

Efeito da quantidade de proteína na dieta e treinamento físico sobre parâmetros fisiológicos e zootécnicos de matrinchã (*Brycon amazonicus*, Günther 1869)

Márcio Soares FERREIRA¹, Paulo Henrique Rocha ARIDE², Maria de Nazaré Paula da SILVA³, Adalberto Luis VAL⁴

RESUMO

O objetivo do presente estudo foi avaliar a interação entre os efeitos do treinamento físico e da quantidade de proteína na dieta sobre a hematologia; a composição corpórea de proteínas, lipídeos e cinzas; o consumo alimentar, o ganho de massa e fator de conversão; o desempenho natatório e a resistência ao estresse causado pela hipóxia em exemplares de matrinchã. Os resultados indicam que a hematologia e o desempenho natatório não são alterados pelo treinamento físico ou pela concentração de proteína na dieta, porém, a resistência à hipóxia é aumentada pelo treinamento, como indicado por menores elevações dos níveis de glicose. O aumento da quantidade de proteína na dieta e o treinamento melhoram a conversão alimentar e o ganho de massa dos animais, enquanto que o aumento na ingestão de ração é causado apenas pelo treinamento. A aplicação concomitante dos dois fatores, embora cause efeito aditivo nos índices de ganho de massa e conversão alimentar, gera também os maiores acúmulos de gorduras no filé, o que sugere uma avaliação do tipo de gordura acumulada e da aceitação desta carne no mercado.

PALAVRAS-CHAVE: exercício físico, ganho de massa, hematologia, resistência à hipóxia

Dietary protein and exercise training effects on the physiological and zotechnical parameters of matrinchã (*Brycon amazonicus*, Günther 1869)

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the combined effects of physical training and the dietary protein level on the hematological parameters, body proteins, lipids and ash content, food intake, conversion efficiency and growth ratio together with the swimming performance and the resistance to hypoxic stress in specimens of matrinchã. The results indicate that the swimming performance and hematology are not altered by physical training or by the diet protein content; moreover, the resistance to hypoxia is increased by the exercise, as indicated by the lower levels of plasma glucose. Increased amount of protein in the diet and training improve feed conversion and mass gain in the animals, while enhanced food intake is related to training. The simultaneous application of those two factors causes a combined and improved effect on the mass gain and the conversion rates. Due to higher fat accumulation in the fillet, future assessment of stored fat type is suggested, as well as evaluation of market acceptance of the fish product.

KEYWORDS: physical exercise, mass gain, hematology, resistance to hypoxia

¹ Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Coordenação de biodiversidade. Av. André Araújo, 2.936 – Petrópolis – Manaus – AM, Brasil. CEP 69083-971. E-mail: marcio@inpa.gov.br

² Instituto Federal do Amazonas - Campus Presidente Figueiredo, Departamento de Ensino, Pesquisa e Extensão – DEPE. Av. Onça Pintada, 1308. Bairro Galo da Serra - Presidente Figueiredo. CEP 69735-000. E-mail: aride@ifam.edu.br

³ Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Coordenação de biodiversidade. Av. André Araújo, 2.936 – Petrópolis – Manaus – AM, Brasil. CEP 69083-971. E-mail: npaula@inpa.gov.br

⁴ Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Coordenação de biodiversidade. Av. André Araújo, 2.936 – Petrópolis – Manaus – AM, Brasil. CEP 69083-971. E-mail: dalval@inpa.gov.br

INTRODUÇÃO

O custo da ração pode ser um entrave para a piscicultura, visto que pode atingir mais de 60% do custo total da atividade. Em geral, o componente mais caro da ração é a farinha de peixe, que é rica em aminoácidos essenciais importantes na dieta dos peixes (Meer *et al.* 1995; Furuya *et al.* 1997). Geralmente, a quantidade de proteínas necessária aos peixes é maior do que para outros animais, variando de 30 a mais de 50% (Kikuchi 1999). Para o matrinhã, por exemplo, a literatura técnica disponível indica níveis de 45% de proteína bruta na dieta de peixes onívoros na faixa de 5 a 30 gramas, diminuindo para 36% na faixa de 30 a 100 gramas (Kubitza 2009; Purinutri 2012). No entanto, ainda não está bem estabelecido como os diferentes tipos de cultivo, especialmente aqueles com grande fluxo de água como, por exemplo, *raceways* ou tanques-rede, alteram as exigências nutricionais dos peixes. Porém, sabe-se que geralmente melhoram a conversão alimentar quando a velocidade da água é moderada (Davison 1997). O exercício gerado pelo fluxo de água aumenta o consumo de alimento, diminui a agressividade e o nível de estresse dos peixes e facilita a circulação de água nas brânquias, entre outros fatores positivos, o que compensa o gasto energético da natação forçada (Jobling 1994; Davison 1997). Níveis mais baixos de cortisol, alcançados por menores níveis de estresse dos peixes, contribuem para diminuir o catabolismo das proteínas (Vijayan 1997). Uma vez que o estresse pode causar alta mortalidade e redução de produtividade (Gomes *et al.* 2002), sua prevenção e controle são essenciais para o sucesso da atividade de cultivo de peixes.

No Amazonas, segundo levantamento feito por Oliveira *et al.* (2012), o cultivo de peixes em canal de igarapé é o modo predominante na região norte do Estado, enquanto que o cultivo em tanques-rede predomina na região central. Este mesmo estudo aponta que a obtenção de ração e seu alto custo é o principal entrave encontrado pelos piscicultores de três das quatro mesorregiões do Amazonas, e que o matrinhã (*Brycon amazonicus*) é a principal espécie cultivada nas mesorregiões norte e central, principalmente devido à grande aceitação da sua carne no mercado e por ter a sua técnica de reprodução bem estabelecida.

O presente estudo teve como objetivo estudar o efeito da água corrente intermitente, o que reduz o tempo total de exercício, e de duas concentrações de proteína na dieta, uma recomendada pelo fabricante, e outra maior, sobre parâmetros fisiológicos e zootécnicos de matrinhã na fase inicial de juvenil, bem como sua resistência à hipóxia.

MATERIAL E MÉTODOS

Os alevinos de matrinhã, adquiridos de piscicultores da região, foram aclimatados e alimentados duas vezes ao dia,

por 30 dias, com ração contendo 36% de proteína bruta, no laboratório de Ecofisiologia e Evolução Molecular (LEEM) do INPA, onde ocorreram os experimentos. Em seguida, grupos de cinco peixes (10 ± 2 cm de comprimento total e $4,9 \pm 1,2$ g de massa; amostras depositadas na coleção biológica do INPA sob o código: INPA 33712) foram acondicionados em cada uma das 24 câmaras experimentais circulares de 250 litros cada, sendo que em 12 delas, os animais foram submetidos à corrente de água intermitente, por um minuto a cada 10 de descanso, com velocidade de 20 cm.s^{-1} (aproximadamente 2,0 comprimentos corporais por segundo) continuamente durante 30 dias, denominado treinamento. A correnteza era gerada por meio de 2 bombas de 1 HP cada, as quais devolviam para cada uma das 24 câmaras a água coletada por gravidade em um tanque principal. As bombas eram disparadas por um sistema de bóias eletrônicas, reguladas para funcionarem nos períodos supracitados. Nas 12 câmaras de exercício o jato de entrada de água era colocado de forma perpendicular à parede do tanque, gerando uma corrente circular de água, enquanto nas outras 12 câmaras o jato era difuso, não gerando correnteza. Não havia qualquer impedimento para que os peixes nadassem a favor da corrente, porém observou-se que eles alternavam rapidamente entre momentos nadando a favor, e outros, contracorrente, seguindo inclusive um padrão de grupo, ou seja, quando um dos peixes mudava o sentido da natação, os demais faziam o mesmo. Todas as câmaras eram interligadas para permitir que a água fosse constantemente misturada, gerando uma qualidade de água única em toda a bateria experimental. Um filtro mecânico foi conectado ao sistema para eliminar as impurezas da água, sendo que 70% da água era renovada a cada 24 horas.

Durante este período, os peixes de seis câmaras de natação e seis câmaras controle (sem correnteza) foram alimentados com ração comercial composta por 36% de proteína, 7% de fibra, 8% de extrato etéreo, 13% de umidade, 14% de matéria mineral, 2,5% de cálcio e 0,6% de fósforo (nome comercial da ração: Nutripeixe®, Purina 36%). Os demais grupos receberam alimentação comercial composta por 45% de proteína, 7% de fibra, 8% de extrato etéreo, 13% de umidade, 14% de matéria mineral, 2,5% de cálcio e 1% de fósforo (nome comercial da ração: Nutripeixe®, Purina 45%). A ração foi administrada aos poucos, até que parte dela ficasse flutuando na superfície da água por mais de 5 minutos, indicando saciedade aparente. Esta configuração gerou um desenho experimental de dois fatores, sendo um deles o tipo de treinamento (exercitado ou sedentário) e o outro a porcentagem de proteína na ração (36 ou 45%), o que resultou em quatro tratamentos distintos. Para cada tratamento, cada uma das seis câmaras experimentais foi considerada uma unidade experimental, por meio dos dados do grupo ou de dados de um único peixe, coletado aleatoriamente, conforme o tipo de análise apresentado a

seguir. Como resultado, para cada um dos quatro tratamentos, havia seis unidades amostrais com cinco peixes cada uma.

O ganho de massa ao longo do experimento foi medido por meio da diferença entre a massa final do grupo de cada tanque e a massa inicial desse mesmo grupo. Para a conversão alimentar, a massa da ração administrada em cada tanque foi subtraída da massa da ração não consumida, após ser coletada e seca em estufa por cerca de 48 horas a 80 °C, até a estabilização da sua massa verificada em balança analítica, sendo o resultado acrescido em 13% para a correção da perda de umidade e dividido pelo ganho de massa total do grupo. Ainda, para se determinar o consumo de forma padronizada, o valor em gramas de consumo de ração por grupo foi dividido pela sua massa inicial, sendo o resultado expresso em gramas.

Após o período experimental (30 dias), um peixe de cada tanque foi coletado, disposto em um recipiente com 2 litros de água contendo o anestésico éster etílico p-aminobenzóico (MS-222) na concentração de 0,5 g.L⁻¹. Imediatamente após a perda do equilíbrio, o animal foi coletado e teve o sangue retirado da veia caudal com o auxílio de seringas heparinizadas. Foram analisados os seguintes parâmetros sanguíneos: glicose plasmática, por meio do kit de ensaio enzimático colorimétrico (Glucos 500 - Doles); lactato plasmático, por meio da reação da enzima lactato desidrogenase (Sigma Chemical Co. St Louis, USA); sódio plasmático por meio de espectrofotometria de absorção atômica (AAAnalyst 800 - Perkin Elmer, Massachusetts, USA); hematócrito (Ht), por meio da técnica de microhematócrito; concentração de hemoglobina [Hb], usando o método da cianometahemoglobina (Kamper e Zijlstra 1961) e contagem de células vermelhas do sangue (RBC) em câmara de Neubauer. As constantes corpusculares VCM (volume corpuscular médio), HCM (hemoglobina corpuscular média) e CHCM (concentração de hemoglobina corpuscular média) foram calculadas de acordo com Brown (1976).

Simultaneamente, outro peixe de cada câmara experimental (alimentação e treinamento) foi coletado, anestesiado conforme já mencionado e marcado de acordo com seu tanque de origem com finas linhas coloridas de algodão, amarradas em torno do pedúnculo caudal para, então, serem transferidos para o túnel de natação para avaliação da Ucrit. Para este teste foi usado um túnel de natação aberto contendo água pura e saturada de oxigênio. Os peixes foram primeiramente submetidos à aclimação, permanecendo duas horas nadando a uma velocidade de 10 cm por segundo. A partir de então, o teste foi iniciado e a velocidade da água aumentada em 10 cm por segundo a cada 30 minutos, até que todos os indivíduos estivessem fadigados. Os animais foram considerados fadigados quando permaneciam encostados na grade posterior do túnel, mesmo após três estímulos elétricos

de 24 Volts AC. A Ucrit, primeiramente descrita por Brett em 1964, é calculada como:

$$Ucrit = U_i + (T_i / T_{ii} \times U_{ii}),$$

onde U_{ii} é o incremento de velocidade (cm/sec), U_i é a penúltima velocidade na qual o peixe nadou antes de fadigar, T_i é o tempo decorrido entre o último aumento de velocidade e a fadiga (minutos), e T_{ii} é o tempo entre os incrementos de velocidade (minutos). A Ucrit foi padronizada dividindo seu valor pelo comprimento padrão do peixe, sendo o resultado expresso em cc.s⁻¹ (comprimentos corporais por segundo).

Os peixes remanescentes nas câmaras experimentais de alimentação e treinamento foram submetidos por 24 horas a um teor reduzido de oxigênio na água (de 18,02±2,36 KPa de pressão parcial de oxigênio para 5,73±0,82 KPa), sendo que após esse período um peixe de cada tanque teve o sangue coletado para a execução das análises hematológicas já mencionadas. Simultaneamente, outro peixe de cada câmara foi coletado, anestesiado e marcado conforme já mencionado, e transferido para o túnel de natação para terem a respectiva Ucrit determinada após o estresse de hipóxia.

Por fim, um dia depois, o animal remanescente de cada tanque de alimentação e treinamento foi coletado, anestesiado conforme já mencionado até a parada completa do batimento opercular por pelo menos cinco minutos, e teve o filé retirado, seco em estufa e triturado para mensuração da concentração de proteínas, por meio da técnica de Micro-Kjeldahl (AOAC 1997), e gorduras, por meio da técnica de extrato etéreo e lavagem com hexano (Instituto Adolfo Lutz 1985). O percentual mineral do filé foi calculado a partir da carbonização da amostra em mufla, ajustada em 550 °C, e posterior cálculo da diferença de massa (AOAC 1997). Todos os procedimentos cumpriram os regulamentos de experimentação animal do INPA.

A análise estatística se baseou em ANOVA de dois fatores (*two-way*) para comparação dos fatores treinamento (com ou sem) e proteína na dieta (36 ou 45%), com nível de significância de 5%. Uma vez que uma das premissas para a aplicação desta análise é a simultaneidade dos fatores, a análise dos efeitos da exposição à hipóxia foi feita de forma isolada por meio de outra ANOVA de dois fatores, pois os peixes foram expostos a essa variável em um momento seguinte aos demais. Quando se verificou diferença significativa (P<0,05) na aplicação da ANOVA, se utilizou o teste *Post-hoc* de Tukey para contraste entre as médias. Além disso, foram aplicados testes *t* de *student* para se identificar possíveis diferenças significativas (P<0,05) entre antes e depois da hipóxia, para o mesmo tratamento. Os dados estão expressos como média ± erro padrão da média (SEM), n=6. Todas as análises estatísticas

foram realizadas somente após a confirmação das premissas para sua aplicação (Zar 1998).

RESULTADOS

As características físico-químicas da água durante os 30 dias do experimento foram as seguintes: 33 ± 2 μmol de sódio, $12,5 \pm 0,7$ μmol de cálcio, $0,7 \pm 0,1$ μmol de magnésio, e $14,4 \pm 0,5$ μmol de potássio, analisados por espectrofotometria de absorção atômica (AAAnalyst 800 - Perkin Elmer, Massachusetts, USA); 26 ± 1 μmol de cloreto, analisado por espectrofotometria e técnica do tiocianato de mercúrio; $18,02 \pm 2,36$ KPa de pressão parcial de oxigênio e temperatura de 29 ± 1 °C, medidos com equipamento portátil (YSI® 85); e pH de $6,40 \pm 0,05$, medido em equipamento de bancada (Denver Instruments®).

O treinamento físico intermitente e a utilização de ração com maior quantidade de proteína por um período de 30 dias não causaram alterações em nenhum dos parâmetros

sanguíneos avaliados ou na Velocidade Crítica de Natação (Ucrit) dos grupos antes da hipóxia (Tabela 1).

A exposição à hipóxia resultou em aumento do Ht e do CHCM, e diminuição do VCM, sem diferenças entre os grupos (Tabela 1). Os níveis de lactato aumentaram nos grupos alimentados com mais proteína ($P < 0,001$) e submetidos à hipóxia, e os de glicose plasmática aumentaram em todos os grupos ($P < 0,001$) (Figura 1), sendo que os grupos exercitados apresentaram valores menores ($p = 0,034$). A ração com 45% de proteína causou maior aumento de massa ($p < 0,001$) e melhor conversão alimentar ($P = 0,006$) em matrinhã (Figura 2A e B). Essa mesma ração foi ainda mais eficiente para o ganho de massa quando aplicada concomitantemente com o treinamento físico, já que esse fator também gera aumento do ganho de massa ($p < 0,001$) e melhora na conversão alimentar ($P = 0,035$) em matrinhã (Figura 2A e B). A ingestão de alimentos foi menor ($p < 0,001$) nos grupos alimentados com mais proteínas, e maior nos grupos exercitados ($P = 0,005$), sem interação entre os fatores (Figura 2C).

Tabela 1 - Hematócrito (Ht), hemoglobina (Hb), contagem de células vermelhas (RBC), volume celular médio (VCM), concentração de hemoglobina celular média (CHCM), lactato plasmático, sódio plasmático e velocidade crítica de natação (Ucrit) de matrinhã antes da hipóxia (AH) e depois da hipóxia (DH), referentes a animais sedentários e exercitados, alimentados com 36 ou 45% de proteína bruta (PB). Dados expressos como média (SEM), $n = 6$.

		exercício 36% PB	sedentário 36% PB	exercício 45% PB	sedentário 45% PB
Ht (%)	AH	$36,3 \pm 0,60$	$35,8 \pm 1,24$	$36,1 \pm 0,98$	$35,4 \pm 1,41$
	DH	$44,4 \pm 2,24^*$	$41,0 \pm 2,06^*$	$39,8 \pm 0,73^*$	$40,6 \pm 1,75^*$
		$P = 0,006$	$P = 0,046$	$P = 0,013$	$P = 0,043$
Hb (g.dL ⁻¹)	AH	$8,58 \pm 0,36$	$8,41 \pm 0,17$	$7,85 \pm 0,32$	$8,03 \pm 0,33$
	DH	$8,68 \pm 0,14$	$8,72 \pm 0,25$	$8,93 \pm 0,49$	$8,80 \pm 0,53$
RBC (milhões/ μL)	AH	$2,92 \pm 0,17$	$2,81 \pm 0,10$	$2,76 \pm 0,11$	$2,77 \pm 0,14$
	DH	$3,01 \pm 0,10$	$3,05 \pm 0,13$	$2,92 \pm 0,13$	$2,96 \pm 0,16$
VCM (fL)	AH	$157,54 \pm 6,05$	$146,97 \pm 9,27$	$145,70 \pm 5,98$	$147,81 \pm 4,83$
	DH	$120,88 \pm 4,3^*$	$118,44 \pm 3,8^*$	$124,37 \pm 6,2^*$	$121,85 \pm 6,1^*$
		$P = < 0,001$	$P = 0,017$	$P = 0,033$	$P = 0,008$
HCM (pg)	AH	$29,80 \pm 1,33$	$30,25 \pm 1,13$	$28,85 \pm 2,28$	$29,26 \pm 1,19$
	DH	$28,83 \pm 0,62$	$28,58 \pm 1,71$	$27,00 \pm 2,04$	$29,34 \pm 1,52$
CHCM (g.dL ⁻¹)	AH	$18,90 \pm 0,39$	$20,85 \pm 1,04$	$19,70 \pm 0,94$	$19,14 \pm 0,35$
	DH	$23,93 \pm 0,44^*$	$23,80 \pm 0,57^*$	$24,00 \pm 0,54^*$	$24,12 \pm 0,72^*$
		$P = < 0,001$	$P = 0,032$	$P = 0,003$	$P = < 0,001$
Lactato (mg.dL ⁻¹)	AH	$49,21 \pm 3,82$	$45,27 \pm 2,32$	$49,63 \pm 2,92$	$48,20 \pm 3,09$
	DH	$50,32 \pm 4,29$	$49,23 \pm 2,95$	$58,06 \pm 2,01$	$55,52 \pm 2,93$
Sódio plasmático (mEq.L ⁻¹)	AH	$108,7 \pm 11,32$	$146,6 \pm 4,38$	$120,5 \pm 13,92$	$144,4 \pm 6,07$
	DH	$122,21 \pm 9,12$	$132,7 \pm 10,07$	$126,6 \pm 4,73$	$141,4 \pm 8,79$
Ucrit (cc.s ⁻¹)	AH	$7,18 \pm 0,14$	$7,10 \pm 0,23$	$6,90 \pm 0,22$	$7,00 \pm 0,18$
	DH	$6,70 \pm 0,30$	$6,90 \pm 0,16$	$6,80 \pm 0,17$	$6,80 \pm 0,25$

ANOVA two-way aplicada separadamente antes e depois da hipóxia, entre os fatores treinamento e proteína na dieta, não identificou diferença significativa ($P < 0,05$) em nenhum parâmetro medido antes da hipóxia, mas identificou diferenças significativas, depois da hipóxia, para o fator proteína da dieta, para lactato plasmático ($P < 0,001$), sem interação entre os fatores. Asteriscos (*) indicam diferença entre antes e depois da hipóxia para o mesmo tratamento, baseado em teste t, com os valores de p mostrados na própria tabela.

Outro fator significativamente ($p < 0,05$) influenciado tanto pelo treinamento quanto pela quantidade de proteína na ração foi a concentração lipídica do filé, sendo que os maiores níveis foram atingidos com a aplicação concomitante dos dois fatores (Figura 3).

Os valores de cinzas do filé, em porcentagem sobre matéria fresca, foram de $2,28 \pm 0,06$; $1,92 \pm 0,01$; $1,56 \pm 0,04$ e $1,96 \pm 0,06\%$ para os grupos exercitados com 36% de proteína, sedentário com 36% de proteína, exercitado com 45% de proteína e sedentário com 45% de proteína na dieta, respectivamente. Verificou-se diminuição dos valores de cinzas ($p < 0,001$) devido ao aumento de proteínas na dieta e interação deste fator com o treinamento ($p < 0,001$).

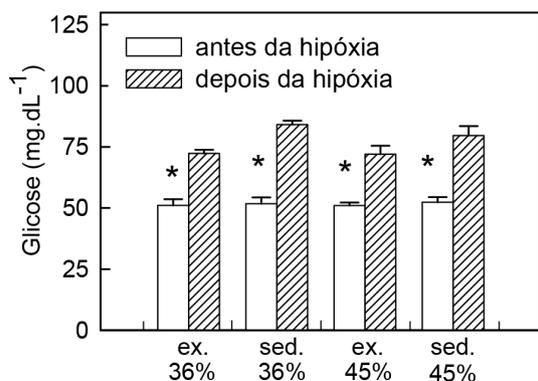


Figura 1 - Glicose plasmática de exemplares de matrinhã alimentados por 30 dias com 36 ou 45% de proteína bruta, sedentários (sed.) ou treinados (ex.) em água corrente com 20 cm/s durante um minuto a cada 10 minutos de descanso. ANOVA two-way aplicada separadamente antes e depois da hipóxia, entre os fatores treinamento e proteína na dieta, não identificou diferença significativa antes da hipóxia, mas identificou diferença ($p = 0,034$) para o fator treinamento nos grupos após a hipóxia, sem interação entre os fatores. Asteriscos (*) indicam diferença entre antes e depois da hipóxia para o mesmo tratamento, baseado em teste t ($p < 0,001$).

DISCUSSÃO

Segundo Davison (1997), o treinamento resulta, geralmente, em aumento do hematócrito e da concentração de hemoglobina de peixes; no entanto, tais alterações não ocorreram nos exemplares de matrinhã do presente estudo (Tabela 1), talvez devido às diferenças no método de treinamento, período das análises ou diferenças relativas à espécie. Ainda, segundo Davison (1997), a Ucrít pode não ser uma boa ferramenta de avaliação do estado de treinamento, principalmente, porque dificilmente são testadas as mesmas fibras musculares, nas mesmas proporções e intensidade com a qual elas foram treinadas.

As alterações sanguíneas (Ht, CHCM e VCM) verificadas decorrentes da exposição à hipóxia ambiental (Tabela 1) são

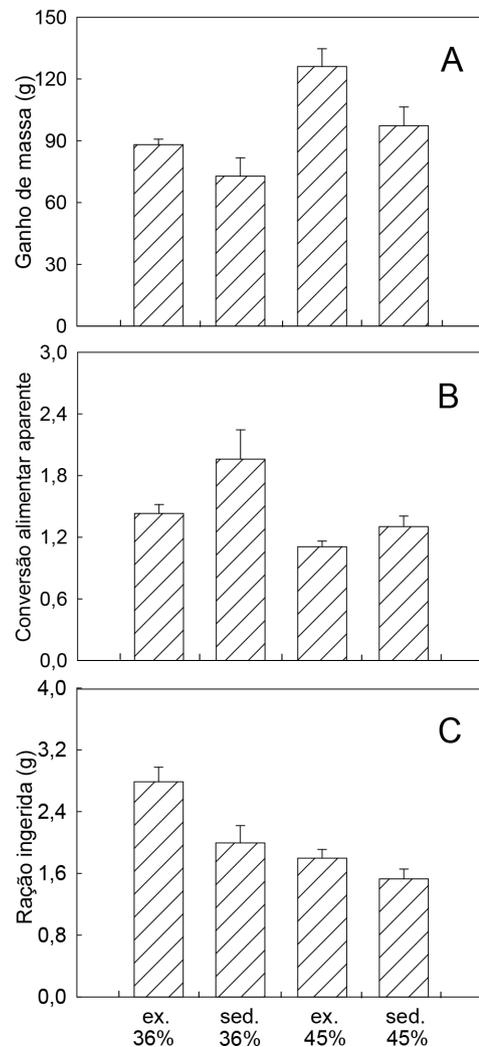


Figura 2 - Dados referentes a exemplares de matrinhã alimentados por 30 dias com 36 ou 45% de proteína bruta, sedentários (sed.) ou treinados (ex.) em água corrente com 20 cm.s⁻¹ durante um minuto a cada 10 minutos de descanso. ANOVA two-way mostrou diferença significativa ($p < 0,001$) no ganho de massa (A) do grupo tanto para o fator treinamento quanto fator proteína na dieta, não havendo interação entre eles; diferença significativa na conversão alimentar do grupo (B) tanto para o fator treinamento ($P = 0,035$) quanto para o fator proteína na dieta ($P = 0,006$), sem interação entre eles e diferença significativa na ingestão alimentar por grama corpórea do grupo (C) tanto para o fator proteína na dieta ($p < 0,001$) quanto treinamento ($P = 0,005$), sem interação entre eles. Dados expressos como média (SEM), $n = 6$.

frequentes em peixes amazônicos. Espécies como o tambaqui e o matrinhã, por exemplo, desenvolveram a capacidade de ajustar parâmetros respiratórios e eritrocitários, dentre outros, para lidar melhor com essa situação fisiologicamente desfavorável (Val 1995, 1996; Val *et al.* 1998). Um indício de que os animais do presente estudo também lidaram satisfatoriamente com a hipóxia foi a manutenção dos níveis de sódio plasmático (Tabela 1), um indicador de homeostase

hídrica e eletrolítica em peixes (Wedemeyer 1990). A similaridade dos ajustes eritrocitários à hipóxia, verificados em todos os grupos (Tabela 1), indicam que o treinamento ou a suplementação protéica utilizados não interferiram nas respostas a esse tipo de estresse ambiental.

Os níveis de lactato plasmático decorrente da hipóxia, maiores nos grupos alimentados com mais proteína (Tabela 1), decorrem provavelmente deles terem atingido maior ganho de massa e, conseqüentemente, maior massa final, com reflexos na demanda por oxigênio. O lactato é gerado pela fermentação anaeróbica da glicose quando o oxigênio não supre a demanda metabólica do organismo (Hochachka e Lutz 2001) e tem sido utilizado como um bom indicador do estado de estresse dos peixes (Wedemeyer 1990). Mesmo com lactato acumulado, os grupos expostos à hipóxia mantiveram a Ucrit (Tabela 1), corroborando o trabalho anterior com essa espécie, no qual se concluiu por sua sensibilidade à hipóxia, porém sem efeito do acúmulo de lactato em seu desempenho natatório (Ucrit) (Ferreira *et al.* 2010). Embora a capacidade natatória possa ser usada para algumas espécies como indicadora de estresse hipóxico (Wedemeyer 1990), inclusive para *Colossoma macropomum* (Ferreira 2006), não parece ser o caso para o matrinhã.

A manutenção de níveis mais baixos de glicose decorrentes da hipóxia, nos grupos previamente exercitados (Figura 1), indica aumento de resistência ao estresse, já que é responsável

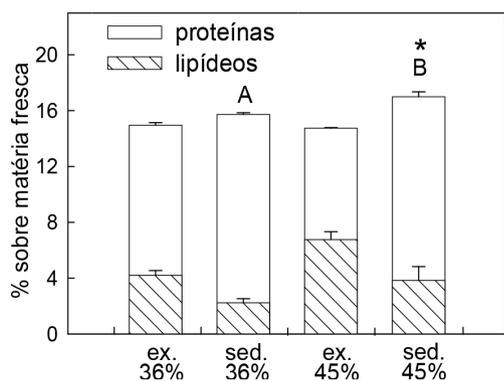


Figura 3 - Porcentagem de proteínas e lipídeos no filé fresco de exemplares de matrinhã alimentados por 30 dias com 36 ou 45% de proteína bruta, sedentários (sed.) ou treinados (ex.) em água corrente com 20 cm.s⁻¹ durante um minuto a cada 10 minutos de descanso. ANOVA two-way mostrou diferença significativa ($p < 0,001$) na porcentagem de proteínas no filé dos animais para o fator treinamento e para o fator proteína na dieta ($P = 0,048$), e também na interação entre os fatores ($P = 0,002$). Letras diferentes indicam diferença significativa para o fator proteína na dieta, dentre os sedentários ($p < 0,001$), e asterisco (*) indica diferença significativa ($p < 0,001$) para o fator treinamento, dentre aqueles alimentados com 45% de proteína na dieta. ANOVA two-way mostrou, também, diferença significativa na porcentagem de lipídeos para o fator treinamento ($P = 0,006$) e fator proteína na dieta ($P = 0,010$), sem interação entre eles. Dados expressos como média (SEM), $n = 6$.

por suprir a alta demanda energética desencadeada nestes casos (Barton e Schreck 1987; Vijayan 1997; Barton e Iwama 2003).

O aumento da massa e melhor conversão alimentar em matrinhã alimentados com 45% de proteína, em relação aos com 36%, foi independente do treinamento (Figura 2A e B). Izel *et al.* (2004) testaram níveis protéicos na ração para matrinhã ($23,2 \pm 0,4$ gramas) variando entre 16 e 28%, por 210 dias, e concluíram que o maior ganho de massa, crescimento e conversão alimentar foi conseguido com 28%. Pereira-Filho *et al.* (1995) testaram níveis de 19, 25 e 31% de proteína bruta na dieta de matrinhã (± 125 gramas) por 84 dias e verificaram maior ganho de massa e maior incremento de proteínas na carcaça com a ração de 31%. Embora pareça que o matrinhã possua uma alta exigência protéica, não há na literatura trabalhos que determinam essas exigências em peixes da mesma faixa de massa dos utilizados no presente estudo (4,9 g), ou que utilizem ração com 45% de proteína na dieta, o que dificulta uma discussão mais ampla. Já se verificou que para algumas espécies a velocidade da água parece melhorar a produtividade, como para *Paralichthys californicus*, que teve uma melhor conversão alimentar e maior crescimento em velocidades de água de 0,5 e 1,0 cm.seg⁻¹ do que a 1,5 cm.seg⁻¹ (Merino *et al.* 2007). Yogata e Oku (2000a) submeteram alevinos de *Seriola quinqueradiata* a três velocidades de água (0,3; 1,0 e 2,25 cc.s⁻¹) e constataram que houve melhora no ganho de massa e na eficiência alimentar na velocidade intermediária de 1,0 cc.s⁻¹. Em geral, a maioria dos peixes estudados parece apresentar melhor crescimento em velocidades de 1,5 cc.s⁻¹ ou menos, conforme revisado por Davison (1997). Hackbarth e Moraes (2006) submeteram exemplares de matrinhã a uma velocidade sustentada de 1,0 cc.s⁻¹ por 72 dias e verificaram que os peixes exercitados cresceram mais e apresentaram melhora na conversão alimentar, passando de 4,28 para 1,94. Embora a velocidade da água no presente estudo seja relativamente alta (2 cc.s⁻¹), é importante observar que o método intermitente, dependendo da configuração utilizada, pode contribuir com a diminuição do gasto energético e, por conseguinte, com ganho de massa. Uma possível explicação para o efeito do treinamento está na sua influência sobre a agressividade do matrinhã, que mantém hierarquias de dominância, porém, muda seu comportamento quando exercitado, diminuindo a frequência de ataques. Como resultado, há aumento do consumo de ração pelo grupo e há melhora na conversão alimentar, gerada por níveis menores de estresse (Jobling 1994; Davison 1997). Esta teoria é corroborada pelos dados do presente estudo, que mostram um aumento da ingestão de ração (Figura 2C) gerado pelo exercício e a diminuição da ingestão causada pelo aumento da proteína na ração. Porém, mesmo com menor ingestão, devido à melhor conversão alimentar, essa ração gera os melhores resultados de ganho de massa.

Nem todas as espécies parecem melhorar parâmetros zootécnicos quando cultivadas em água corrente, como verificaram Yogata e Oku (2000b) para o *Paralichthys olivaceus* e Arbeláez-Rojas *et al.* (2002) para o *Colossoma macropomum*. Em peixes, a natação prolongada é sustentada primariamente pelos lipídeos supridos aos músculos por meio da circulação (Moyes e West 1995; Lauff e Wood 1996; Richards *et al.* 2002); no entanto, sua contribuição diminui em relação aos carboidratos à medida que a intensidade do exercício aumenta (McClelland 2004). Hackbarth e Moraes (2006) submeteram exemplares de matrinhã por 72 dias à uma velocidade de um comprimento corpóreo por segundo de forma contínua e verificaram aumento das reservas lipídicas no fígado, enquanto as intramusculares diminuíram. Arbeláez-Rojas *et al.* (2002) também não verificaram alterações lipídicas no filé de matrinhã em sistema intensivo de correnteza contínua, após 78 ou 170 dias. Esses dados reforçam a possibilidade de que o método intermitente, diferente do usado nos estudos apresentados acima, possa gerar os mesmos benefícios no ganho de massa e na conversão alimentar, porém, poupando energia que é armazenada na forma de gorduras no filé. As alterações significativas verificadas na porcentagem de proteínas no filé, sejam devidas ao treinamento ou devidas a maior quantidade de proteína na ração, parecem refletir as alterações lipídicas, já que são ambas uma porcentagem do total. Embora a porcentagem de proteínas tenha diminuído especificamente em 21%, pelo treinamento entre os grupos alimentados com 45% de proteína (Figura 3), como o ganho de massa gerado pelo exercício neste mesmo grupo foi de 29% (Figura 2A), fica claro que o incremento global de proteínas é compensatório.

As alterações verificadas nos valores de cinzas refletem, principalmente, as alterações verificadas no ganho de massa dos animais, já que são resultado, em sua maior parte, da matéria óssea dos peixes, que não aumentam na mesma proporção dos lipídeos e proteínas corpóreas.

CONCLUSÕES

Além de aumentar a resistência dos peixes ao estresse hipóxico, o cultivo em sistema com água corrente intermitente pode aumentar a produtividade de matrinhã por estimular a ingestão de ração e melhorar a conversão alimentar, com consequente incremento de massa, em parte na forma de gorduras. O aumento da porcentagem de proteínas na ração de 36% para 45%, nesta fase de desenvolvimento, também melhora a produtividade, com maior ganho de massa e melhora na conversão alimentar, aumentando também a porcentagem de gorduras no filé. A aplicação concomitante dos dois fatores, embora cause os melhores ganhos de massa e melhores índices de conversão alimentar, gera também os maiores acúmulos de gorduras no filé, o que sugere uma

avaliação do tipo de gordura acumulada e da aceitação desta carne no mercado. Mais estudos comparativos entre treinamento sustentado e intermitente, com diferentes configurações de tempo e velocidade, e em diferentes estágios de desenvolvimento precisam ser realizados para se determinar a condição ideal de criação para cada espécie de interesse comercial, com o intuito de aperfeiçoar a composição do filé, o uso de ração e o uso de água.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq/FAPEAM (PRONEX e INCT-ADAPTA) pelo suporte financeiro. ALV é bolsista de produtividade 1A do CNPq. MSF é bolsista de doutorado da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas – FAPEAM.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- AOAC. 1997. *Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. v.2. AOAC International, Washington, USA. 850 p.
- Arbeláez-Rojas, G. A.; Fracalossi, D. M.; Fim, J. D. I. 2002. Composição Corporal de Tambaqui, *Colossoma macropomum*, e Matrinhã, *Brycon cephalus*, em Sistemas de Cultivo Intensivo, em Igarapé, e Semi-Intensivo, em Viveiros. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 31: 1059-1069.
- Barton, B. A.; Iwama, G. K. 2003. Physiological changes in fish from stress in aquaculture with emphasis on the response and effects of corticosteroids. *Annual Review of fish diseases*, 1: 3-26.
- Barton, B. A.; Schreck, C. B. 1987. Metabolic cost of acute physical stress in juvenile steelhead. *Transactions of the American Fisheries Society*, 116: 257– 263.
- Brett, J. R. 1964. The respiratory metabolism and swimming performance of young sockeye salmon. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 2: 1183-1226.
- Brown, B. A. 1976. *Hematology: Principles and Procedures*. 2^o edition. Lea & Febiger, Philadelphia, USA. 336 p.
- Davison, W. 1997. The effects of exercise training on teleost fish, a review of recent literature. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 117A: 67-75.
- Ferreira, M. S. 2006. *Certificado de vigor físico para o tambaqui (Colossoma macropomum, Cuvier 1818)*. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas. 55 p.
- Ferreira, M. S.; Oliveira, A. M.; Val, A. L. 2010. Velocidade crítica de natação (Ucrit) de matrinhã (*Brycon amazonicus*) após exposição à hipoxia. *Acta Amazonica*, 40: 699-704.
- Furuya, V. R. B.; Hayashi, C.; Furuya, W. M. 1997. Farelo de canola na alimentação da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus* L.), durante o período de reversão de sexo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 26: 1067-1073.
- Gomes, L. C.; Roubach, R.; Araújo-Lima, C. A. R. M. 2002. Transportation of tambaqui juveniles (*Colossoma macropomum*) in Amazon: main problems. *World Aquaculture*, 33: 51-53.

- Hackbarth, A.; Moraes, G. 2006. Biochemical responses of matrinhã *Brycon cephalus* (Gunther, 1869) after sustained swimming. *Aquaculture Research*, 37: 1070-1078.
- Hochachka, P. W.; Lutz, P. L. 2001. Mechanisms, origin and evolution of anoxia tolerance in animals. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 130(B): 435-459.
- Instituto Adolfo Lutz. 1985. *Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz*. v.1.p. 23-25. IMESP, São Paulo, Brasil.
- Izel, A. C. U.; Pereira-Filho, M.; Melo, L. A. S.; Macedo, J. L. V. 2004. Avaliação de níveis protéicos para a nutrição de juvenis de matrinhã (*Brycon cephalus*). *Acta Amazonica*, 34:179-184.
- Jobling, M. 1994. *Fish Bioenergetics*. Chapman & Hall, London, UK. 309p.
- Kamper, E. J.; Zijlstra, W. G. 1961. Standardization of hemoglobinometry. II. The hemoglobin cyanide method. *Clinica Chimica Acta*, 6: 538-544.
- Kikuchi, K. 1999. Use of defatted soybean meal as a substitute for fishmeal in diets of Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*). *Aquaculture*, 179: 3-11.
- Kubitza, F. 2009. Manejo na Produção de Peixes. *Panorama da Aquicultura*, 19:14-27.
- Lauff, R. F.; Wood, C. M. 1996. Respiratory gas exchange, nitrogenous waste excretion, and fuel usage during aerobic swimming in juvenile rainbow trout. *Journal of Comparative Physiology*, 166: 501-509.
- McClelland, G. B. 2004. Fat to the fire: the regulation of lipid oxidation with exercise and environmental stress. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 139(B): 443-460.
- Meer, M. B.; Machiels, M. A. M.; Verdegem, M. C. J. 1995. The effect of dietary protein level on growth, protein utilization and body composition of *Colossoma macropomum* (Cuvier 1818). *Aquaculture Research*, 26:901-909.
- Merino, G. E.; Piedrahita, R. H.; Conklin, D. E. 2007. Effect of water velocity on the growth of California halibut (*Paralichthys californicus*) juveniles. *Aquaculture* 271: 206-215.
- Moyes, C. D.; West, T. G. 1995. Exercise metabolism of fish, p. 367-392. In: Hochachka, P. W. e Mommsen, T. P (Eds.). *Biochemistry and molecular biology of fishes*. v.4. Elsevier Science, Amsterdam.
- Oliveira, A. M.; Silva, M. N. P.; Almeida-Val, V. M. F.; Val, A. L. 2012. Caracterização da atividade de piscicultura nas mesoregiões do estado do Amazonas, Amazônia brasileira. *Revista Colombiana Ciência Animal*, 4:154-162.
- Pereira-Filho, M.; Castagnolli, N.; Stori-Filho, A.; Oliveira-Pereira, M. I. 1995. Efeito de diferentes níveis de proteína e de fibra bruta na alimentação de juvenis de matrinhã, *Brycon cephalus*. *Acta Amazonica*, 25: 137-144.
- Purinutri, 2012. Programa Nutripeixe Purina (<http://www.purinutri.com.br/>). Acesso em 15/08/2012.
- Richards, J. G.; Mercado, S. J.; Clayton, C. A.; Heigenhauser, G. J. F.; Wood, C. M. 2002. Substrate utilization during graded aerobic exercise in rainbow trout. *Journal of Experimental Biology*, 205: 2067-2077.
- Val, A. L. 1995. Oxygen transfer in fish: morphological and molecular adjustments. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 28: 1119-1127.
- Val, A. L. 1996. Surviving Low Oxygen Levels: Lessons From Fishes of the Amazon, p. 59-70. In: Val, A. L.; Almeida-Val, V. M. F.; Randall, D. J. (eds.). *Physiology and Biochemistry of the Fishes of the Amazon*. INPA, Manaus, Brazil.
- Val, A. L.; Silva, M. N. P.; Almeida-Val, V. M. F. 1998. Hypoxia adaptation in fish of the Amazon: a never-ending task. *South African Journal of Zoology*, 33: 107-117.
- Vijayan, M. M.; Pereira, C.; Grau, E. G.; Iwama, G. K. 1997. Metabolic Responses Associated with Confinement Stress in Tilapia: The Role of Cortisol. *Comparative Biochemical Physiology*, 116C: 89-95.
- Wedemeyer, G. A.; Bruce, B. A.; McLeay, C. J. 1990. Stress and acclimation, p. 451-489. In: Schreck, C. B. e Moyle, P. B. (Eds.). *Methods for fish biology*. American Fisheries Society, Bethesda, USA.
- Yogata, H.; Oku, H. 2000a. The effects of swimming exercise on growth and whole-body protein and fat contents of fed and unfed fingerling yellowtail. *Fisheries science*, 66: 1100-1105.
- Yogata, H.; Oku, H. 2000b. Effects of water velocity on growth performance of juvenile Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*). *Journal of the World Aquaculture Society*, 31: 225-231.
- Zar, J. H. 1998. *Biostatistical analysis*. Prentice-Hall Inc, Englewood Cliffs. 960 p.

Aceito em: 05/07/2012
Recebido em: 21/03/2012