico R. Os dados são apresentados como médias $\pm$ desvio padrão.

Tabela 1 - Parâmetros de qualidade da água para todos os tanques-rede contendo juvenis de *C. macropomum* por 60 dias.

Parâmetro	Valor
Temperatura (°C)	30,25 $\pm$ 1,70
Condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	0,29 $\pm$ 0,14
pH	7,65 $\pm$ 1,40
Oxigênio dissolvido (mg/L^{-1})	7,87 $\pm$ 1,21
Amônia total ($\text{mg}.\text{L}^{-1}$)	0,033 $\pm$ 0,10

Fonte: Autores (2024).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Parâmetros hematológicos e bioquímicos

Após 30 e 60 dias de experimento, os peixes submetidos ao regime alimentar cíclico F1R2, apresentaram valores reduzidos ($p < 0,05$) de hematócrito, contagem de hemácias e VCM em comparação aos peixes controle (Tabela 2). No entanto, a concentração de hemoglobina para peixes F1R2 aumentou em comparação com a dos peixes controle aos 30 dias ($p < 0,05$), mas não diferiu aos 60 dias (final do experimento).

Tabela 2 - Hematócrito (Ht), contagem de eritrócitos (RBC), concentração de hemoglobina (Hb) e volume celular médio (VCM) de juvenis de *C. macropomum* submetidos ao tratamento em ciclo de jejum e realimentação (F1R2) e controle aos 30 e 60 dias.

	30 DIAS		60 DIAS	
	CONTROLE	F1R2	CONTROLE	F1R2
Ht (%)	36,54±10,22 ^a	20,93±3,30 ^b	27,88±4,94 ^a	22,84±5,13 ^b
RBC (10 ⁶ /μL)	1,83±0,06 ^a	1,50±0,06 ^b	2,70±0,17 ^a	1,35±0,04 ^b
Hb (g/dL ⁻¹)	13,69 ±0,70 ^a	13,98±1,04 ^b	13,33±0,68	13,96 ±0,65
MCV (fL)	287,99±1,12 ^a	153,01±0,55 ^b	182,42±0,48 ^a	134,95±0,4 ^b

Valores expressos como média ± desvio padrão de três repetições (gaiolas-rede), n = 45. Letras diferentes na mesma linha indicam diferença estatística entre tratamento e controle (P<0,05) nos respectivos períodos de 30 e 60 dias (teste F).

Fonte: Autores (2024).

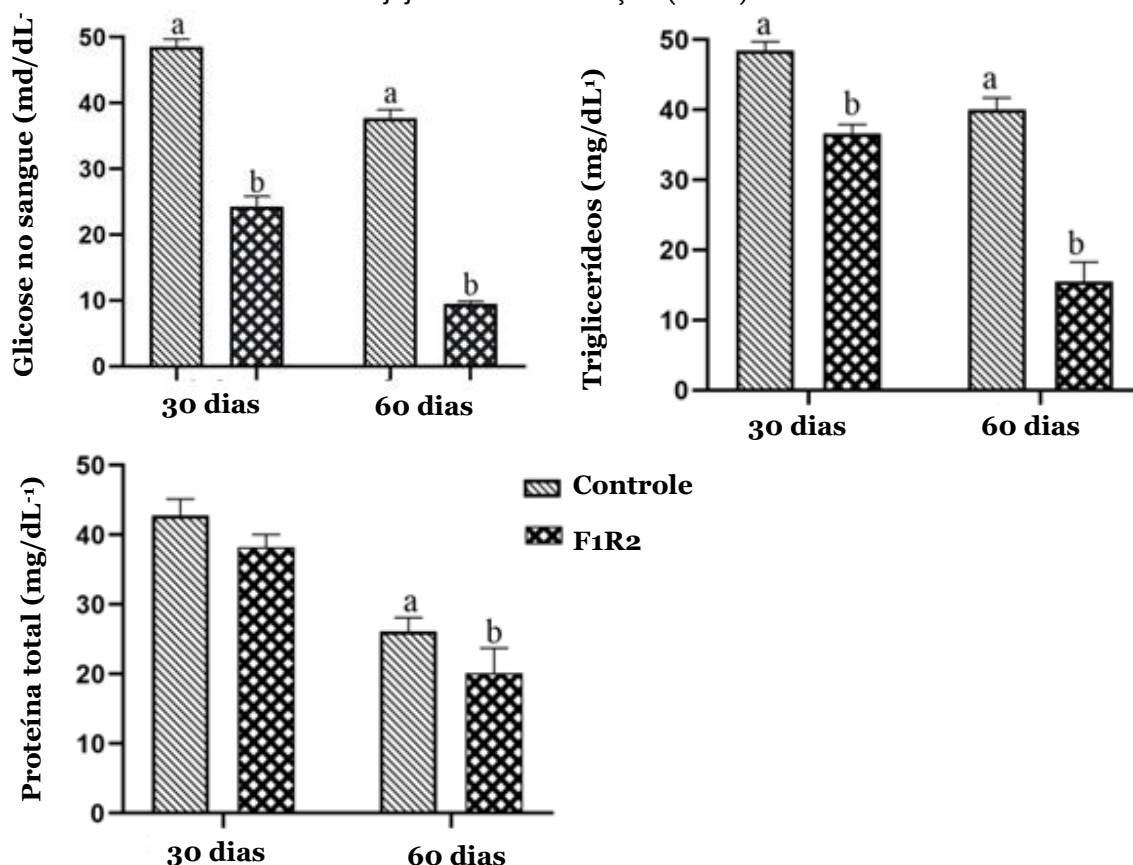
O regime alimentar avaliado resultou em valores reduzidos para os parâmetros hematológicos em relação ao controle. No entanto, após a redução da hemoglobina nos primeiros 30 dias, o *C. macropomum* apresentou capacidade de recuperar o valor basal após 60 dias. Semelhante ao observado no presente estudo, já havia sido reportado na literatura que o jejum reduziu os valores de hematócrito quando utilizado ciclos de dois dias de restrição seguido de cinco dias de realimentação em *C. macropomum* (ASSIS *et al.*, 2020) e para o *Lophiosilurus alexandri* (SILVA *et al.*, 2019).

O hematócrito, RBC, volume celular médio e hemoglobina representam a capacidade de transportar oxigênio no sangue (AZEVEDO *et al.*, 2016; NEVES *et al.*, 2020) e a redução em função da subalimentação está associado ao processo anêmico (RIOS *et al.*, 2011). Em contrapartida, a restrição alimentar não afetou o hematócrito em *Pagrus pagrus* em jejum de 14 dias (CARUSO *et al.*, 2012), nem o hematócrito, RBC e a concentração de hemoglobina em *Hoplosternum littorale* em jejum de 28 dias (ROSSI *et al.*, 2015) e em *Acipenser baerii* jejuou por 45 dias (JAFARI *et al.*, 2019). Esta divergência no padrão de resposta pode ser atribuída às condições experimentais e às espécies.

Os níveis de glicose e triglicerídeos no sangue diminuíram durante o experimento (ambos aos 30 dias e aos 60 dias) para os peixes F1R2, em comparação com os do controle, com a diferença sendo mais acentuada no final do experimento. A proteína total diferiu apenas aos 60 dias (Figura 2). A redução da glicose esteve associada ao menor consumo alimentar no

tratamento F1R2 em relação ao controle, corroborando o relatado previamente na literatura para o *C. macropomum* (ASSIS *et al.*, 2020). Associado a isso, a mobilização do glicogênio hepático e lipídio no músculo como fonte de energia não foram suficientes para manter a homeostase da glicose (BARCELLOS *et al.*, 2010; FURNÉ *et al.*, 2012). Embora a gliconeogênese também possa ser utilizada para auxiliar nesse processo (METÓN *et al.*, 2003; SOENGAS *et al.*, 1996), os mecanismos de regulação dos níveis de glicose durante ciclos curtos de jejum e realimentação não estão completamente claros. Os primeiros achados sugerem que a glicemia não é afetada quando os peixes são alimentados com regimes menos severos (ASSIS *et al.*, 2020; SILVA *et al.*, 2019).

Figura 2: Glicose, triglicerídeos e proteína total de juvenis de *C. macropomum* submetidos ao tratamento em ciclo de jejum e realimentação (F1R2) e controle aos 30 e 60 dias.



Letras diferentes no mesmo gráfico indicam diferença estatística entre tratamentos e controle ($P < 0,05$) nos respectivos períodos de 30 e 60 dias (teste F).

Fonte: Autores (2024).

O efeito da restrição alimentar na inibição na lipogênese e o aumento da β -oxidation são as prováveis justificativas do valor baixo de triglicerídeos (ROSSI *et al.*, 2015; SHIRVAN *et al.*, 2020). Já a redução da proteína total no plasma pode ser relacionada ao processo catabólico de hidrólise de proteínas e oxidação de aminoácidos (SHIRVAN *et al.*, 2020). Entretanto, os níveis triglicerídeos e proteína total exibem respostas variáveis em relação aos protocolos de restrição alimentar, podendo aumentar (MORSHEDI *et al.*, 2017; SHIRVAN *et al.*, 2020), reduzir (ASHOURI *et al.*, 2020; PÉREZ-JIMÉNEZ *et al.*, 2012) ou não ser influenciados (ASSIS *et al.*, 2020; SILVA *et al.*, 2019).

Índices biométricos e reservas energéticas

O índice hepatossomático (HSI) e o índice somático da gordura visceral (VFSI) não diferiram significativamente entre o tratamento F1R2 e os peixes controle ($p>0,05$), com valores respectivos de $2,90 \pm 0,65\%$ e $1,53 \pm 0,48\%$ para F1R2 e $4,04 \pm 1,11\%$ e $4,00 \pm 1,16\%$ para o controle. Já as reservas teciduais foram influenciadas pelo regime alimentar cíclico (tratamento F1R2), com o glicogênio hepático e lipídios musculares diminuindo em comparação ao controle. O nível lipídico hepático não apresentou efeito aos 60 dias (Figura 3).

Sabe-se que a mobilização das reservas energéticas durante a privação alimentar pode reduzir o peso do fígado e da gordura visceral (BARCELLOS *et al.*, 2010; CARUSO *et al.*, 2012; DAVIS & GAYLORD, 2011), porém, no presente estudo, esse efeito não foi suficiente para influenciar o HSI e o VFSI. Resultados semelhantes foram encontrados por Assis *et al.*, (2020) para juvenis de *C. macropomum* quando submetidos à restrição alimentar uma vez por semana. O mesmo resultado para HSI foi encontrado por Morshedi *et al.*, (2017), que testaram ciclos de dois dias de jejum e realimentação por oito dias com *Acipenser baerii*. Para *Oreochromis niloticus*, o HSI foi semelhante para ciclos de um dia de jejum e três dias de alimentação em comparação ao controle, mas foi menor quando se utilizou três dias de jejum e nove dias de realimentação (GALLARDO-COLLÍ *et al.*, 2020). *Piaractus mesopotamicus* submetido à privação alimentar apresentou redução do IHS após seis dias e redução do VFSI somente após 18 dias (FAVERO *et al.*, 2020), o que indica que para essas duas variáveis, o efeito da restrição alimentar é mais evidente quando o período de jejum é prolongado. Além

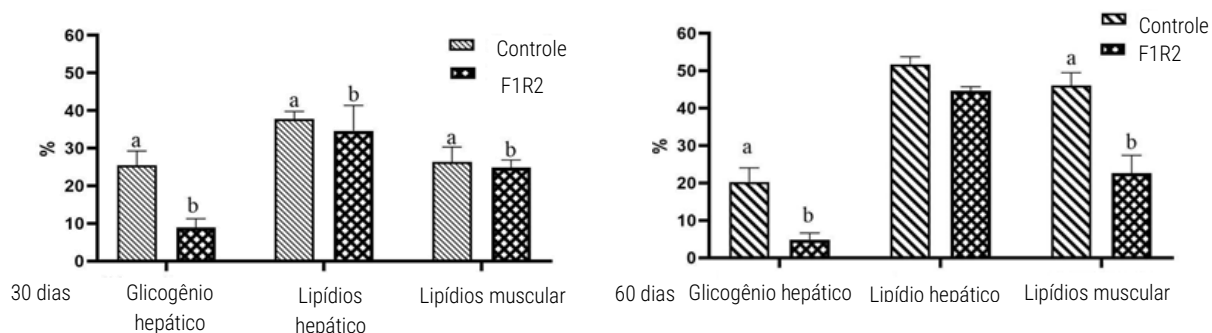
disso, a concentração lipídica hepática não foi alterada, indicando a importância desta reserva para o metabolismo durante ciclos curtos de restrição e também explica a falta de efeito no HSI (CARUSO *et al.*, 2012; MORSHEDI *et al.*, 2017; PÉREZ-JIMÉNEZ *et al.*, 2012).

Os ciclos curtos de restrição induziram a mobilização de glicogênio no fígado e lipídios no músculo. O glicogênio hepático foi proporcionalmente a reserva energética mais mobilizada para *Cyprinus carpio* após dois meses de jejum (BLASCO *et al.*, 1992). A redução do glicogênio hepático e dos lipídios musculares são efeitos comuns em teleósteos durante períodos de privação alimentar (BARCELLOS *et al.*, 2010; DAVIS & GAYLORD, 2011; FAVERO *et al.*, 2020; FURNÉ *et al.*, 2012). O presente estudo constatou que esse efeito foi mais pronunciado durante os últimos 30 dias do experimento, mas o glicogênio hepático foi parcialmente preservado nos peixes submetidos ao regime cíclico. Resultados semelhantes foram relatados anteriormente apenas quando se utilizou jejum prolongado (PÉREZ-JIMÉNEZ *et al.*, 2012; SOENGAS *et al.*, 1996). Essas reservas normalmente retornam ao valor basal após a realimentação (ASHOURI *et al.*, 2020; FURNÉ *et al.*, 2012; METÓN *et al.*, 2003; SOENGAS *et al.*, 1996), o que não foi observado no presente estudo, indicando um padrão diferente para *C. macropomum* submetido a ciclos curtos de restrição.

Desempenho zootécnico

A taxa de sobrevivência não diferiu entre o regime de alimentação cíclico (tratamento F1R2) e o controle. Os parâmetros de PCF, WW, FB e FCR diminuíram para F1R2, em comparação ao controle, enquanto o SGR aumentou, sendo considerado o crescimento parcialmente compensatório (Tabela 3).

Figura 3: Glicogênio hepático, lipídio hepático, e lipídios musculares de juvenis de *C. macropomum* submetidos ao tratamento em ciclo de jejum e realimentação (F1R2) e controle aos 30 (a) e 60 (b) dias.



Letras diferentes no mesmo gráfico indicam diferença estatística entre tratamento e controle ($P < 0,05$) nos respectivos períodos de 30 e 60 dias (teste F), $n=36$.

Fonte: Autores (2024).

Tabela 3 - Desempenho zootécnico de juvenis de *C. macropomum* submetidos ao ciclo de jejum e realimentação (F1R2) e controle. PVF = peso corporal final, PV = peso da perna, TGS = taxa de crescimento específico, TCA = relação de conversação alimentar, BF = biomassa final e SR = taxa de sobrevivência.

	30 DIAS		60 DIAS	
	CONTROLE	F1R2	CONTROLE	F1R2
FBW (g)	91,03±3,58 ^a	60,56±4,71 ^b	146,48±1,71 ^a	114,03±3,34 ^b
WW (g)	51,03 ±5,42 ^a	20,56±1,89 ^b	55,46±2,54	53,48 ±4,01
SGR (% Day⁻¹)	2,74±1,05 ^a	1,38±1,02 ^b	1,57±0,10 ^a	2,11±0,09 ^b
FCR	2,0±0,22 ^a	3,3±0,25 ^b	1,5±0,81 ^a	1,2±0,07 ^b
FB(Kg)	109,23±10,54 ^a	72,67±9,12 ^b	175,78±11,54 ^a	136,84±8,01 ^b
SR (%)	98,24±12,45	98,32±10,32	98,55±9,45	98,56±10,33

Valores expressos como média ± DP de três repetições (tanques-rede), $n=200$. Letras diferentes na mesma linha indicam diferença estatística entre tratamento e controle ($P < 0,05$) nos respectivos períodos de 30 e 60 dias (teste F).

Fonte: Autores (2024).

Os peixes submetidos ao regime alimentar cíclico apresentaram crescimento compensatório parcial. Em contrapartida, ganho compensatório completo foi obtido para *C. macropomum* quando foram utilizados ciclos de dois dias de restrição e cinco dias de realimentação (SANTOS *et al.*, 2018) ou com um dia de restrição e seis dias de realimentação (ASSIS *et al.*, 2020). Isso indica que os períodos sucessivos de apenas dois dias de realimentação após um dia de restrição foram mais severos em relação aos protocolos relatados na literatura para

C. macropomum, explicando a piora das variáveis de desempenho zootécnico no presente estudo. Associado a isso, o alimento natural não está disponível em quantidade suficiente no sistema de produção em gaiola-rede para ser utilizado pelos peixes como fonte complementar de nutrientes durante períodos de oferta restrita de ração.

Comportamento hiperfágico foi observado durante a realimentação, mas não foi suficiente para igualar o consumo de ração dos peixes alimentados continuamente. Esta resposta reforça a hipótese de que ciclos curtos de um dia de restrição seguido de dois dias de realimentação não permitiram que *C. macropomum* expressasse seu potencial máximo de crescimento e estavam associados a alterações hematológicas. Porém, a sobrevivência não foi afetada e houve uma economia de 40% no consumo de ração, e consequente efeito na conversão alimentar e redução do crescimento. Isso indica que esta prática pode ser utilizada como estratégia quando for necessário reduzir o consumo de ração em momentos específicos ao longo do ciclo produtivo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo constatou que ciclos curtos de jejum por um dia seguido de realimentação por dois dias afetaram negativamente as respostas de juvenis de *C. macropomum*, mantidos em produção comercial em sistema de tanques-rede flutuante. O ganho compensatório foi parcial. Os peixes apresentaram ajuste fisiológico e metabólico ao ciclo de manejo alimentar de jejum e realimentação. Contudo, a estratégia de manejo F1R2 submeteu os peixes em nível de restrição considerado severo na fase de crescimento avaliada.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (Fapeam).

DECLARAÇÃO DE ÉTICA

O experimento foi aprovado pelo Comitê de Ética e Bem-Estar Animal da Universidade Nilton Lins, localizada em Manaus (Amazonas, Brasil) (protocolo nº 003/2018).

CONFLITO DE INTERESSE

Os autores declaram não ter interesses financeiros concorrentes ou relações pessoais conhecidas que possam ter influenciado o estudo relatado neste artigo.

REFERÊNCIAS

- ALBANESI, C.; GONZÁLEZ-CASTRO, M.; LÓPEZ-MAÑANES, A. Prejuveniles of *Mugil liza* (Actinopterygii; Fam. Mugilidae) show digestive and metabolic flexibility upon different postprandial times and refeeding. **Journal of Comparative Physiology B**, v. 192, p.561–573, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00360-022-01438-5>.
- ALI, M.; NICIEZA, A.; WOOTTON, R.J. Compensatory growth in fishes: A response to growth depression. **Fish and Fisheries**, v.4, n.2, p.147–190, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1467-2979.2003.00120.x>.
- ASHOURI, G., et al. Compensatory growth, plasma hormones and metabolites in juvenile Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*, Brandt 1869) subjected to fasting and re-feeding. **Aquaculture Nutrition**, v.26, p.400–409, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1111/anu.13002>.
- ASSIS, Y.P.A.S. et al. Feed restriction as a feeding management strategy in *Colossoma macropomum* juveniles under recirculating aquaculture system (RAS). **Aquaculture**, v.529, 735689, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735689>.
- AZEVEDO, T.M.P. et al. Valores de referência dos parâmetros hematológicos de *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) cultivados em tanques-rede em Paulo Afonso, no estado da Bahia, Brasil. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v.20, n.2, p.63–74, 2016. DOI: <https://doi.org/10.14210/bjast.v20n1>.
- AVADÍ, A. et al. How to enhance the sustainability and inclusiveness of smallholder aquaculture production systems in Zambia? **Aquaculture**, v.547, 737494, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737494>.
- BARCELLOS, L.J.G. et al. The effects of fasting on cortisol, blood glucose and liver and muscle glycogen in adult jundiá *Rhamdia quelen*. **Aquaculture**, v.300, p.231–236, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.01.013>.
- BLASCO, J.; FERNANDEZ, J.; GUTIERREZ, J. Variations in tissue reserves, plasma metabolites and pancreatic hormones during fasting in immature carp (*Cyprinus carpio*) **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology**, v.103, p.357–363, 1992. DOI: [https://doi.org/10.1016/0300-9629\(92\)90594-G](https://doi.org/10.1016/0300-9629(92)90594-G).
- BRAZ, J.M., et al. Compensatory growth of Nile tilapia fingerlings subjected to food restriction and re-feeding at low temperatures. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.21, 2022. DOI: <https://doi.org/10.5965/223811712142022481>.

CARUSO, G. *et al.* Short fasting and refeeding in red porgy (*Pagrus pagrus*, Linnaeus 1758): Response of some haematological, biochemical and non specific immune parameters. **Marine Environmental Research**, v.81, p.18-25, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2012.07.003>.

CHO, S.-H. Effects of Alternate-Week Feeding Strategies on Growth and Feed Efficiency Ratio of Juvenile Nile Tilapia *Oreochromis niloticus* in a Recirculating System. **Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 8, p.128-131, 2005. DOI: <https://doi.org/10.5657/fas.2005.8.3.128>.

COSTA, D.P., *et al.* Food Restriction Programs and Their Applications in Fish Aquaculture. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v.9, p.316-322, 2019. DOI: <https://doi.org/10.17265/2161-6264/2019.05.002>.

DAVIS, K.B.; GAYLORD, T.G. Effect of fasting on body composition and responses to stress in sunshine bass. **Comparative Biochemistry Physiology - A Mol. Int. Physiol.** v.158, p.30–36, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2010.08.019>.

ELBIALY, Z.I. *et al.* Exploring the impacts of different fasting and refeeding regimes on Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.): growth performance, histopathological study, and expression levels of some muscle growth-related genes. **Fish Physiology and Biochemistry**, v.48, p.973–989, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10695-022-01094-0>.

FAVERO, G.C., *et al.* Fasting and refeeding lead to more efficient growth in lean pacu (*Piaractus mesopotamicus*). **Aquaculture Research**, v.49, p.359–366, 2018. <https://doi.org/10.1111/are.13466>.

FAVERO, G.C., *et al.* A fasting period during grow-out make juvenile pacu (*Piaractus mesopotamicus*) leaner but does not impair growth. **Aquaculture**, v.524, p.1-7, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735242>.

FEIDANTSIS, K. *et al.* Synergistic effect of long-term feed deprivation and temperature on the cellular physiology of meagre (*Argyrosomus regius*), **Journal of Thermal Biology**, v.105, 103207, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2022.103207>.

FRANÇOIS, N.R. *et al.* Compensatory growth response of juvenile Arctic charr (*Salvelinus alpinus* L. Naeyuk) under various cyclical food restriction and refeeding periods. **Aquaculture**, v. 563, 73897, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738971>.

FURNÉ, M. *et al.* Effect of starvation and refeeding on digestive enzyme activities in sturgeon (*Acipenser naccarii*) and trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, v.149, p.420–425, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2008.02.002>.

FURNÉ, M. *et al.* The metabolic effects of prolonged starvation and refeeding in sturgeon and rainbow trout. **Journal of Comparative Physiology B**, v.182, p.63–76, 2012. <https://doi.org/10.1007/s00360-011-0596-9>.

GALLARDO-COLLÍ *et al.* 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. DOI: <https://doi.org/10.1111/are.14530>.

GAO, Y.; LEE, J. Compensatory Responses of Nile Tilapia *Oreochromis niloticus* under Different Feed-Deprivation Regimes. **Fisheries and Aquatic Science**, v.15, p.305–311, 2012. DOI: <https://doi.org/10.5657/FAS.2012.0305>.

HILSDORF, A.W.S. *et al.* The farming and husbandry of *Colossoma macropomum*: From Amazonian waters to sustainable production. **Reviews in Aquaculture**, v.14, p.993-1027, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1111/raq.12638>.

ITUASSÚ, D.R.; ROBSON, G.; ROUBACH, R. Detidesenvolvimento de tambaqui submo a períodos de privação alimentar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.1199-1203, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004001200006>.

JAFARI, N.; FALAHATKAR, B.; SAJJADI, M.M. The effect of feeding strategies and body weight on growth performance and hematological parameters of Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*, Brandt 1869): Preliminary results. **Journal of Applied Ichthyology**, v.35, p.289–295, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1111/jai.13824>.

KLAHAN R, *et al.* Biorefining and biotechnology prospects of low-cost fish feed on Red tilapia production with different feeding regime. **Chemosphere**, v.311, 137098, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137098>.

LI, X. *et al.* Hepatic Glucose Metabolism and Its Disorders in Fish. In: Wu, G. (eds) Recent Advances in Animal Nutrition and Metabolism. **Advances in Experimental Medicine and Biology**, v.1354, 2023. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-85686-1_11.

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. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00281-3](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00281-3).

MORALES, A.E. *et al.* Oxidative stress and antioxidant defenses after prolonged starvation in *Dentex dentex* liver. **Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology**, v.139, p.153–161, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cca.2004.10.008>.

MORSHEDI, V. *et al.* Cyclical short-term starvation and refeeding provokes compensatory growth in sub-yearling Siberian sturgeon, *Acipenser baerii* Brandt, 1869. **Animal Feed Science and Technology**, v.232, p.207–214, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.10.005>.

NEVES, L.C. *et al.* Physiological and metabolic responses in juvenile *Colossoma macropomum* exposed to hypoxia. **Fish Physiology and Biochemistry**, v.46, p.2157–2167, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10695-020-00868-8>.

OLIVEIRA, G.R. *et al.* Economic Analysis of the Use of Restrictive Food Management in the Cultivation of Tilapia (*Oreochromis niloticus*) in a Recirculation System. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v.12, p. 31-39, 2022. DOI: <http://doi.org/10.17265/2161-6264/2022.02.001>.

OLIVEIRA, G.R. *et al.* Restrição alimentar na piscicultura: fisiologia, metabolismo e sustentabilidade. **Brazilian Journal of Development**, v.6, p.28224-28244, 2020. DOI: <http://doi.org/10.34117/bjdv6n5-318>.

PEDROZA-FILHO, M.X.; RODRIGUES, A. P. O.; REZENDE, F. P. Dinâmica da produção de tambaqui e demais peixes redondos no Brasil. Boletim Ativos aquicultura, ano 2, 2016. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/141367/1/CNPASA-2015-aa7.pdf>.

PEIXE, B. R. Anuário Peixe BR da piscicultura 2023. São Paulo: Associação Brasileira de Piscicultura, 2023.

PÉREZ-JIMÉNEZ, A. *et al.* Metabolic adjustments of Dentex dentex to prolonged starvation and refeeding. **Fish physiology and biochemistry**, v.38, p.1145–1157, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10695-011-9600-2>.

PY, C.; ELIZONDO-GONZÁLEZ, R.; PEÑA-RODRÍGUEZ, A. Compensatory growth: Fitness cost in farmed fish and crustaceans. **Reviews in Aquaculture**, v.14, p.1389-1417, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1111/raq.12656>.

REEVE, C.; ROWSEY, L. E.; SPEERS-ROESCH, B. Inactivity and the passive slowing effect of cold on resting metabolism as the primary drivers of energy savings in overwintering fishes. **Journal of Experimental Biology**, v.225, jeb243407, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1242/jeb.243407>.

RIOS, F.S. *et al.* Utilization of endogenous reserves and effects of starvation on the health of *Prochilodus lineatus* (Prochilodontidae). **Environmental Biology of Fishes**, v.91, p.87–94, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10641-010-9762-2>.

ROSSI, A. *et al.* Physiological and metabolic adjustments of *Hoplosternum littorale* (Teleostei, Callichthyidae) during starvation. **Ecological Indicators**, v.56, p.161–170, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.04.001>.

ŞAHİN, T.; AKBULUT, B.; AKSUNGUR, M. Compensatory growth in sea bass (*Dicentrarchus labrax*), sea bream (*Sparus aurata*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Turk Journal of Zoology**, v.24, p. 81–86, 2000. DOI: <https://journals.tubitak.gov.tr/zoology/vol24/iss1/9>.

SANTOS, E.L. *et al.* Desempenho de tambaquis (*Colossoma macropomum*) submetidos a restrição alimentar e a realimentação em tanques-rede. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.70, p.931–938, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4162-9891>.

SHIRVAN, S. *et al.* Physiological responses to feed restriction and starvation in juvenile Siberian sturgeon *Acipenser baerii* (Brandt, 1869): Effects on growth, body composition and blood plasma metabolites. **Aquaculture research**, v.51, p.282–291, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1111/are.14374>.

SILVA, W.S., *et al.* Effects of cyclical short-term fasting and refeeding on juvenile *Lophiosilurus alexandri*, a carnivorous Neotropical catfish. **Aquaculture**, v.505, p.12–17, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.02.047>.

SOENGAS, J.L. *et al.* Food deprivation and refeeding in Atlantic salmon, *Salmo salar*: Effects on brain and liver carbohydrate and ketone bodies metabolism. **Fish Physiology and Biochemistry**, v.15, p.491–511, 1996. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01874923>.

SOUZA, V.L. *et al.* Avaliação do Crescimento e do Custo da Alimentação do Pacu (*Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887) Submetido a Ciclos Alternados de Restrição Alimentar e Realimentação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982003000100003>.

TURANO, M.J.; BORSKI, R.J.; DANIELS, H.V. Effects of cyclic feeding on compensatory growth of hybrid striped bass (*Morone chrysops* x *M. saxatilis*) foodfish and water quality in production ponds. **Aquaculture Research**, v.39, p.1514–1523, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2008.02023.x>.

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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.06.030>.

WANG, C. *et al.* Effects of cyclical short-term food deprivation and refeeding on compensatory growth and gene expression of SOD, GPX and HSP70 in *Schizothorax wangchiachii*. **Fish & Shellfish Immunology**, v.94, p.628–633, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2019.09.047>.

WANG, Y. *et al.* Compensatory growth in hybrid tilapia, *Oreochromis mossambicus* x *O. niloticus*, reared in seawater. **Aquaculture**, v.189, p.101–108, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00353-7](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00353-7).

WANG, Y. *et al.* Cyclical feed deprivation and refeeding fails to enhance compensatory growth in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L. **Aquaculture Research**, v.40, p.204–210, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2008.02083.x>.