

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CENTRO DE AQUICULTURA DA UNESP

**EXIGÊNCIA ENERGÉTICA E RELAÇÃO
CARBOIDRATO:LIPÍDIO PARA ALEVINOS DE
PIRACANJUBA (*Brycon orbignyanus*)**

Maude Regina de Borba

Tese apresentada ao Centro de Aquicultura da UNESP – Campus de Jaboticabal, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Aquicultura – Área de Concentração em Aquicultura em Águas Continentais.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Edivaldo Pezzato

Co-orientador: Profa. Dra. Débora Machado Fracalossi

JABOTICABAL - SP
Julho - 2003

Às pessoas que eu amo...

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Luiz Edivaldo Pezzato pela oportunidade profissional proporcionada ao aceitar-me como orientada.

À Profa. Dra. Débora Machado Fracalossi, que me acolheu como sua co-orientada e efetivamente fez-se presente em todas as etapas deste trabalho, prestando sua excelente orientação desde a idealização até a publicação. Meu sincero muito obrigada, pela amizade, oportunidade de convívio e pelo admirável exemplo profissional.

Ao meu querido Luciano, por ter me apoiado e se mantido ao meu lado em todos os momentos, seu amor foi fundamental pra que eu alcançasse esse objetivo.

Ao meu muito estimado amigo Gustavo Meyer, pela preciosa contribuição nas diferentes etapas deste estudo e pela sua energia boa que tornou tão agradável as muitas horas que passamos trabalhando juntos.

Pelo apoio operacional e logístico prestados e valiosa amizade, meu muito obrigada ao Prof. Dr. Evoy Zaniboni Filho e todo o pessoal do Laboratório de Biologia e Cultivo de Peixes de Água Doce (LAPAD/Depto. Aqüicultura/UFSC): Sami, Markito, David, Prof. Alex, Pedrão, Samara, Jackson, Ronaldo, Maurício, Flávio, Fábria, Joyce, Vanice, os estagiários Matias, Marini, Oda, Bernardo, Roger, Fernando, Patrícia, Luciana, Luciano e os mestrados Bis, Ciça, Carol, Paulo, Orestes, Rafa, Dani e Juliano.

Aos amigos companheiros de muitas horas de laboratório, Pamela e Régis, pelo auxílio na condução das análises bromatológicas.

Às minhas queridas amigas também agrônomas e agora advogada Cinara (Tiliti) e doutora Ana Claudia, pela disposição em ajudar e pelas palavras de encorajamento e força que significaram muito pra mim.

Aos queridos amigos de Jaboticabal Eduardo Makoto (Twin) e Ana Eliza pelo convívio e por, mesmo à distância, terem mantido a boa vontade em ajudar quando precisei.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de doutorado e à Fundação de Ciência e Tecnologia do estado de Santa Catarina (FUNCITEC), pelo financiamento deste estudo.

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| Introdução Geral | 01 |
| Referências | 04 |
| Artigo 1 | 07 |
| GROWTH, LIPOGENESIS AND BODY COMPOSITION OF PIRACANJUBA (<i>Brycon orbignyanus</i>) FINGERLINGS FED DIFFERENT DIETARY PROTEIN AND LIPID CONCENTRATIONS | |
| Abstract..... | 07 |
| 1. Introduction..... | 09 |
| 2. Materials and methods..... | 10 |
| 2.1 - Experimental diets..... | 10 |
| 2.2 - Fish and experimental procedure | 12 |
| 2.3 - Evaluation of growth and nutrient retention..... | 12 |
| 2.4 - Enzyme assays..... | 13 |
| 2.5 - Statistical analysis | 13 |
| 3. Results..... | 14 |
| 3.1 - Growth performance and nutrient retention | 14 |
| 3.2 - Whole body composition..... | 15 |
| 3.3 - Activities of lipogenic enzymes | 16 |
| 4. Discussion..... | 17 |
| Acknowledgements..... | 19 |
| References..... | 20 |
| Artigo 2 | 25 |
| NÍVEIS ENERGÉTICOS E RELAÇÃO CARBOIDRATO LIPÍDIO EM DIETAS PARA ALEVINOS DE PIRACANJUBA, <i>Brycon orbignyanus</i> | |
| Resumo..... | 25 |
| 1. Introdução..... | 27 |
| 2. Material e métodos..... | 28 |
| 2.1 - Dietas experimentais..... | 28 |
| 2.2 - Peixes e Condições Experimentais..... | 29 |
| 2.3 - Parâmetros indicadores de desempenho..... | 31 |
| 2.4 - Análise estatística..... | 32 |
| 3. Resultados..... | 32 |

| | |
|---|-----------|
| 3.1 - Desempenho e retenção de nutrientes..... | 32 |
| 3.2 - Composição corporal e índice hepatossomático..... | 35 |
| 4. Discussão..... | 37 |
| Agradecimentos..... | 43 |
| Referências..... | 44 |
| Considerações Finais..... | 49 |
| ANEXO (fotos piracanjuba – alevino e adulto)..... | 51 |

RESUMO

A piracanjuba (*Brycon orbignyanus*) é um peixe migratório, de crescimento rápido e hábito alimentar onívoro, que está sob ameaça de extinção no sul do Brasil, nas bacias formadas pelos rios Uruguai e Paraná, devido a sobre exploração dos estoques e construção de represas, dentre outros fatores. Desta forma, esforços tem sido feitos para a criação deste peixe em cativeiro, seja para fins comerciais ou para o repovoamento do ambiente natural. No presente estudo, visando obter conhecimentos relacionados à bioenergética desta espécie, dois experimentos foram conduzidos. No experimento 1, seis dietas purificadas foram preparadas combinando duas concentrações de proteína bruta (30 e 32% PB) e três de lipídio (5,5%, 8,8% e 12,1%), em esquema fatorial. Este experimento teve como objetivo determinar a possível ação poupadora de proteína pela adição de lipídio na dieta e o seu efeito sobre o crescimento, lipogênese e composição corporal de alevinos de piracanjuba. Grupos de 11 alevinos ($11,3 \pm 0,1$ g/peixe) foram estocados em 18 aquários de 100 L abastecidos por um sistema de recirculação de água e alimentados até a saciedade aparente, duas vezes ao dia, durante 100 dias. O ganho em peso diário (GPD), consumo diário em porcentagem do peso corporal (CD), conversão alimentar (CA), taxa de eficiência protéica (TEP), taxa de retenção de proteína (TRP), taxa de retenção de energia (TRE) e índice hepatossomático (IHS) dos alevinos não foram influenciados pela concentração protéica ou lipídica da dieta ($P > 0,05$), entretanto, a composição corporal foi diretamente afetada ($P < 0,05$). Houve aumento no teor de gordura e matéria seca corporal com o aumento do lipídio da dieta, em ambas as concentrações protéicas. A atividade da enzima ácido graxo sintetase foi inibida ($P < 0,05$) pelo aumento da concentração de lipídio da dieta, a atividade da enzima glicose-6-fosfato desidrogenase não diferiu entre os tratamentos dietéticos ($P < 0,05$) e a enzima málica apresentou certa modulação pela proteína da dieta. Os resultados indicaram que aumentos de 5,5 a 12,1% de lipídio em dietas com 30 ou 32% de proteína, promovem o acúmulo de gordura corporal nos alevinos de piracanjuba, sem melhora do crescimento. No experimento 2, com o objetivo de determinar a exigência energética e a utilização relativa do carboidrato e lipídio como fontes de energia em dietas para alevinos de piracanjuba, dez dietas purificadas isoprotéicas (30% PB) foram formuladas para conter cinco concentrações de energia metabolizável estimada (2400, 2700, 3000, 3300 e 3600 kcal/kg), combinadas com duas relações carboidrato: lipídio (CHO:L, 5,3 e 12,8, g:g), em esquema fatorial. Grupos de 11 alevinos de piracanjuba ($5,25 \pm 0,14$ g/peixe) foram alimentados até a saciedade aparente, duas vezes ao dia, durante 90 dias. O maior GPD foi verificado para os peixes alimentados com as dietas de 3000 kcal/kg, em ambas as relações CHO:L. Houve uma

redução significativa no CD dos alevinos quando estes foram alimentados com as dietas contendo 3300 e 3600 kcal/kg. Os resultados de CA, TEP e TRE melhoraram gradativamente com o aumento da energia das dietas. A TRP tendeu a ser menor nas concentrações mais altas e mais baixas de energia. Dentro de cada concentração energética, em todos os parâmetros avaliados, o desempenho dos alevinos foi significativamente pior quando alimentados com dietas contendo mais carboidrato em relação ao lipídio (CHO:L 12,8). A composição corporal e o IHS dos peixes não foram influenciados pela relação CHO:L da dieta ($P>0.05$). Porém, as concentrações energéticas acima de 3000 kcal/kg resultaram em diminuição significativa do teor de umidade e aumento do lipídio corporal dos alevinos, bem como nos menores valores de IHS ($P<0,05$). Os resultados deste estudo sugerem que, em dietas com 30% de proteína, nas concentrações energéticas e relações CHO:L testadas, 3000 kcal/kg é a concentração energética mais recomendada para alevinos de piracanjuba produzidos para fins comerciais. Entretanto, quando estes são produzidos para repovoamento do ambiente natural, a reserva adicional de energia proveniente de maior deposição de gordura é desejável, desta forma, dietas contendo 3300 kcal/kg e relação CHO:L em torno de 5,3 devem ser utilizadas. Os alevinos de piracanjuba utilizam mais eficientemente o lipídio da dieta como fonte de energia do que o carboidrato.

ABSTRACT

Piracanjuba (*Brycon orbignyanus*) is a migratory fast-growing omnivore fish, which is threatened to extinction in Paraná and Uruguai River basin in Southern Brazil, due to dam building along the rivers and over exploitation of the stocks, among other factors. Therefore, efforts have been made to raise this fish in captivity for stock enhancement or commercial aquaculture. In the present study, two feeding trials were carried out in order to improve understanding about the bioenergetics of this species. In experiment 1, to determine the possible protein-sparing action of dietary lipid, and its effect on growth, lipogenesis and body composition of piracanjuba fingerlings, six purified diets were prepared combining two protein (30 and 32%) and three lipid concentrations (5.5%, 8.8% e 12.1%), in a factorial arrangement. Triplicate groups of eleven fish (11.3 ± 0.1 g/fish) were held in 100-L aquaria supplied with recirculating freshwater, and fed to apparent satiation twice daily for 100 days. Fish daily weight gain, (DWG), daily feed consumption (% body weight, DFC), feed conversion ratio (FCR), protein efficiency ratio (PER), apparent net protein retention (ANPR), apparent net energy retention (ANER) and hepatosomatic index (HSI) were not influenced by dietary protein or lipid concentration ($P>0.05$). However, body composition was directly affected by dietary treatments ($P<0.05$). An increase in body fat and dry matter was observed as dietary lipid increased, for both dietary protein concentrations tested. The activity of fatty acid synthetase enzyme was depressed ($P<0.05$) by increasing dietary fat levels, glucose-6-phosphate dehydrogenase activity did not differ among dietary treatments ($P>0.05$), and malic enzyme showed some modulation by dietary protein. The results indicated that an increase from 5.5 to 12.1% in the dietary lipid, at a protein concentration of 30 or 32%, promotes body fat accumulation in piracanjuba fingerlings, with no improvement in growth. In experiment 2, to determine the energy requirement and relative utilization of dietary carbohydrate and lipid as energy sources by piracanjuba fingerlings, ten purified diets were formulated to contain five estimated metabolizable energy concentrations (2400, 2700, 3000, 3300 and 3600 kcal/kg) in two carbohydrate to lipid ratios (CHO:L, 5.3 and 12.8, g:g), using a factorial arrangement. Triplicate groups of eleven fish (5.25 ± 0.14 g/fish) were fed to apparent satiation twice daily for 90 days. The highest DWG was verified for fish fed 3000 kcal/kg diets, in both CHO:L ratios. There was a significant DFC reduction when fish were fed diets containing 3300 and 3600 kcal/kg. The values of FCR, PER and ANER improved as dietary energy was augmented. The ANPR tended to be lower in the higher and lower energy concentrations. Dietary lipid exhibited greater protein-sparing action than dietary carbohydrate, at all energy concentrations tested. Fish body composition and HSI were not influenced by

dietary CHO:L ratio ($P>0.05$). However, increases in dietary energy concentration above 3000 kcal/kg resulted in significant reduction in body moisture, increased lipid deposition, and lower HSI ($P<0.05$). In conclusion, results of the latter study suggest that, in diets with 30% protein, 3000 kcal/kg is the most recommended energy concentration for piracanjuba fingerlings, when raised for commercial purposes. However, when producing fish for stock enhancement, the additional energy reserve from body fat deposition could be desirable. Thus, diets containing 3300 kcal/kg and CHO:L ratio around 5.3 should be utilized. Piracanjuba fingerlings utilize lipid as energy source more efficiently than carbohydrate.

Introdução Geral

A família Characidae é uma das maiores famílias de peixes Neotropicais de água doce, representada no Brasil por aproximadamente 142 gêneros, dentre estes, o gênero *Brycon* (Mendonça, 1994). A piracanjuba, *Brycon orbignyanus*, é um peixe migratório de hábito alimentar onívoro, nativo das bacias formadas pelos rios Uruguai e Paraná, muito apreciado pelo valor e sabor de sua carne (Godoy, 1986). Como consequência da sobre exploração dos estoques e construção de represas, as populações naturais desta espécie vêm diminuindo drasticamente. Este fato, aliado às boas características zootécnicas deste peixe, tem estimulado esforços para sua criação em cativeiro, seja para fins comerciais ou para repovoamento do ambiente natural. Dentre os aspectos de maior relevância para viabilização da produção massiva desta espécie, está o conhecimento de suas exigências nutricionais.

Em dietas para peixes, concentrações adequadas de proteína e energia são fundamentais para obtenção de resultados produtivos, econômicos e ambientalmente desejáveis. Por meio do alimento oferecido, os peixes suprem, primeiramente, as necessidades energéticas dos processos vitais de manutenção (respiração, circulação sanguínea, excreção, osmorregulação e natação) e somente depois o utilizam para o crescimento (Hepher, 1988). A proteína é o nutriente mais caro da dieta, desta forma, a sua metabolização pelo peixe deve ser direcionada para síntese de proteína corporal e não para obtenção de energia, resultando em índices máximos de retenção e crescimento (Shiau, 1997; Nankervis, 2000).

A utilização ótima da proteína está diretamente relacionada a sua concentração na dieta e a disponibilidade de fontes não protéicas de energia, como lipídios e carboidratos (Kaushik & Médale, 1994; Chou & Shiau, 1996; Nankervis et al., 2000; Watanabe et al., 2001). A fração protéica da dieta normalmente é digerida e absorvida eficientemente pelos peixes, mas se as quantidades de aminoácidos absorvidos são excedentes às exigências imediatas, estes serão desaminados e os esqueletos de carbono usados para síntese de produtos de reserva de energia, como lipídio e glicogênio (Jobling, 1994). Ainda, se fontes não protéicas de energia não estão disponíveis em quantidades adequadas na dieta, a proteína será catabolizada para prover energia para o metabolismo do peixe (NRC, 1993; Webster et al., 1995).

Quando lipídios e carboidratos são utilizados como fonte de energia, estes são completamente oxidados a CO_2 e água, mas quando a proteína é utilizada para este fim, somente a cadeia carbônica dos aminoácidos entra no ciclo de produção de energia. A desaminação dos aminoácidos leva, portanto, à liberação de frações de nitrogênio (grupamentos amina) que não podem ser reciclados através de outros processos metabólicos, necessitando ser excretados, o que envolve gasto de energia para os peixes (Jobling, 1994). Quanto mais proteína é utilizada para energia, mais amônia é produzida, mais energia é perdida como calor e, conseqüentemente, menos proteína é retida no corpo do peixe (Cho & Kaushik, 1985). Sendo assim, o excesso de proteína numa dieta e/ou sua utilização como fonte de energia, além de ser biológica e economicamente desvantajoso, também é mais impactante, devido ao aumento da excreção de amônia para o meio (Kaushik & Oliva-Teles, 1986).

O excesso de energia numa dieta também é prejudicial, principalmente em concentrações sub-ótimas de proteína. Uma vez que os peixes se alimentam até satisfazer suas necessidades energéticas (Kaushik & Médale, 1994), o consumo pode ser interrompido antes que quantidades ideais de proteína e outros compostos necessários para o crescimento máximo tenham sido ingeridos, levando ainda a uma maior deposição de gordura corporal (Cowey & Sargent, 1979; NRC, 1993; Webster et al. 1995). Já, num nível adequado de energia, a proteína da dieta vai ser poupada para o crescimento (Garling & Wilson, 1976; El-Sayed & Teshima, 1992), o que torna essencial o balanço apropriado de proteína e energia na formulação de dietas para peixes.

Recentemente, Sá & Fracalossi (2002) avaliaram a performance de alevinos de piracanjuba alimentados com dietas isocalóricas (3000 kcal de energia metabolizável, EM/kg), contendo seis concentrações de proteína bruta (26 a 42%) e relações energia/proteína variando de 7,1 a 12,3 kcal EM/g. A concentração mínima de proteína da dieta que proporcionou o máximo ganho em peso foi 29%, com relação E/P de 10,4 kcal EM/g. Incrementos na concentração protéica acima deste percentual não melhorou o desempenho dos peixes e, ainda, uma tendência de queda no índice de eficiência protéica nas dietas com mais de 29% de proteína foi verificada. Os autores sugerem que uma possível explicação para este acontecimento seria a diminuição da energia disponível para a realização da síntese protéica, devido à elevação dos gastos energéticos e do incremento calórico (perdas

energéticas na forma de calor), associados com o trabalho de desaminação da proteína em excesso nas dietas (Cho & Kaushik, 1985; Shiau & Huang, 1990).

Baseado nestes resultados e em vários estudos com diferentes espécies, que demonstram melhoras significativas no crescimento e utilização alimentar dos peixes quando aumentada a concentração energética da dieta, pela adição de fontes não protéicas de energia (Garling & Wilson, 1976; Hillestad & Johnsen, 1994; Shiau & Lan, 1996; Nankervis et al. 2000; Martino et al., 2002), o presente trabalho foi desenvolvido. Num primeiro experimento (Artigo 1), visando determinar o possível efeito poupador da proteína pelo aumento da concentração energética da dieta, bem como o efeito desta sobre o crescimento, lipogênese e composição corporal dos alevinos de piracanjuba, testou-se dietas com concentrações de 30 e 32% PB e níveis crescentes de lipídio (5,5, 8,8 e 12,1%), correspondendo às concentrações estimadas de 3000, 3300 e 3600 kcal EM/kg. Num segundo experimento (Artigo 2), tendo em vista que qualquer desequilíbrio das fontes não protéicas de energia na dieta, e/ou seus níveis de inclusão, podem ter efeito direto sobre o desempenho e composição corporal dos peixes (Erfanullah, 1998), testou-se dietas isoprotéicas (30% PB), contendo diferentes concentrações energéticas (2400, 2700, 3000, 3300 e 3600 kcal EM/kg) e duas relações carboidrato: lipídio (5,3 e 12,8, g:g) para alevinos de piracanjuba.

Referências

- Cho, C. Y., Kaushik, S. J., 1985. Effects of protein intake on metabolizable and net energy values of fish diets. *In*: Cowey, C. B., Mackie, A. M., Bell, J.G. (Eds.) Nutrition and feeding in fish. Academic Press, London. p. 95 – 117.
- Chou, B.S., Shiau, S.Y., 1996. Optimal dietary lipid level for growth of juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* X *Oreochromis aureus*. *Aquaculture*, 143: 185-195.
- Cowey, C.B., Sargent, J.R., 1979. Nutrition. *In*: Hoar, W.S. Randall, D.J., Brett, J.R. (Eds.) Fish Physiology, vol. VIII. Academic Press, London. p. 1-69.
- El-Sayed, A.M., Teshima, S., 1992. Protein and energy requirements of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, fry. *Aquaculture*, 103: 55-63.
- Erfanullah, A.K.J., 1998. Effect of dietary carbohydrate-to-lipid ratio on growth and body composition of walking catfish (*Clarias batrachus*). *Aquaculture*, 161: 159-168.
- Garling, D.L.Jr., Wilson, R.P., 1976. Optimum dietary protein to energy ratio for channel catfish fingerlings, *Ictalurus punctatus*. *J. Nutr.*, 106: 1368-1375.
- Godoy, M.P., 1986. Peixes e pesca do Rio Paraná: área do futuro reservatório de Ilha Grande. Florianópolis: ELETROSUL.
- Hepher, B., 1988. Nutrition of pond fishes. Cambridge University Press, Cambridge, Great Britain. 388 p.
- Hillestad, M., Johnsen, F., 1994. High-energy/low protein diets for Atlantic salmon: effects on growth, nutrient retention and slaughter quality. *Aquaculture*, 124: 109-116.
- Jobling, M., 1994. Fish bioenergetics. Chapman & Hall, London. 309p.
- Kaushik, S.J., Médale, F., 1994. Energy requirements, utilization and dietary supply to salmonids. *Aquaculture*, 124: 81-97.
- Kaushik, S.J., Oliva Teles, A., 1985. Effect of digestible energy on nitrogen and energy balance in rainbow trout. *Aquaculture*, 50: 89-101.
- Martino, R.C., Cyrino, J.E.P., Portz, L., Trugo, L.C., 2002. Effect of dietary lipid level on nutritional performance of the surubim, *Pseudoplatystoma coruscans*. *Aquaculture*, 209: 209-218.
- Mendonça, J.O.J., 1994. Criação de espécies do gênero *Brycon* no CEPTA/IBAMA. *In*: Seminário sobre criação de espécies do gênero *Brycon*, 1, Pirassununga. **Anais...** Pirassununga: CEPTA, 1994. p. 31-48.
- Nankervis, L., Matthews, S.J., Appleford, P., 2000. Effect of dietary non-protein energy source on growth, nutrient retention and circulating insulin-like growth factor I and

- triiodothyronine levels in juvenile barramundi, *Lates calcarifer*. *Aquaculture*, 191: 323-335.
- National Research Council – NRC. 1993. Nutrient requirements of fish. Washington, D.C. 114 p.
- Sá, M.V., Fracalossi, D.M., 2002. Exigência proteica e relação energia/proteína para alevinos de piracanjuba (*Brycon orbignyanus*). *R. Bras. Zootec.*, 31: 1-10.
- Shiau, S.Y., 1997. Utilization of carbohydrates in warmwater fish – with particular reference to tilapia, *Oreochromis niloticus* X *O. aureus*. *Aquaculture*, 151: 79-96.
- Shiau, S.Y., Huang, S.L., 1990. Influence of varying energy levels with two protein concentrations in diets for hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* X *O. aureus*) reared in seawater. *Aquaculture*, 91: 143-152.
- Shiau, S.Y., Lan, C.W., 1996. Optimum dietary protein level and protein to energy ratio for growth of grouper (*Epinephelus malabaricus*). *Aquaculture*, 145: 259-266.
- Watanabe, W.O., Ellis, S.C., Chaves, J., 2001. Effects of dietary lipid and energy to protein ratio on growth and feed utilization of juvenile mutton snapper *Lutjanus analis* fed isonitrogenous diets at two temperatures. *J. World Aquacult. Soc.*, 32: 30-40.
- Webster, C.D., Tiu, L.G., Tidwell, J.H., Wyk, P.V., Howerton, R.D., 1995. Effects of dietary protein and lipid levels on growth and body composition of sunshine bass (*Morone chrysops* X *Morone saxatilis*) reared in cages. *Aquaculture*, 131: 291-301.

Artigo 1

* Este artigo foi submetido e aceito para publicação na revista **Aquatic Living Resources**.

- Os resultados parciais deste estudo foram apresentados e publicados nos Anais dos seguintes eventos científicos:

- Nacional: **XII Congresso Brasileiro de Engenharia de Pesca.**

Borba, M.R., Fracalossi, D.M., Pezzato, L.E., 2001. Dados preliminares do efeito de níveis de proteína e lipídio sobre o desempenho e composição corporal em dietas para alevinos de piracanjuba (*Brycon orbignyanus*). In: Congresso Brasileiro de Engenharia de Pesca, XII. Foz do Iguaçu – Pr, 2001. Anais... (CD room).

- Internacional: **10th International Symposium on Nutrition & Feeding in Fish.**

Borba, M.R., Fracalossi, D.M., Pezzato, L.E., Menoyo, D., Bautista, J.M., 2002. Growth, lipogenesis and body composition of piracanjuba (*Brycon orbignyanus*) fingerlings fed different dietary protein and lipid concentrations. In: 10th International Symposium on Nutrition & Feeding in Fish. Rhodes-Greece, 2002. Abstracts... p. 163.

**GROWTH, LIPOGENESIS AND BODY COMPOSITION OF PIRACANJUBA
(*Brycon orbignyanus*) FINGERLINGS FED DIFFERENT DIETARY PROTEIN
AND LIPID CONCENTRATIONS**

Maude Regina de Borba¹, Débora Machado Fracalossi², Luiz Edivaldo Pezzato¹, David Menoyo³; José M. Bautista³.

¹ Aquaculture Center - Universidade Estadual Paulista (CAUNESP), 14884-900. Jaboticabal, SP - Brazil.

² Aquaculture Department - Universidade Federal de Santa Catarina, CP 476, 88040-900. Florianópolis, SC -Brazil.

³ Department of Biochemistry and Molecular Biology IV – Facultad de Veterinaria, Universidad Complutense de Madrid, 28040. Madrid, Spain.

Abstract

Piracanjuba (*Brycon orbignyanus*) is a Brazilian migratory fast-growing omnivore, very appreciated as a sport fish, which is threatened to extinction in Southern Brazil due to stock over exploitation and dam building. Therefore, efforts have been made to raise this fish in captivity for reintroduction and aquaculture purposes. In the present study, the effects of different dietary protein and lipid concentrations on piracanjuba fingerlings growth performance, feed utilization, body composition, hepatosomatic index (HSI) and activity of the lipogenic enzymes fatty acid synthetase (FAS), glucose-6-phosphate dehydrogenase (G6PD) and malic enzyme (ME) were investigated using a 2 X 3 factorial experiment. Six casein-gelatin based diets were prepared combining two protein (30% and 32%) and three lipid concentrations (5.5%, 8.8% and 12.1%). Eleven fish, average weight $11.30 \pm 0.1g$, were held in each of eighteen 100-l aquaria, supplied with recirculating freshwater. Each diet was randomly assigned to triplicate groups of fish and fed to apparent satiation, twice a day for 100 days. Piracanjuba fingerlings daily weight gain (0.36–0.40g), feed utilization and HSI were not influenced by dietary protein or lipid concentration ($p>0.05$). However, body composition was directly affected by dietary treatment ($p<0.05$). An increase in body fat and dry matter was observed as dietary lipid increased, for both dietary protein concentrations tested. The activity of FAS was depressed ($p<0.05$) by increasing dietary fat levels but the G6PD activity did not differ among dietary treatments ($p>0.05$), although ME activity showed some regulation by dietary protein. These results indicate that an

increase from 5.5% to 12.1% in the dietary lipid, at a dietary protein concentration of 30% or 32%, promotes body fat accumulation in piracanjuba fingerlings with no improvement in growth, suggesting that the lipid requirement for this species should be 5% or less, when raised for commercial purposes. However, the additional energy reserve from body fat accumulation could be desirable for piracanjuba fingerlings produced for stock enhancement.

Keywords: Piracanjuba; *Brycon orbignyanus*; Dietary lipid; Body composition; Lipogenesis

1. Introduction

Piracanjuba (*Brycon orbignyanus*) is a characin migratory fish, native to the Uruguai and Paraná River basins in Southern Brazil, which presents fast growth in captivity, omnivorous feeding habit and easy adaptation to artificial feeds. Due to dam building along the rivers and over exploitation of the stocks, this species is threatened to extinction. Therefore, diminishing natural populations and high appreciation by consumers has stimulated efforts to raise this species in captivity for stock enhancement or commercial aquaculture. Studies have been carried out on different aspects of piracanjuba biology and ecology (Goulding, 1980; Zaniboni-Filho and Resende, 1988), nutritional requirements (Esquivel, 1999; Sá and Fracalossi, 2002), and biochemical physiology (García-Carreño et al., 2002).

The development of cost effective and environmentally sustainable diets aims the maximum retention of dietary protein for growth (Nankervis et al., 2000). The optimal protein utilization is closely related to its concentration in the diet and the availability of dietary non-protein energy sources, such as lipids and carbohydrates (El-Sayed and Garling, 1988; Kaushik and Médale, 1994; Chow and Shiau, 1996; Nankervis et al., 2000; Watanabe et al., 2001). Fish, like other animals, control their feed intake to meet their energy requirements (Kaushik and Médale, 1994). Therefore, the protein and energy concentrations must be balanced for the maximum expression of the growth potential (Ellis and Reigh, 1991). Deficiencies in dietary non-protein energy sources result in the catabolism of proteins to generate energy, while excess energy can suppress appetite and reduce growth or increase fat deposition (Cowey and Sargent, 1979; NRC, 1993; Webster et al., 1995).

Recently, Sá and Fracalossi (2002) evaluated the performance of piracanjuba fingerlings fed isocaloric (3000 kcal ME Kg⁻¹) experimental diets containing six protein concentrations (26 to 42%), at E:P ratios ranging from 7.1 to 12.3 kcal ME g⁻¹. Best growth performance was obtained at 29% protein and E:P ratio of 10.4. However, protein efficiency at dietary energy concentrations other than 3000 kcal ME Kg⁻¹ has not been investigated to date for this species.

Many studies have demonstrated an improvement in growth rates and protein utilization when dietary energy concentration was increased by the addition of non-protein

energy sources (Garling and Wilson, 1976; Hillestad and Johnsen, 1994; Dias et al., 1998; Nankervis et al. 2000), and it is well known that lipids are an important source of energy in fish diets (Lee and Putnam, 1973; Ojaveer et al., 1996; Martino et al. 2002). Therefore, the present study was carried out to determine the possible protein-sparing action of dietary lipid, and its effect on growth, lipogenesis and body composition of piracanjuba fingerlings.

2. Materials and methods

2.1. Experimental diets

Six experimental casein-gelatin purified diets were formulated to contain 30 or 32 % crude protein (CP) concentrations and three lipid concentrations: 5.5, 8.8 or 12.1% (Table 1). Diets were formulated based on the nutritional requirements established for the omnivorous channel catfish, *Ictalurus punctatus* (NRC, 1993). Increases in dietary lipid concentrations were achieved by increasing the level of cod liver oil and soybean oil (2:1) while reducing cellulose. Dry ingredients were blended, following the addition of oil and water. This mixture was passed through a food grinder (3 mm diameter dye). Resulting strings were broken, and pellets were stored in hermetically sealed plastic bags at -20°C until fed (Fracalossi et al., 1998). Diet proximate analyses were determined according to procedures of the Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2000) and gross energy was measured using an automatic bomb-calorimeter (Table 1).

Table 1.

Feed ingredients and proximate composition of the experimental diets (% dry weight).

| Ingredients | Protein (%) Lipid (%) | Diets | | | | | |
|--|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| | | 30 | | | 32 | | |
| | | 5.5 | 8.8 | 12.1 | 5.5 | 8.8 | 12.1 |
| Casein | 22.34 | 22.34 | 22.34 | 23.83 | 23.83 | 23.83 | |
| Gelatin | 9.58 | 9.58 | 9.58 | 10.21 | 10.21 | 10.21 | |
| Dextrin | 36.38 | 36.38 | 36.38 | 34.15 | 34.15 | 34.15 | |
| Cod liver oil | 1.82 | 2.93 | 4.05 | 1.82 | 2.93 | 4.05 | |
| Soybean oil | 3.63 | 5.85 | 8.07 | 3.63 | 5.85 | 8.07 | |
| Cellulose | 17.15 | 13.82 | 10.48 | 17.26 | 13.93 | 10.59 | |
| CMC ^a | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | |
| Vitamin and mineral premix ^b | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | |
| Choline chloride | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | |
| K ₂ SO ₄ | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | |
| MgSO ₄ | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | |
| NaH ₂ PO ₄ | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | |
| CaCO ₃ | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | |
| Proximate composition | | | | | | | |
| Moisture (%) | 23.84 | 24.16 | 20.69 | 24.53 | 22.55 | 23.02 | |
| Crude Protein (%) | 30.67 | 30.69 | 30.74 | 32.74 | 32.70 | 32.65 | |
| Crude lipid (%) | 5.58 | 8.64 | 12.25 | 6.01 | 8.92 | 12.36 | |
| Ash (%) | 4.67 | 4.41 | 4.24 | 4.34 | 4.32 | 4.33 | |
| Crude Fiber (%) | 17.92 | 14.62 | 10.95 | 18.03 | 14.55 | 11.49 | |
| Nitrogen free extract (%) ^c | 41.16 | 41.64 | 41.82 | 38.88 | 39.51 | 39.17 | |
| Gross energy (kcal kg ⁻¹) | 4717 | 4895 | 5028 | 4771 | 4926 | 5084 | |
| Gross energy:protein ratio (kcal g ⁻¹) | 15.4 | 15.9 | 16.4 | 14.6 | 15.1 | 15.6 | |

^a Carboxymethylcellulose

^b Mineral-vitamin premix – units/kg of premix: antioxidant 0,6g; folic acid 250mg; pantothenic acid 5,000mg; biotin 125mg; niacin 5,000mg; vitamin A 1,000,000 IU; thiamin 1,250mg; cyanocobalamin 3,750mg; riboflavin 2,500mg; pyridoxine 2,485mg; ascorbic acid 42,000mg; vitamin D₃ 500,000 IU; vitamin E 20,000 IU; vitamin K₃ 500mg; cobalt 25mg; copper 2,000mg; iron 13,820mg; iodine 100mg; manganese 3,750mg; selenium 75mg and zinc 17,500mg

^c Nitrogen free extract = 100 – (ash + crude lipid + crude protein + crude fiber)

2.2. Fish and experimental procedure

The present study was carried out at the Freshwater Fish Biology and Aquaculture Laboratory (LAPAD) - Federal University of Santa Catarina, Florianópolis, Brazil. Each diet was randomly assigned to triplicate groups of 11 piracanjuba fingerlings with average initial body weight of 11.30 ± 0.1 g stocked in eighteen 100-l fiberglass tanks (0.7 x 0.3 x 0.5 m), set in a water recirculation system supplied with a continuous flow (0.7 l min^{-1}) and diffused aeration. Water temperature was measured daily and averaged $29.5 \pm 1.4^\circ\text{C}$ during the 100-day growing period. Dissolved oxygen was measured daily, while pH, total ammonia-nitrogen and nitrite were measured once a week. Light was supplied by overhead fluorescent bulbs controlled by a timer to provide a 12h photoperiod. Light bulbs were covered with black plastic to reduce light intensity to 4 lux, to prevent aggressive behavior among fish. However, mortality (16%) caused by fish aggressive behavior was verified, but was not diet-related ($p > 0.05$). Piracanjuba fingerlings were acclimated to experimental conditions for one week. During this period, they were fed a channel catfish reference purified diet (NRC, 1993) twice a day. At the beginning of the feeding trial, fish were anaesthetized (70 mg l^{-1} MS222) and individually weighted. Piracanjuba fingerlings were hand fed to apparent satiety, twice a day (9:00h and 17:00h) and feed intake was recorded.

2.3. Evaluation of growth and nutrient retention

Fish in each tank were group weighed every two weeks and individually weighed at the end of the experiment. Samples of 23 fish of the initial stock and 9 fish / dietary treatment were collected at the beginning and at the end of the feeding trial, respectively, for whole body composition analysis (AOAC, 2000) and gross energy determination. Fish were euthanized by hypothermia and stored (-20°C) until analysis. At the end of the trial, liver samples from 6 fish per dietary treatment were also collected and immediately frozen in liquid nitrogen for later analysis of selected lipogenic enzyme activities. Livers of 9 fish per dietary treatment were removed and weighed for hepatosomatic index (HSI) determination.

Performance and nutrient retention were evaluated considering the following parameters:

- Daily weight gain (g day^{-1}) — $\text{DWG} = [\text{final weight (g)} - \text{initial weight (g)}] / \text{time in days}$.
- Daily feed consumption (%body weight day^{-1}) — $\text{DFC} = [\text{feed intake (dry weight) (g)} / (\text{final weight (g)} + \text{initial weight (g)} / 2)] / \text{time in days} \times 100$.
- Feed conversion ratio — $\text{FCR} = \text{feed intake (dry weight) (g)} / \text{weight gain (g)}$.
- Protein efficiency ratio — $\text{PER} = \text{weight gain (g)} / \text{protein intake (dry weight) (g)}$.
- Apparent net protein retention — $\text{ANPR} = [(\text{final weight (g)} \times \text{final body protein (\%)}) - (\text{initial weight (g)} \times \text{initial body protein (\%)})] / \text{total protein intake (dry weight) (g)} \times 100$.
- Apparent net energy retention — $\text{ANER} = [(\text{final weight (g)} \times \text{final body energy (kcal)}) - (\text{initial weight (g)} \times \text{initial body energy (kcal)})] / \text{total energy intake (kcal) (dry weight)} \times 100$.
- Hepatosomatic index — $\text{HSI} = (\text{liver weight (g)} / \text{whole body weight (g)}) \times 100$

2.4. Enzyme assays

Liver homogenates and activity assays for glucose-6-phosphate dehydrogenase (G6PD; EC 1.1.1.49), malic enzyme (ME; EC 1.1.1.40) and fatty acid synthetase (FAS; EC 2.3.1.38) were performed as described by Dias et al. (1998). Soluble protein content of liver homogenates was determined by the Bradford (1976), using bovine serum albumin (BSA) as the standard. Care was taken to ensure that initial rates were being measured in all assays. Control experiments established that the enzyme was stable in the buffer used during the time, and at the temperature required to perform the assay. All enzyme assays were performed in duplicate or triplicate. The enzymatic activity units (IU), defined as μmoles of substrate converted to product per minute at assay temperature, were expressed per mg of hepatic soluble protein (specific activity).

2.5. Statistical analysis

A two-way analysis of variance was performed, taking into account the effects of dietary protein and lipid levels, and the interaction between the two factors on performance, lipogenesis and fish whole body composition. Tukey's multiple range test was applied when significant differences were detected ($p < 0.05$) among dietary treatments.

3. Results

3.1. Growth performance and nutrient retention

Daily weight gain varied between 0.36g to 0.40g and it was not affected ($p>0.05$) by dietary protein or lipid concentration (Table 2). No statistical differences ($p>0.05$) were detected for daily feed consumption, nutrient retention, nor feed and protein utilization. Although there was no difference among groups ($p>0.05$) for feed conversion ratio and protein efficiency ratio, there was a tendency for improvement of these indexes as dietary lipid concentration increased for both dietary protein concentrations tested (Table 2).

Table 2.

Performance and nutrient retention of piracanjuba fingerlings fed two protein and three dietary lipid concentrations over 14 weeks.

| Dietary factors | | DWG ¹ | DFC ² | FCR ³ | PER ⁴ | ANPR ⁵ | ANER ⁶ |
|----------------------|-----------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| Protein (%) | Lipid (%) | | | | | | |
| 30 | 5.5 | 0.39 | 3.03 | 1.82 | 1.79 | 31.39 | 25.92 |
| 30 | 8.8 | 0.36 | 2.87 | 1.75 | 1.86 | 30.63 | 25.77 |
| 30 | 12.1 | 0.40 | 2.79 | 1.66 | 1.96 | 32.41 | 27.17 |
| 32 | 5.5 | 0.36 | 2.97 | 1.81 | 1.69 | 29.73 | 22.88 |
| 32 | 8.8 | 0.40 | 2.88 | 1.74 | 1.77 | 30.82 | 25.39 |
| 32 | 12.1 | 0.36 | 2.74 | 1.68 | 1.83 | 30.21 | 26.02 |
| Analysis of variance | | | | | | | |
| Protein | | ns ⁷ | ns | ns | ns | ns | ns |
| Lipid | | ns | ns | ns | ns | ns | ns |
| Protein X Lipid | | ns | ns | ns | ns | ns | ns |
| Pooled SEM | | 0.04 | 0.10 | 0.07 | 0.07 | 1.25 | 1.66 |

Means of three replicate groups. Initial weight: 11.30 ± 0.1 g (mean \pm S.D.).

¹ Daily weight gain (g/day).

² Daily feed consumption (% body weight/day).

³ Feed conversion ratio.

⁴ Protein efficiency ratio.

⁵ Apparent net protein retention (%).

⁶ Apparent net energy retention (% , based on gross energy).

⁷ No significant ($p>0.05$)

3.2. Whole body composition

The proximate body composition is shown in Table 3. Fish whole body protein, lipid and moisture contents were significantly affected ($p<0.05$) by dietary lipid concentration, whereas dietary protein did not influence body composition ($p>0.05$). As dietary lipid increased, whole body lipid increased and protein decreased. Whole body moisture content decreased significantly from the lower (5%) to the higher (12%) dietary lipid concentration. Whole body ash and hepatosomatic index did not vary significantly among dietary treatments ($p>0.05$).

Table 3.

Whole body composition¹ and hepatosomatic index (HSI) of piracanjuba fingerlings fed two protein and three dietary lipid concentrations over 14 weeks.

| Dietary factors | | Moisture | Protein ² | Lipid ² | Ash ² | HSI ³ |
|----------------------|-----------|---------------------|----------------------|--------------------|------------------|------------------|
| Protein (%) | Lipid (%) | (%) | (%) | (%) | (%) | (%) |
| 30 | 5.5 | 68.14 ^a | 17.05 | 11.55 ^c | 3.23 | 1.55 |
| 30 | 8.8 | 67.61 ^{ab} | 16.79 | 12.59 ^b | 3.01 | 1.30 |
| 30 | 12.1 | 66.42 ^b | 16.57 | 13.99 ^a | 3.03 | 1.34 |
| 32 | 5.5 | 68.86 ^a | 17.18 | 10.97 ^c | 2.99 | 1.36 |
| 32 | 8.8 | 67.50 ^{ab} | 17.19 | 12.46 ^b | 2.88 | 1.27 |
| 32 | 12.1 | 67.04 ^b | 16.56 | 13.35 ^a | 3.05 | 1.29 |
| Analysis of variance | | | | | | |
| Protein | | ns ⁴ | ns | ns | ns | ns |
| Lipid | | 0.0057 | ns | 0.0003 | ns | ns |
| Protein X Lipid | | ns | ns | ns | ns | ns |
| Pooled SEM | | 0.47 | 0.23 | 0.37 | 0.09 | 0.09 |

Means of pooled samples of three fish from each of three replicate groups. Values in the same column with different superscripts are significantly different ($p<0.05$).

¹ Initial body composition (%): moisture 72.2; protein, lipid and ash (wet basis): 19.4, 5.2 and 3.1, respectively.

² Wet basis.

³ Means of three fish from each of three replicate groups.

⁴ No significant ($p>0.05$).

3.3. Activities of lipogenic enzymes

The activity of FAS, G6PD and ME was determined to assess the effect of experimental diets on liver lipogenesis (Table 4). The activity of FAS was significantly reduced ($p<0.05$) as dietary fat increased. The dietary protein concentration also affected FAS activity, reaching the lowest value in fish fed the 30% protein and 12.1% lipid diet. Both dietary protein and lipid had no significant effect on the specific activity of liver G6PD. However, a slight but significant effect was detected for dietary protein on ME activity.

Table 4.

Specific activity of liver fatty acid synthetase (FAS), malic enzyme (ME) and glucose 6-phosphate dehydrogenase (G6PD) of piracanjuba fingerlings fed diets at two levels of protein and three levels of lipid.

| Dietary factors | | FAS ¹ | ME ² | G6PD ³ |
|----------------------|-----------|---------------------|---------------------|-------------------|
| Protein (%) | Lipid (%) | | | |
| 30 | 5.5 | 0.151 ^{ab} | 0.073 ^{ab} | 0.120 |
| 30 | 8.8 | 0.114 ^{bc} | 0.071 ^{ab} | 0.118 |
| 30 | 12.1 | 0.091 ^c | 0.082 ^a | 0.130 |
| 32 | 5.5 | 0.173 ^a | 0.074 ^{ab} | 0.118 |
| 32 | 8.8 | 0.125 ^{bc} | 0.059 ^b | 0.109 |
| 32 | 12.1 | 0.128 ^{bc} | 0.063 ^{ab} | 0.116 |
| Analysis of variance | | | | |
| Protein | | 0.01 | 0.02 | ns ⁴ |
| Lipid | | 0.0001 | ns | ns |
| Protein X Lipid | | ns | ns | ns |
| Pooled SEM | | 0.02 | 0.01 | 0.01 |

Values in the same column with different superscripts are significantly different ($p<0.05$).

¹ Fatty acid synthetase (mIU mg protein⁻¹).

² Malic enzyme (IU mg protein⁻¹).

³ Glucose 6-phosphate dehydrogenase (IU mg protein⁻¹).

⁴ No significant ($p>0.05$).

4. Discussion

Lipids are important dietary energy sources for fish. Several studies have shown that they are efficiently metabolized by most fish species, resulting in increased feed performance and protein utilization (Lee and Putnam, 1973; Millikin, 1983; Stowell and Gatlin, 1992; Shiau and Lan, 1996; Nankervis et al., 2000; Martino et al., 2002). However, at too high levels, dietary fat may reduce fish growth, mostly due to reduction in fish consumption (Seenappa and Deveraj, 1995; Chow and Shiau, 1996; Weatherup et al., 1997; Silverstein et al., 1999; Regost et al., 2001b; Watanabe et al., 2001).

Piracanjuba fingerlings showed a 4.5-fold increase in weight in 100-day growing period. The dietary protein and lipid concentrations tested did not result in significant differences ($p>0.05$) in growth and nutrient utilization. However, a trend for decreasing feed consumption was evident, in both dietary protein concentrations, as the dietary lipid increased, which improved feed conversion and protein efficiency ratio.

Similarly to our results, increasing dietary lipid concentration (15 - 21%) in diets (47% or 51% protein) for juvenile gilthead seabream, *Sparus aurata*, did not result in significant differences in weight gain (Santinha et al., 1999). However, better feed efficiency and nitrogen retention were obtained by fish fed diets containing the higher lipid concentration. Also, hybrid striped bass fingerlings, *Morone chrysops* x *M. saxatilis*, showed improvement in all feed efficiency parameters, except weight gain, in fish fed the higher dietary lipid concentration at the same protein level (Keembiyehetty and Wilson, 1998). No protein sparing effect by dietary lipid was verified for juvenile Asian seabass, *Lates calcarifer*, with dietary lipid increasing from 5% to 15% (Catacutan and Coloso, 1995). Only dietary protein concentration had significant influence on fish performance. The best utilization of dietary protein was achieved at the lower concentration (35% CP) in comparison to the higher (50% CP), as reported for other species (Garling and Wilson, 1976; Parazo, 1990; Jantrarotai et al., 1998). In the present study, however, such effect of dietary protein concentration on fish performance was not observed probably due to the proximity of the two concentrations tested (30% or 32%).

Generally, studies carried out with other fish species, such as the Atlantic halibut, *Hippoglossus hippoglossus* (Berge and Storebakken, 1991; Helland and Grisdale-Helland, 1998), Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (Hanley, 1991); brown trout, *Salmo trutta* (Regost et al., 2001a), and turbot, *Psetta maxima* (Regost et al., 2001b), also showed that

increasing dietary lipid did not improve growth and protein utilization, with no clear protein sparing effect of dietary fat. In the present study, fish whole body lipid and dry matter increased as dietary lipid concentration increased, although body protein and ash contents were not clearly affected by the diets. This is a common trend when body composition is compared on a wet weight basis (Shearer, 1994), and was also observed in experiments with milkfish, *Chanos chanos*, (Coloso et al., 1988) and hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* X *O. aureus* (Chou and Shiau, 1996), among other species. From a product quality viewpoint, excessive fat deposition in fish is frequently deemed as undesirable, because this may affect negatively flesh shelf-life, organoleptic and physical properties (Millikin, 1983; Gjedrem, 1997). However, as stated by Winfree and Stickney (1981) and Parazo (1990), high fat levels in whole body may not be always undesirable, since this additional energy reserve may enhance survival of fingerlings when they are stocked in ponds with limited food availability. This aspect is especially relevant for the production of piracanjuba fingerlings for stock enhancement.

Piracanjuba fingerlings HSI were not influenced by dietary lipid concentration. Similar responses have also been reported for striped bass, *Morone saxatilis* (Millikin, 1983), channel catfish (Stowel and Gattlin, 1992), and *Dentex dentex* (Tibaldi et al., 1996). Conversely, HSI increased with dietary lipid level in red drum, *Sciaenops ocellatus* (Serrano et al., 1992), and in juvenile Asian seabass (Nankervis et al. 2000).

The activity of FAS was clearly depressed with increasing dietary lipid level. This is in agreement with previously reported for juvenile European seabass, *Dicentrarchus labrax* (Dias et al., 1998), indicating that the rate of fatty acid synthesis in piracanjuba fingerlings is influenced by the diet and consistent with the general trend in fish (Henderson, 1996). Also a reduced dietary level of protein seems to produce a decrease in liver lipogenesis. In fish, the main carbon source for fatty acid synthesis is provided by amino acids derived from dietary protein (Henderson, 1996). Thus, it would be expected a stronger effect if a wider range of dietary protein were used. However, no dietary effect was found on hepatic G6PD specific activity. Glucose 6-phosphate dehydrogenase is one of the main enzymes involved in supplying reducing power in the form of NADPH for the biosynthesis of fatty acids (Alvarez et al. 1999), but also is needed to sustain the increased rate of cell growth to permit nucleotides synthesis involved in DNA metabolism (Barroso et al. 1994). Thus, a similar growth performance found in fish fed the experimental diets

may suggest that NADPH produced by the pentose phosphate pathway was used to this end. The contribution of ME to NADPH production is variable among fish species (Segner and Bohm 1994; Dias et al. 1998). In piracanjuba, ME activity represents about 50% of the G6PD activity, and seems more dietary regulated than G6PD. Since no changes were observed in the NADPH production by G6PD in the assayed diets, the apparent anomalous decreased in ME activity with the increased dietary protein could be a consequence of the slight increase in dextrin to counterbalance the energy ratio in the diets, as carbohydrates stimulates lipid biosynthesis not through delivery of carbon backbones but increasing the availability of cytosolic reducing equivalents (Hemre et al., 2002).

In conclusion, the present study demonstrated that piracanjuba fingerlings were able to store significant quantities of lipid in their body, but were not able to utilize this energy source to improve growth when dietary lipid increased from 5.5 to 12.1%. Likewise, no protein sparing effect was observed when the different lipid concentrations were fed in combination to 30 or 32%CP in the diet. Body fat accumulation is not desirable in food fish but can serve as energy store to fingerlings produced for stock enhancement, as may be the case for piracanjuba fingerlings.

Finally, as verified in other teleosts, the type and ratio of the dietary non-protein energy source may influence fish performance (Seenappa and Devaraj, 1995; Catacutan and Coloso, 1997; Erfanullah, 1998). Therefore, it would be worth investigating how far dietary carbohydrate concentration, as well as carbohydrate to lipid ratio can affect changes in lipid metabolism and performance of piracanjuba.

Acknowledgements

The authors would like to thank Mr. Luciano J. Schmitt for his constant support during different stages of this study; Mr. Luciano V. Gonzaga and Dr. Roseane Fett of the Departamento de Tecnologia de Alimentos (UFSC) for the logistical support in the proximate analyses; Ms. Susana Perez-Benavente (UCM) for excellent technical assistance; the Fundação de Ciência e Tecnologia (FUNCITEC) of the Santa Catarina State, for the financial support of the project, and the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), for the doctoral fellowship granted to the first author.

References

- Alvarez, M. J., Lopez-Bote, C. J., Diez, A., Corraze, G., Arzel, J., Dias, J., Kaushik, S.J., Bautista, J. M., 1999. The partial substitution of digestible protein with gelatinized starch as an energy source reduces susceptibility to lipid oxidation in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *J. Anim. Sci.* 77, 3322-3329.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC), 2000. Official Methods of Analysis. 17th edn. Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD, USA.
- Barroso, J.B., García-Salguero, L., Peragón, J., de la Higuera, M., Lupiáñez, J.A., 1994. The influence of dietary protein on the kinetics of NADPH production systems in various tissues of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 124, 47-59.
- Berge, G.M., Storebakken, T., 1991. Effect of dietary fat level on weight gain, digestibility, and fillet composition of Atlantic halibut. *Aquaculture* 99, 331-338.
- Bradford, M.M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem.* 72, 248-254.
- Catacutan, M.R., Coloso, R.M., 1995. Effect of dietary protein to energy ratios on growth, survival, and body composition of juvenile Asian seabass, *Lates calcarifer*. *Aquaculture* 131, 125-133.
- Catacutan, M.R., Coloso, R.M., 1997. Growth of juvenile Asian seabass, *Lates calcarifer*, fed varying carbohydrate and lipid levels. *Aquaculture* 149, 137-144.
- Chou, B.S., Shiau, S.Y., 1996. Optimal dietary lipid level for growth of juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* X *Oreochromis aureus*. *Aquaculture* 143, 185-195.
- Coloso, R.M., Benttez, L.V., Tiro, L.B., 1988. The effect of dietary protein-energy levels on growth and metabolism of milkfish (*Chanos chanos* Forsskal). *Comp. Biochem. Physiol.* Vol. 89A, 1, 11-17.
- Cowey, C.B., Sargent, J.R., 1979. Nutrition. In: Hoar, W.S. Randall, D.J., Brett, J.R. (Eds.), *Fish Physiology*, vol. VIII, Academic Press, London, pp. 1-69.
- Dias, J., Corraze, G., Arzel, J., Alvarez, M.J., Bautista, J.M. Kaushik, S.J., 1998. Regulation of hepatic lipogenesis by dietary protein / energy in juvenile European seabass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture* 161, 169-186.
- Ellis, S.C., Reigh, R.C., 1991. Effect of dietary lipid and carbohydrate levels on growth and body composition of juvenile red drum, *Sciaenops ocellatus*. *Aquaculture* 97, 387-394.
- El-Sayed, A.M., Garling, D.L., Jr., 1988. Carbohydrate-to-lipid ratio in diets for *Tilapia zillii* fingerlings. *Aquaculture* 73, 157-163.

- Erfanullah, A.K.J., 1998. Effect of dietary carbohydrate-to-lipid ratio on growth and body composition of walking catfish (*Clarias batrachus*). *Aquaculture* 161, 159-168.
- Esquivel, J., 1999. Utilização de fibra bruta na nutrição de piracanjuba, *Brycon orbignyanus* (Valenciennes, 1849, Eingeman, 1909). Ph.D. Thesis. Universidade Estadual de São Paulo, Jaboticabal, Brasil. 60 p., in Portuguese.
- Fracalossi, D.M., Allen, M.E., Nichols, D.K., Oftedal, O.T., 1998. Oscars, *Astronotus ocellatus*, have a dietary requirement for vitamin C. *J. Nutr.* 128, 1745-1751.
- García-Carreño, F.L., Albuquerque-Cavalcanti, C., Navarrete del Toro, M.A., Zaniboni-Filho, E., 2002. Digestive proteinases of *Brycon orbignyanus* (Characidae, Teleostei): characteristics and effects of protein quality. *Comp. Biochem. Physiol.* 132, 343-352.
- Garling, D.L.Jr., Wilson, R.P., 1976. Optimum dietary protein to energy ratio for channel catfish fingerlings, *Ictalurus punctatus*. *J. Nutr.* 106, 1368-1375.
- Gjedrem, T., 1997. Flesh quality improvement in fish through breeding. *Aquacult. Int.* 5, 197-206.
- Goulding, M., 1980. *The Fishes of the Forest: Exploration Amazonian Natural History*, University of California Press. Berkeley p. 280.
- Hanley, F., 1991. Effects of feeding supplementary diets containing varying levels of lipid on growth, food conversion, and body composition of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). *Aquaculture* 93, 323-334.
- Helland, S.J., Grisdale-Helland, B., 1998. Growth, feed utilization and body composition of juvenile Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) fed diets differing in the ratio between the macronutrients. *Aquaculture* 166, 49-56.
- Hemre, G.I., Mommsen, T.P., Krogdahl, A., 2002. Carbohydrates in fish nutrition: effects on growth, glucose metabolism and hepatic enzymes. *Aquacult. Nut.* 8, 175-194.
- Henderson, R.J. 1996. Fatty acid metabolism in freshwater fish with particular reference to polyunsaturated fatty acids. *Arch. Anim. Nutr.* 49, 5-22.
- Hillestad, M., Johnsen, F., 1994. High-energy/low protein diets for Atlantic salmon: effects on growth, nutrient retention and slaughter quality. *Aquaculture* 124, 109-116.
- Jantrarotai, W., Sitasit, P., Jantrarotai, P., Viputhanumas, T., Srabua, P., 1998. Protein and energy levels for maximum growth, diet utilization, yield of edible flesh and protein sparing of hybrid *Clarias* catfish (*Clarias macrocephalus* X *Clarias gariepinus*). *J. World Aquacult. Soc.* 29, 281-289.
- Kaushik, S.J., Médale, F., 1994. Energy requirements, utilization and dietary supply to salmonids. *Aquaculture* 124, 81-97.

- Keembiyehetty, C.N., Wilson, R.P., 1998. Effect of water temperature on growth and nutrient utilization of sunshine bass (*Morone chrysops* ♀ x *Morone saxatilis* ♂) fed diets containing different energy / protein ratios. *Aquaculture* 166, 151-162.
- Lee, D.J., Putnam, G.B., 1973. The response of rainbow trout to varying protein/energy ratios in a test diet. *J. Nutr.* 103, 916-922.
- Martino, R.C., Cyrino, J.E.P., Portz, L., Trugo, L.C., 2002. Effect of dietary lipid level on nutritional performance of the surubim, *Pseudoplatystoma coruscans*. *Aquaculture* 209, 209-218.
- Millikin, M.R., 1983. Interactive effects of dietary protein on growth and utilization of age-0 striped bass. *Trans. Am. Fish. Soc.* 112, 185-193.
- Nankervis, L., Matthews, S.J., Appleford, P., 2000. Effect of dietary non-protein energy source on growth, nutrient retention and circulating insulin-like growth factor I and triiodothyronine levels in juvenile barramundi, *Lates calcarifer*. *Aquaculture* 191, 323-335.
- National Research Council – NRC. 1993. Nutrient requirements of fish. Washington, D.C. 114 p.
- Ojaveer, H., Morris, P.C., Davies, S.J., Russell, P. 1996. The response of thick-lipped grey mullet, *Chelon labrosus* (Risso), to diets of varied protein-to-energy ratio. *Aquacult. Res.* 27, 603-612.
- Parazo, M.M., 1990. Effect of dietary protein and energy level on growth, protein utilization and carcass composition of rabbitfish, *Siganus guttatus*. *Aquaculture* 86, 41-49.
- Regost, C., Arzel, J., Cardinal, M., Laroche, M., Kaushik, S.J., 2001a. Fat deposition and flesh quality in seawater reared, triploid brown trout (*Salmo trutta*) as affected by dietary fat levels and starvation. *Aquaculture* 193, 325-345.
- Regost, C., Arzel, J., Cardinal, M., Robin, J., Laroche, M., Kaushik, S.J., 2001b. Dietary lipid level, hepatic lipogenesis and flesh quality in turbot (*Psetta maxima*). *Aquaculture* 193, 291-309.
- Sá, M.V., Fracalossi, D.M., 2002. Exigência proteica e relação energia/proteína para alevinos de piracanjuba (*Brycon orbignyanus*). *R. Bras. Zootec.* 31, 1-10.
- Santinha, P.J.M., Medale, F., Corraze, G., Gomes, E.F.S., 1999. Effects of the dietary protein:lipid ratio on growth and nutrient utilization in gilthead seabream (*Sparus aurata* L.). *Aquacult. Nutr.* 5, 147-156.
- Seenappa, D., Devaraj, K.V., 1995. Effect of different levels of protein, fat and carbohydrate on growth, feed utilization and body carcass composition of fingerlings in *Catla catla* (Ham.). *Aquaculture* 129, 243-249.

- Segner, H., Bohm, R., 1994. Enzymes of lipogenesis. In Biochemistry and molecular biology of fishes, vol.3 Hochachka and Mommsen (eds.). Elsevier Science B.V.
- Serrano, J.A., Nematipour, G.R., Gatlin, D.M. III, 1992. Dietary protein requirement of the red drum (*Sciaenops ocellatus*) and relative use of dietary carbohydrate and lipid. *Aquaculture* 101, 283-291.
- Shearer, K.D., 1994. Factors affecting the proximate composition of cultured fishes with emphasis on salmonids. *Aquaculture* 119, 63-88.
- Shiau, S.Y., Lan, C.W., 1996. Optimum dietary protein level and protein to energy ratio for growth of grouper (*Epinephelus malabaricus*). *Aquaculture* 145, 259-266.
- Silverstein, J.T., Shearer, K.S., Dickhoff, W.W., Plisetkaya, E.M., 1999. Regulation and nutrient intake and energy balance in salmon. *Aquaculture* 177, 161-169.
- Stowell, S.L., Gatlin, D.M. III, 1992. Effects of dietary pantethine and lipid levels on growth and body composition of channel catfish, *Ictalurus punctatus*. *Aquaculture* 108, 177-188.
- Tibaldi, E., Beraldo, P., Volpelli, L.A., Pinosa, M., 1996. Growth response of juvenile dentex (*Dentex dentex* L.) to varying protein level and protein to lipid ratio in practical diets. *Aquaculture* 139,
- Watanabe, W.O., Ellis, S.C., Chaves, J., 2001. Effects of dietary lipid and energy to protein ratio on growth and feed utilization of juvenile mutton snapper *Lutjanus analis* fed isonitrogenous diets at two temperatures. *J. World Aquacult. Soc.* 32, 30-40.
- Weatherup, R.N., McCracken, K.J., Foy, R., Ride, D., McKendry, J., Mairs, R.J., Hoey, R., 1997. The effects of dietary fat content on performance and body composition of farmed rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture* 15, 173-184.
- Webster, C.D., Tiu, L.G., Tidwell, J.H., Wyk, P.V., Howerton, R.D., 1995. Effects of dietary protein and lipid levels on growth and body composition of sunshine bass (*Morone chrysops* X *Morone saxatilis*) reared in cages. *Aquaculture* 131, 291-301
- Winfree, R.A., Stickney, R.R., 1981. Effects of dietary protein and energy on growth, feed conversion efficiency and body composition of *Tilapia aurea*. *J. Nutr.* 111: 1001-1012.
- Zaniboni-Filho, E., Resende, E.K., 1988. Anatomia de gônadas, escala de maturidade e tipo de desova do matrinxã, *Brycon cephalus*. *Revista Brasileira de Biologia* 48, 833-844, in Portuguese

Artigo 2

* Este artigo foi escrito segundo as normas para publicação na revista **Aquaculture**, com exceção do espaçamento utilizado e posicionamento das tabelas, que foram colocadas no corpo do texto para facilitar a leitura do trabalho.

- Os resultados parciais deste estudo foram apresentados no seguinte evento científico:

- **World Aquaculture 2003**

Borba, M.R., Fracalossi, D.M., Pezzato, L.E, Meyer, G. Dietary energy concentration and carbohydrate-to-lipid ratio affect weight gain and feed conversion of piracanjuba, *Brycon orbignyanus*, fingerlings. In: World Aquaculture 2003. Salvador-Brazil, 2003. Abstracts... p. 108.

NÍVEIS ENERGÉTICOS E RELAÇÃO CARBOIDRATO: LIPÍDIO EM DIETAS PARA ALEVINOS DE PIRACANJUBA, *Brycon orbignyanus*

Maude Regina de Borba¹, Débora Machado Fracalossi², Luiz Edivaldo Pezzato¹

¹ Centro de Aqüicultura da Universidade Estadual Paulista (CAUNESP), 14884-900. Jaboticabal, SP - Brasil.

² Departamento de Aqüicultura - Universidade Federal de Santa Catarina, CP 476, 88040-900. Florianópolis, SC-Brasil.

Resumo

O presente estudo teve como objetivo determinar a exigência energética e utilização relativa de carboidrato e lipídio como fonte de energia em dietas para alevinos de piracanjuba, *Brycon orbignyanus*. Dez dietas purificadas isoproteicas (30% de proteína bruta, PB) foram formuladas para conter cinco concentrações de energia metabolizável estimada (2400, 2700, 3000, 3300 e 3600 kcal/kg) combinadas com duas relações carboidrato: lipídio (CHO:L, 5,3 e 12,8, g:g) em esquema fatorial. Grupos de 11 alevinos de piracanjuba com peso médio inicial de $5,25 \pm 0,14$ g/peixe, foram estocados em 30 tanques de fibra de vidro de 100 L, conectados a um sistema de recirculação de água. Cada dieta foi aleatoriamente distribuída a três grupos de peixes, sendo fornecida até aparente saciedade, duas vezes ao dia, durante os 90 dias de experimento. O maior ganho em peso foi verificado para os peixes alimentados com as dietas de 3000 kcal/kg, em ambas as relações CHO:L. Houve uma redução significativa no consumo diário dos alevinos quando estes foram alimentados com as dietas contendo 3300 e 3600 kcal/kg. Em cada concentração energética testada, o consumo das dietas com relação CHO:L 12,8 foi maior e a conversão alimentar pior ($P < 0,05$) do que as com relação CHO:L 5,3. Os resultados de conversão alimentar, taxa de eficiência protéica e taxa de retenção de energia melhoraram gradativamente com o aumento da energia das dietas. A taxa de retenção de proteína tendeu a ser menor nas concentrações mais altas e mais baixas de energia. Dentro de cada concentração energética, em todos os parâmetros avaliados, o desempenho dos alevinos foi significativamente pior quando alimentados com dietas contendo mais carboidrato em relação ao lipídio (CHO:L 12,8). A composição corporal e o índice hepatossomático (IHS) dos peixes não foram influenciados pela relação CHO:L

da dieta ($P>0,05$). Porém, o aumento da concentração energética acima de 3000 kcal/kg levou a uma redução significativa no teor de umidade e aumento do lipídio corporal dos alevinos e também aos menores valores de IHS ($P<0,05$). Os resultados do presente estudo sugerem que, nas concentrações energéticas e relações CHO:L testadas, em dietas com 30% de proteína, os melhores resultados de ganho em peso e índices satisfatórios de utilização alimentar e composição corporal são obtidos com a concentração energética de 3000 kcal/kg e relação CHO:L 5,3. Os alevinos de piracanjuba utilizam mais eficientemente o lipídio da dieta como fonte de energia do que o carboidrato.

Keywords: Piracanjuba; *Brycon orbignyanus*; Exigência energética; Relação carboidrato: lipídio

1. Introdução

A proteína é responsável pela maior parte do custo de dietas formuladas. Desta forma, a metabolização deste nutriente pelo peixe deve ser direcionada para síntese de proteína corporal e não para obtenção de energia (Shiau, 1997). A otimização do uso da proteína pode ser obtida com o aumento da concentração energética da dieta pela adição de nutrientes não protéicos, como lipídios e carboidratos (Likimani & Wilson, 1982; El-Sayed & Garling, 1988; Chou & Shiau, 1996; Nankervis et al., 2000; Watanabe et al., 2001). Estes, em proporções adequadas, resultam em economia da proteína para crescimento, reduzindo a excreção de nitrogênio e melhorando assim a qualidade do efluente da criação de peixes (Kaushik e Médale, 1994).

O lipídio é um componente importante da dieta, tanto como fonte de energia como também de ácidos graxos essenciais (Watanabe, 1982), utilizado eficientemente pela grande maioria das espécies de peixes (Sargent et al., 1989). Muitos estudos demonstram que o aumento da concentração de lipídio nas dietas, até determinado ponto, resulta em maior aproveitamento da proteína pelos peixes, com melhoras nos índices de utilização alimentar e crescimento. Entretanto, um concomitante aumento na deposição de gordura corporal também é verificado (Lee & Putnam, 1973; Nematipour et al., 1992; Stowell & Gatlin, 1992; Shiau & Lan, 1996; Van der Meer et al., 1997; Nankervis et al., 2000; Martino et al. 2002). Por outro lado, algumas espécies, como o robalo asiático, *Lates calcarifer*, apresentam capacidade limitada de utilização dos lipídios para gerar energia (Catacutan & Coloso, 1995; Williams et al., 2003), sendo que em outras espécies até mesmo uma redução no crescimento é verificada com o aumento da concentração lipídica da dieta, como é o caso da carpa indiana, *Catla catla* (Seenapa & Devaraj, 1995).

Os carboidratos são a fonte menos onerosa de energia e sua inclusão em dietas para peixes implica em redução de custos (Fynn Aikins et al., 1992; Catacutan e Coloso, 1997). Apesar dos peixes não possuírem exigência dietética específica por carboidratos (NRC, 1993; Wilson, 1994), verifica-se redução nas taxas de crescimento de muitas espécies quando alimentadas com dietas totalmente isentas deste nutriente. Por outro lado, excessos têm demonstrado afetar adversamente parâmetros morfométricos, fisiológicos e funcionais (Hemre et al., 2002). Segundo Wilson (1994), a habilidade em utilizar carboidratos varia entre as espécies, sendo que, em geral, peixes tropicais de água doce apresentam maior

capacidade de digestão e assimilação do que peixes marinhos e de água fria, assim como os peixes onívoros e herbívoros demonstram ser mais eficientes no aproveitamento do carboidrato do que os carnívoros.

Tendo em vista que qualquer desequilíbrio das fontes não protéicas de energia na dieta, e/ou seus níveis de inclusão, podem ter efeito direto sobre o desempenho e composição corporal dos peixes (Erfanullah, 1998), torna-se fundamental a determinação da concentração energética mais adequada, bem como a melhor relação carboidrato: lipídio (CHO:L) para as diferentes espécies.

A piracanjuba, *Brycon orbignyianus*, é um peixe migratório de hábito alimentar onívoro, nativo das bacias formadas pelos rios Uruguai e Paraná, muito apreciado pelo valor e sabor de sua carne (Godoy, 1986). Como consequência da sobre exploração dos estoques e construção de represas, as populações naturais desta espécie vêm diminuindo drasticamente. Este fato, aliado às boas características zootécnicas deste peixe, tem estimulado esforços para sua criação em cativeiro, seja para fins comerciais ou para repovoamento do ambiente natural.

Um estudo visando definir a concentração protéica ótima para alevinos de piracanjuba foi desenvolvido por Sá & Fracalossi (2002), porém, até o momento, não há informação quanto às exigências energéticas e utilização relativa do carboidrato e lipídio como fonte de energia por esta espécie. Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o efeito de dietas contendo diferentes concentrações energéticas e duas relações CHO:L sobre o desempenho e composição corporal dos alevinos de piracanjuba.

2. Material e Métodos

2.1. Dietas experimentais

Dez dietas purificadas isoproteicas (30% de proteína bruta, PB), foram formuladas para conter cinco concentrações de energia metabolizável estimada (2400, 2700, 3000, 3300 e 3600 kcal EM/kg) combinadas com duas relações CHO:L (g:g), 5,3 ou 12,8 (Tabela 1), em esquema fatorial. Para cada nível energético, na relação CHO:L mais baixa (5,3), as dietas continham exatamente o dobro de lipídio adicionado às dietas com relação CHO:L 12,8. A energia disponível foi estimada utilizando-se os valores fisiológicos padrão de 4

kcal/g de proteína ou carboidrato e 9 kcal/g de lipídio (Lee & Putnam, 1973; Nematipour et al., 1992; Shyong et al., 1998).

As dietas foram preparadas misturando-se inicialmente os ingredientes secos, adicionando-se em seguida os óleos e água. A massa homogênea resultante foi passada através de uma matriz com orifício de 3mm e os filamentos produzidos levados para secagem em estufa a 60°C. Após secagem, as dietas foram embaladas em sacos plásticos hermeticamente fechados e armazenadas a -20°C até sua utilização. A composição centesimal das dietas foi determinada de acordo com procedimentos da Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2000) e a energia bruta medida em bomba calorimétrica.

2.2. Peixes e Condições Experimentais

O presente estudo foi desenvolvido nas instalações do Laboratório de Biologia e Cultivo de Peixes de Água Doce (LAPAD), da Universidade Federal de Santa Catarina, localizado em Florianópolis, SC. Grupos de 11 alevinos de piracanjuba com peso inicial de $5,25 \pm 0,14$ g/peixe foram estocados em 30 tanques de fibra de vidro (0,7 x 0,3 x 0,5 m), com volume útil de 100 L, conectados a um sistema de recirculação com fluxo contínuo de água de aproximadamente 1,0 L/min e aeração individual. Após uma semana de adaptação às condições experimentais, durante a qual os alevinos foram alimentados duas vezes ao dia com uma dieta purificada de referência para o bagre do canal, *Ictalurus punctatus* (NRC, 1993), iniciou-se o fornecimento das dietas experimentais. Nesta ocasião, os peixes foram anestesiados (70 mg/L de Tricaína metanossulfonato - MS222) e individualmente pesados. Cada dieta experimental foi aleatoriamente distribuída a três grupos de peixes. Os alevinos de piracanjuba foram alimentados até aparente saciedade duas vezes ao dia (9:00 e 17:00h) e a quantidade de dieta fornecida para cada tanque registrada.

Tabela 1.

Ingredientes e composição centesimal das dietas experimentais (% da matéria seca).

| Ingredientes | Energia ¹ (kcal EM/kg) | Dietas | | | | | | | | | |
|---|--------------------------------------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
| | | 2400 | | 2700 | | 3000 | | 3300 | | 3600 | |
| CHO:L | | 5,3:1 | 12,8:1 | 5,3:1 | 12,8:1 | 5,3:1 | 12,8:1 | 5,3:1 | 12,8:1 | 5,3:1 | 12,8:1 |
| Caseína | | 22,14 | 22,14 | 22,14 | 22,14 | 22,14 | 22,14 | 22,14 | 22,14 | 22,14 | 22,14 |
| Gelatina | | 9,48 | 9,48 | 9,48 | 9,48 | 9,48 | 9,48 | 9,48 | 9,48 | 9,48 | 9,48 |
| Dextrina | | 21,00 | 25,50 | 26,25 | 31,88 | 31,50 | 38,25 | 36,75 | 44,63 | 42,00 | 51,00 |
| Óleo fíg. bacalhau | | 1,33 | 0,67 | 1,67 | 0,83 | 2,00 | 1,00 | 2,33 | 1,17 | 2,67 | 1,33 |
| Óleo de soja | | 2,67 | 1,33 | 3,33 | 1,67 | 4,00 | 2,00 | 4,67 | 2,33 | 5,3 | 2,67 |
| Celulose | | 34,17 | 31,68 | 27,73 | 24,80 | 21,68 | 17,93 | 15,43 | 11,05 | 9,18 | 4,18 |
| CMC ² | | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 |
| Premix Vitamin/mineral ³ | | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 |
| Mistura macro- mineral ⁴ | | 4,2 | 4,2 | 4,2 | 4,2 | 4,2 | 4,2 | 4,2 | 4,2 | 4,2 | 4,2 |
| Composição Centesimal | | | | | | | | | | | |
| Matéria seca | | 90,8 | 91,5 | 91,2 | 91,1 | 91,1 | 89,1 | 90,2 | 89,6 | 89,6 | 88,2 |
| Proteína Bruta (%) | | 29,2 | 29,9 | 29,7 | 29,1 | 29,9 | 29,7 | 30,0 | 29,7 | 29,3 | 29,9 |
| Lipídio (%) | | 3,85 | 2,19 | 5,19 | 2,61 | 5,78 | 3,42 | 7,19 | 3,82 | 8,24 | 4,71 |
| Cinzas (%) | | 4,97 | 5,09 | 5,05 | 5,01 | 4,63 | 4,85 | 4,99 | 4,91 | 4,93 | 5,09 |
| Fibra Bruta (%) | | 34,39 | 32,26 | 27,83 | 24,72 | 21,23 | 17,55 | 15,73 | 11,23 | 8,82 | 4,02 |
| ENN (%) ⁵ | | 27,51 | 30,54 | 32,17 | 38,58 | 38,57 | 44,45 | 42,07 | 50,97 | 48,78 | 56,28 |
| Energia Bruta (kcal/kg) ⁶ | | 3146 | 3149 | 3488 | 3472 | 3813 | 3823 | 4100 | 4072 | 4431 | 4443 |
| Relação E/P (kcal EM g PB ⁻¹) ⁷ | | 8,2 | 8,0 | 9,1 | 9,3 | 10,0 | 10,1 | 11,0 | 11,1 | 12,3 | 12,0 |

¹ Energia Metabolizável (EM), estimada com base nos valores fisiológicos padrão de 4 kcal/g de proteína ou carboidrato e 9 kcal/g de lipídio (Lee & Putnam, 1973; Nematipour et al., 1992; Shyong et al., 1998).

² Carboximetilcelulose.

³ Composição – unidades/kg de premix: antioxidante 0,6g; ácido fólico 250mg; ácido pantotênico 5,000mg; biotina 125mg; niacina 5,000mg; vitamina A 1,000,000 IU; tiamina 1,250mg; cianocobalamina 3,750mg; riboflavina 2,500mg; piridoxina 2,485mg; ácido ascórbico 42,000mg; vitamina D₃ 500,000 IU; vitamina E 20,000 IU; vitamina K₃ 500mg; cobalto 25mg; cobre 2,000mg; ferro 13,820 mg; iodo 100mg; manganês 3,750mg; selênio 75mg e zinco 17,500mg.

⁴ Composição: 23,8% K₂SO₄, 4,76% MgSO₄, 47,62% NaH₂PO₄, 23,81% CaCO₃.

⁵ Extrativo não nitrogenado = 100 – (cinzas + lipídio + proteína bruta + fibra).

⁶ Energia bruta analisada, descontada a energia proveniente da fibra (4,11 kcal/g, NRC, 1993).

⁷ Relação energia/proteína

A temperatura da água foi medida diariamente e manteve-se em $28,4 \pm 1,2^{\circ}\text{C}$, durante os 90 dias de experimento. As concentrações de oxigênio dissolvido (medido diariamente), pH, amônia e nitrito (medidos semanalmente) foram, respectivamente, $6,62 \pm 0,55$ mg/L, $6,68 \pm 0,15$, $0,09 \pm 0,04$ mg/L e $0,09 \pm 0,06$ mg/L. Os parâmetros de qualidade de água não variaram significativamente ($P > 0,05$) entre os tratamentos e estiveram dentro dos limites para o desenvolvimento de peixes de água doce (Boyd, 1990).

A iluminação foi suprida por lâmpadas fluorescentes programadas para acender às 7:00h e apagar às 19:00h, conferindo um fotoperíodo de 12h luz. As lâmpadas foram cobertas com plástico preto, reduzindo a intensidade luminosa para 4 lux na superfície dos tanques, com objetivo de prevenir o comportamento agonístico entre os peixes. Mesmo com tais providências, mortes aleatórias de peixes devido a agressão foram verificadas. A sobrevivência final foi de 87% e não foi influenciada pelos tratamentos dietéticos ($P > 0,05$).

2.3. Parâmetros indicadores de desempenho

Os peixes de cada tanque, após jejum de pelo menos 15 horas, foram anestesiados e pesados em grupo a cada duas semanas e individualmente no final do experimento. As pesagens foram seguidas de um banho de sal na concentração de 20 g/L por três minutos, como medida profilática (Sá & Fracalossi, 2002).

Amostras de 20 peixes do estoque inicial e 3 peixes por tanque (9 alevinos/tratamento) no final do experimento, foram coletadas para determinação da composição corporal do peixe inteiro (umidade, proteína, lipídio e cinzas) (AOAC, 2000) e energia bruta do material liofilizado. Os peixes foram sacrificados por hipotermia e armazenados (-20°C) até realização das análises. Os fígados de outros 9 peixes de cada tratamento (3 alevinos/tanque) foram removidos e pesados para determinação do índice hepatossomático (IHS).

O desempenho dos alevinos de piracanjuba alimentados com as diferentes dietas foi avaliado considerando-se os seguintes parâmetros:

- Ganho em peso diário (g/dia) — GPD = $[\text{peso final} - \text{peso inicial}] / \text{tempo em dias}$.

- Consumo alimentar diário (% peso corporal/dia) — $CD = [\text{consumo matéria seca (MS)} / (\text{peso final} + \text{peso inicial} / 2)] / \text{tempo em dias} \times 100$.
- Conversão alimentar — $CA = \text{Consumo (MS)} / \text{ganho em peso}$.
- Taxa de eficiência protéica — $TEP = \text{ganho em peso} / \text{proteína consumida (MS)}$.
- Taxa de retenção de proteína — $TRP = [(\text{peso final} \times \text{proteína corporal final (\%)}) - (\text{peso inicial} \times \text{proteína corporal inicial (\%)}) / \text{proteína consumida (MS)}] \times 100$.
- Taxa de retenção de energia — $TRE = [(\text{peso final} \times \text{energia corporal final (kcal)}) - (\text{peso inicial} \times \text{energia corporal inicial (kcal)}) / \text{energia consumida (kcal) (MS)}] \times 100$.
- Índice hepatossomático — $IHS = (\text{peso do fígado} / \text{peso corporal}) \times 100$

2.4. Análise estatística

Uma análise de variância bifatorial foi aplicada, considerando os efeitos das concentrações energéticas e das relações CHO:L, bem como a interação entre estes fatores, sobre o desempenho e composição corporal dos alevinos de piracanjuba. Quando identificadas diferenças significativas entre os tratamentos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($P < 0.05$). Adicionalmente, aplicou-se uma análise de regressão polinomial para estimativa da exigência energética dos alevinos de piracanjuba, com base no ganho em peso. Os valores em percentagem sofreram transformação arco-seno para serem analisados.

3. Resultados

3.1. Desempenho e retenção de nutrientes

O ganho em peso diário (GPD), consumo diário (CD), conversão alimentar (CA), taxa de eficiência protéica (TEP), taxa de retenção de proteína (TRP) e taxa de retenção de energia (TRE) dos alevinos de piracanjuba alimentados com as diferentes dietas experimentais estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2.

Desempenho e retenção de proteína e energia dos alevinos de piracanjuba alimentados com dietas contendo diferentes concentrações energéticas e duas relações CHO:L, ao final de 90 dias^{1,2}.

| Fatores Dietéticos | | GPD ³ | CD ⁴ | CA ⁵ | TEP ⁶ | TRP ⁷ | TRE ⁸ |
|-------------------------|----------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| Energia (kcal EM/kg) | CHO:L (g:g) | | | | | | |
| 2400 | 5,3 | 0,53 ^{bc} | 3,00 ^{aY} | 1,52 ^{cY} | 2,20 ^{cY} | 38,71 ^a | 26,77 ^{bY} |
| 2700 | 5,3 | 0,56 ^{abc} | 2,98 ^{aY} | 1,44 ^{bcY} | 2,31 ^{bcY} | 41,80 ^a | 27,73 ^{bY} |
| 3000 | 5,3 | 0,65 ^a | 2,91 ^{aY} | 1,42 ^{abY} | 2,36 ^{abY} | 40,17 ^a | 30,36 ^{bY} |
| 3300 | 5,3 | 0,60 ^{ab} | 2,77 ^{bY} | 1,38 ^{aY} | 2,41 ^{aY} | 40,25 ^a | 33,71 ^{abY} |
| 3600 | 5,3 | 0,48 ^c | 2,80 ^{cY} | 1,44 ^{abY} | 2,31 ^{abY} | 38,79 ^a | 36,19 ^{aY} |
| 2400 | 12,8 | 0,55 ^{AB} | 3,17 ^{aZ} | 1,60 ^{cZ} | 2,08 ^{cZ} | 34,29 ^B | 26,50 ^{bZ} |
| 2700 | 12,8 | 0,51 ^{AB} | 3,10 ^{aZ} | 1,58 ^{bcZ} | 2,12 ^{bcZ} | 36,13 ^{AB} | 26,93 ^{bZ} |
| 3000 | 12,8 | 0,61 ^A | 3,14 ^{aZ} | 1,53 ^{abZ} | 2,18 ^{abZ} | 39,19 ^A | 27,53 ^{bZ} |
| 3300 | 12,8 | 0,47 ^B | 2,91 ^{bZ} | 1,51 ^{aZ} | 2,22 ^{aZ} | 38,44 ^A | 29,57 ^{abZ} |
| 3600 | 12,8 | 0,48 ^B | 2,88 ^{cZ} | 1,48 ^{abZ} | 2,26 ^{abZ} | 37,89 ^A | 33,79 ^{aZ} |
| Análise de variância | | | | | | | |
| Energia | | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | 0,007 | <0,001 |
| CHO:L | | 0,016 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | 0,017 |
| Energia X CHO:L | | 0,045 | ns ⁹ | ns | ns | 0,018 | ns |
| Erro Padrão Conjunto | | 0,024 | 0,075 | 0,075 | 0,032 | 0,830 | 1,253 |

¹Média de três repetições (n=3). Quando verificada interação significativa entre os fatores, as médias das concentrações de energia dentro de cada relação CHO:L seguidas de letras diferentes (5,3 = minúscula; 12,8 = maiúscula), são significativamente diferentes. No caso de efeito significativo dos fatores sem haver interação, os dados foram agrupados pelo nível de energia (^{abc} n=15) e pela relação CHO:L (^{Y,Z} n=6), antes da aplicação do teste de separação de médias.

²Peso inicial dos peixes = 5,25 ± 0,14 g (média ± desvio padrão).

³Ganho em peso diário (g/dia).

⁴Consumo alimentar diário (% peso corporal/dia).

⁵Conversão alimentar.

⁶Taxa de eficiência protéica.

⁷Taxa de retenção de proteína.

⁸Taxa de retenção de energia.

⁹Não significativo ($P>0,05$).

Verificou-se interação significativa ($P<0,05$) entre os fatores energia e relação CHO:L sobre o GPD, onde os peixes alimentados com a dieta contendo 3000 kcal/kg e

relação CHO:L 5,3 apresentaram o maior ganho (0,65 g/dia). Dentro desta relação CHO:L, os piores resultados foram verificados para a menor e maior concentração energética testada e o aumento da energia na dieta, por sua vez, produziu um efeito quadrático no GPD dos alevinos de piracanjuba, como pode ser visualizado na Figura 1, cuja equação de regressão é descrita como: $Y = -3,51 \cdot 10^{-7} X^2 + 0,00209 X - 2,49$, onde $Y = \text{GPD}$ e $X = \text{concentração energética da dieta}$. A concentração energética ótima para o máximo ganho em peso foi estimada em 2980 kcal/kg.

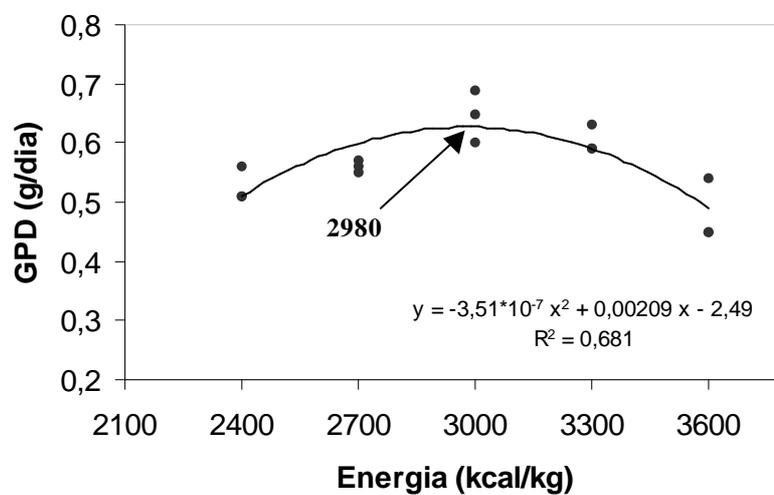


Figura 1 – Regressão polinomial de segunda ordem do ganho em peso diário (GPD) dos alevinos de piracanjuba alimentados com dietas contendo diferentes concentrações energéticas e relação CHO:L 5,3, utilizada para estimar a concentração energética ótima para o máximo ganho em peso (2980 kcal/kg).

Na relação CHO:L 12,8 os resultados seguiram a mesma tendência da relação 5,3 e o maior GPD também foi obtido com a concentração 3000 kcal/kg (0,61g/dia), porém uma piora mais acentuada neste parâmetro foi observada para a concentração 3300 kcal/kg (0,47 g/dia). Não houve regressão significativa entre o GPD e o aumento da concentração energética nesta relação CHO:L.

O CD dos alevinos de piracanjuba não diferiu ($P > 0,05$) quando estes foram alimentados com dietas contendo de 2400 a 3000 kcal/kg. Porém, o aumento na concentração energética acima de 3000 kcal/kg, levou a uma diminuição significativa

($P < 0,05$) no consumo pelos peixes. Em cada concentração energética, os alevinos que receberam dietas com relação CHO:L mais alta (12,8) apresentaram um consumo maior ($P < 0,05$) do que os alimentados com as dietas de menor relação CHO:L (5,3).

A CA melhorou gradativamente com o aumento da concentração energética das dietas, entretanto, a partir de 3000 kcal/kg não foram verificadas diferenças significativas para este parâmetro. As médias de CA foram piores ($P < 0,05$) para os peixes que receberam dietas cuja principal fonte de energia não protéica era o carboidrato, ou seja, com relação CHO:L 12,8.

A TEP seguiu a mesma tendência observada para a conversão alimentar, sendo obtidas melhoras neste parâmetro com o aumento da concentração energética das dietas de 2400 a 3600 kcal/kg, porém sem verificação de diferenças significativas entre as médias a partir de 3000 kcal/kg. Os resultados da TEP foram significativamente piores ($P < 0,05$) para as dietas com relação CHO:L 12,8.

Foi verificada interação ($P < 0,05$) entre os fatores concentração energética e relação CHO:L sobre a TRP. Na relação CHO:L 5,3 não houve diferença significativa entre as diferentes concentrações energéticas. Já, na relação CHO:L 12,8, a menor TRP (34,29%) foi apresentada pelos peixes alimentados com a dieta contendo menos energia (2400 kcal/kg), seguida da concentração 2700 kcal/kg, que apresentou um valor intermediário de retenção (36,13%) e que não diferiu significativamente das demais concentrações testadas (39,19%, 38,44% e 37,89%, respectivamente, 3000, 3300 e 3600 kcal/kg), as quais, por sua vez, também não diferiram entre si.

A TRE dos alevinos foi crescente, acompanhando o aumento da concentração energética das dietas, sendo obtidos os maiores valores de retenção nas concentrações mais altas testadas, 3300 e 3600 kcal/kg. Os peixes alimentados com as dietas contendo maior proporção de carboidrato em relação a lipídio (CHO:L 12,8), apresentaram TRE significativamente menores ($P < 0,05$).

3.2 – Composição corporal e índice hepatossomático

Os resultados das análises de composição corporal e IHS dos alevinos de piracanjuba encontram-se sumarizados na Tabela 3. As relações CHO:L 5,3 e 12,8, não influenciaram ($P > 0,05$) a composição corporal ou IHS dos peixes, entretanto, as diferentes concentrações energéticas das dietas tiveram efeito direto sobre os resultados. Uma

redução significativa ($P < 0,05$) no teor de umidade, acompanhada de aumento no lipídio corporal foi verificado para os peixes alimentados com as dietas de maior concentração energética (3300 e 3600 kcal/kg). Os menores valores de IHS também foram obtidos nessas concentrações. Não houve diferença significativa ($P > 0,05$) entre as concentrações 2400, 2700 e 3000 kcal/kg quanto à composição corporal ou IHS dos peixes e a quantidade de cinzas corporal não foi afetada pela composição da dieta ($P > 0,05$).

Tabela 3.

Composição corporal¹ e índice hepatossomático (IHS) dos alevinos de piracanjuba alimentados com dietas contendo diferentes concentrações de energia e duas relações CHO:L, ao final de 90 dias².

| Fatores Dietéticos | | Umidade (%) | Proteína (%) | Lipídio (%) | Cinzas (%) | IHS (%) |
|----------------------|-------------|--------------------|--------------|--------------------|------------|-------------------|
| Energia (kcal EM/kg) | CHO:L (g:g) | | | | | |
| 2400 | 5,3 | 68,83 ^a | 17,46 | 10,11 ^c | 3,67 | 1,76 ^a |
| 2700 | 5,3 | 70,57 ^a | 16,74 | 8,88 ^c | 3,71 | 1,99 ^a |
| 3000 | 5,3 | 69,34 ^a | 16,66 | 9,77 ^c | 3,81 | 1,80 ^a |
| 3300 | 5,3 | 66,60 ^b | 16,32 | 12,64 ^b | 4,09 | 1,63 ^b |
| 3600 | 5,3 | 65,15 ^b | 16,34 | 14,94 ^a | 3,63 | 1,69 ^b |
| 2400 | 12,8 | 70,13 ^a | 16,34 | 9,74 ^c | 3,54 | 1,92 ^a |
| 2700 | 12,8 | 69,31 ^a | 16,83 | 10,40 ^c | 3,67 | 1,97 ^a |
| 3000 | 12,8 | 70,06 ^a | 16,85 | 9,33 ^c | 3,48 | 1,95 ^a |
| 3300 | 12,8 | 66,71 ^b | 16,18 | 12,88 ^b | 3,76 | 1,56 ^b |
| 3600 | 12,8 | 65,82 ^b | 16,33 | 14,35 ^a | 3,66 | 1,43 ^b |
| Análise de variância | | | | | | |
| Energia | | <0,001 | ns | <0,001 | ns | 0,007 |
| CHO:L | | ns ³ | ns | ns | ns | ns |
| Energia X CHO:L | | ns | ns | ns | ns | ns |
| Erro Padrão Conjunto | | 0,48 | 0,28 | 0,41 | 0,20 | 0,08 |

¹Composição corporal inicial (%): umidade 77,63; proteína, lipídio e cinzas (com base na matéria úmida): 15,16; 4,29; 2,89, respectivamente.

²Média de amostras compostas por três peixes de cada repetição (n=9). A não identificação de interação entre os fatores ou efeito significativo das relações CHO:L, permitiu que os dados fossem agrupados pela concentração energética antes da aplicação do teste de separação de médias. Na mesma coluna, médias com letras diferentes indicam diferenças significativas.

³Não significativo ($P > 0,05$).

4. Discussão

A análise de regressão polinomial tem sido utilizada como meio de relacionar o ganho em peso ao consumo do nutriente essencial, onde o valor correspondente ao máximo ganho estimado pela regressão quadrática é definido como a concentração máxima do nutriente que produz o crescimento ótimo e acima da qual o mesmo é reduzido (Chou & Shiau 1996; Shiau, 2001). No presente trabalho, a concentração energética estimada para o máximo ganho em peso (2980 kcal/kg) esteve muito próxima da concentração efetivamente testada de 3000 kcal/kg, que resultou no maior ganho em peso dos alevinos de piracanjuba, dentro da relação CHO:L 5,3. Apesar de não ter sido possível estabelecer regressão significativa entre o ganho em peso e as dietas com relação CHO:L 12,8, também nesta relação o melhor resultado de ganho em peso foi verificado na concentração 3000 kcal/kg.

Como observado para outros peixes (Lee & Putnam, 1973; Stowell & Gatlin, 1992; Suárez et al., 1995; Shiau & Lan, 1996; Van der Meer et al., 1997; Dias et al., 1998; Nankervis et al., 2000; Martino et al. 2002), melhoras na utilização alimentar em alevinos de piracanjuba foram obtidas com o aumento da concentração energética das dietas, verificando-se também para essa espécie o efeito poupador da proteína, proveniente da adição de fontes não protéicas de energia (carboidratos e lipídios). A inexistência de diferença significativa entre os índices de CA e TEP a partir de 3000 kcal/kg indica que esta concentração energética foi suficiente para que os peixes aproveitassem a maior parte da proteína da dieta para o crescimento. O mesmo não aconteceu com as concentrações de 2400 e 2700 kcal/kg, cujo consumo alimentar não diferiu das dietas com concentração de 3000 kcal/kg, porém o ganho em peso foi menor, indicando que provavelmente parte da proteína tenha sido metabolizada para obtenção de energia. O conteúdo mais alto de fibra nas dietas com 2400 e 2700 kcal/kg (34,4% e 27,8%, respectivamente), adicionada na forma de celulose, não deve ter sido a causa da performance inferior dos peixes, pois em outros estudos a celulose foi utilizada em níveis de até 40% em dietas para o bagre do canal e *Tilapia zillii* sem afetar o desempenho dos alevinos (Garling & Wilson, 1977; El-Sayed & Garling, 1988).

Os peixes, como outros animais, se alimentam até satisfazer suas necessidades em energia (Kaushik e Médale, 1994). Tal afirmação foi confirmada no presente estudo, onde os alevinos alimentados com as dietas de maior densidade energética (3300 e 3600

kcal/kg) atingiram a saciedade mais prontamente que os demais, resultando em diminuição significativa do consumo. A menor ingestão de alimento pelos peixes teve efeito negativo sobre o crescimento, principalmente nas concentrações 3600 kcal/kg e relação CHO:L 5,3 e 3300 e 3600 kcal/kg e relação CHO:L 12,8, indicando que talvez a proteína e/ou outro composto da dieta não tenha sido consumido em quantidade adequada (Ellis e Reigh, 1991; Silverstein et al., 1999; Watanabe et al., 2001). Ainda, na relação CHO:L 12,8, outro aspecto a ser considerado é o fato de que o aumento na concentração energética deu-se principalmente pelo acréscimo de carboidrato às dietas e, pelo que mostram os resultados, os peixes não foram capazes de utilizar eficientemente este nutriente como fonte de energia. Desta forma, parte da proteína da dieta pode ter sido catabolizada para gerar energia, uma vez que esta é a fonte energética preferencial nas rotas metabólicas dos peixes (Hepher, 1988). O consumo significativamente maior das dietas com relação CHO:L mais alta (12,8), sugere uma menor digestibilidade e aproveitamento do carboidrato como fonte de energia pelos alevinos de piracanjuba, confirmando a conhecida dependência existente entre o consumo e a concentração de energia digestível e não de energia bruta das dietas (Kaushik & Oliva-Teles, 1985).

Os resultados encontrados para a TRP indicam que, de fato, nas menores concentrações energéticas (2400 e 2700 kcal/kg) e relação CHO:L 12,8, parte da proteína deve ter sido utilizada para obtenção de energia, levando a menores valores de retenção; observou-se, ainda, uma redução desta variável, apesar de não significativa, nas concentrações acima de 3000 kcal/kg. Os peixes que receberam as dietas com relação CHO:L 5,3 não apresentaram diferença significativa para a TRP, porém uma tendência de diminuição de retenção na menor e maior concentração energética foi verificada. Similarmente, em estudo desenvolvido por Machiels & Henken (1985), a TRP dos juvenis de bagre africano, *Clarias gariepinus*, também foi reduzida nas concentrações energéticas mais baixas e mais altas testadas. Um aumento significativo da TRP com o aumento da concentração energética das dietas foi observado em alevinos de tilápia híbrida, *Oreochromis niloticus* X *O. aureus*, tambaqui *Colossoma macropomum*, “sunshine bass” *Morone chrysops* ♀ X *M. saxatilis* ♂, juvenis de robalo asiático, *Lates calcarifer* e alevinos de surubim, *Pseudoplatystoma coruscans* (Shiau & Huang, 1990; Van der Meer et al., 1997; Keembiyehetty & Wilson, 1998; Nankervis et al., 2000; Martino et al., 2002). Entretanto, a TRP não foi influenciada pelo conteúdo de energia das dietas em alevinos do

bagre africano híbrido, *Clarias macrocephalus* X *C. gariepinus* (Jantrarotai et al., 1998) e juvenis de “mutton snapper”, *Lutjanus analis* (Watanabe et al., 2001).

A TRE, concordando com outros estudos (Machiels & Henken, 1985; Van der Meer et al., 1997; Keembiyehetty & Wilson, 1998; Martino et al., 2002), aumentou gradativamente com o aumento da concentração energética das dietas, atingindo os maiores valores nas concentrações de 3300 e 3600 kcal/kg, em ambas as relações CHO:L. Dentro de cada concentração energética, a TRE dos alevinos de piracanjuba, bem como todos os demais parâmetros avaliados, foi significativamente pior em peixes alimentados com as dietas de relação CHO:L mais alta (12,8), nas quais o carboidrato era a principal fonte não protéica de energia, em comparação com as de relação CHO:L mais baixa (5,3), indicando que, apesar das dietas conterem concentrações equivalentes de energia bruta, estas diferiram quanto a disponibilidade de energia para os peixes. O mesmo foi constatado por Ellis e Reigh (1991), para juvenis de corvina vermelha, *Sciaenops ocellatus*.

Segundo Wilson (1994), a habilidade em utilizar carboidratos varia entre as espécies, sendo que, em geral, peixes tropicais onívoros e herbívoros de água doce demonstram ser mais eficientes no aproveitamento deste nutriente do que as espécies carnívoras e marinhas de água fria. García-Carreño e colaboradores (2002) mencionam que, como verificado para outras espécies do gênero *Brycon*, as larvas de piracanjuba são carnívoras, passando ao hábito alimentar onívoro durante a transição de alevino para juvenil. Segundo estes autores, a relação comprimento do intestino/ comprimento do corpo (1:1) dos juvenis de piracanjuba (9 meses de idade) utilizados em seu trabalho, posicionam esta espécie no limite da classificação entre organismos onívoros e carnívoros. Destacam ainda, que o sistema digestivo destes peixes é capaz de digerir, de forma equivalente, proteína de origem vegetal e animal. No presente estudo, entretanto, no que se refere a utilização das fontes não protéicas de energia da dieta, os resultados obtidos foram mais semelhantes aos verificados com espécies carnívoras (Ellis & Reigh, 1991; Serrano et al., 1992; Erfanullah, 1998), sendo que os alevinos de piracanjuba não foram capazes de utilizar eficientemente o carboidrato como fonte de energia, parecendo os lipídios serem mais prontamente aproveitados para este fim por estes peixes.

Em estudo desenvolvido por El-Sayed & Garling (1988), utilizando dietas isoprotéicas (30% PB) e isocalóricas (3000 kcal EM/kg), alevinos de *Tilapia zillii* aproveitaram igualmente bem as dietas com relação CHO:L variando de 0,81 a 8,76 (12,0

a 36,8% dextrina e 4,2 a 14,8% lipídio), entretanto, uma piora significativa no desempenho ocorreu na relação CHO:L mais alta (24,11; 41% dextrina e 1,7% lipídio) testada. Os autores constataram que esta espécie, de hábito alimentar herbívoro, também utiliza o lipídio para obtenção de energia mais eficientemente do que o carboidrato, uma vez que aumentos na retenção de proteína e energia foram obtidos com o aumento da concentração de lipídio das dietas. O contrário, entretanto, foi verificado com alevinos da carpa indiana, *Catla catla*, cujo aumento na concentração de carboidrato das dietas resultou em economia da proteína para crescimento (Keshavanath et al., 2002), enquanto que concentrações crescentes de lipídios (4 a 12%) levaram à diminuição do crescimento e até mesmo perda de peso na maior concentração testada (Seenappa & Devaraj, 1995). Alevinos de pirapitinga, *Piaractus brachypomus*, espécie onívora, também demonstraram ser negativamente influenciados pelo aumento de lipídio na dieta, sendo que o desempenho dos peixes alimentados com dietas isoprotéicas (32% PB), contendo de 20 a 36% dextrina e 4 a 12% lipídio, foi significativamente melhor na menor concentração lipídica, independente da concentração de carboidrato (Vásquez-Torres, 2001).

Alevinos de bagre do canal, alimentados com dietas isoprotéicas (24% PB) e isocalóricas (2750 kcal EM/kg), com relação CHO:L variando de 0,0 a 31,5, demonstraram que a dextrina pôde substituir o lipídio da dieta numa faixa de relação CHO:L indo de 0,45 a 4,5, sem que o desempenho destes fosse afetado. Entretanto, concentrações de carboidrato ou lipídio acima deste intervalo (CHO:L 11,5 e 31,5) reduziram significativamente o ganho em peso e a retenção de energia dos peixes (Garling & Wilson, 1977). Já, para os alevinos do bagre africano híbrido, o intervalo da relação CHO:L das dietas, isoprotéicas (33% PB) e isocalóricas (2810 kcal ED/kg), que proporcionou os melhores resultados de ganho em peso e utilização alimentar, foi maior (3,8 a 11,2). Os peixes utilizaram bem concentrações de até 50% carboidrato e 4,4% lipídio, entretanto o aumento no conteúdo de carboidrato da dieta para 54% (CHO:L 20,3) reduziu significativamente a retenção de energia (Jantrarotai et al., 1994). Um fator importante a ser considerado, todavia, em relação ao que parece ser uma maior capacidade de aproveitamento de altas concentrações de carboidrato pelo híbrido *Clarias*, é que no referido estudo utilizou-se amido cru, o qual gera menos energia digestível por grama do que o amido gelatinizado (dextrina) (Lovell, 1998) utilizado no presente trabalho e demais estudos mencionados. Em trabalho subsequente desenvolvido por Jantrarotai et al. (1998),

também com alevinos de bagre africano híbrido, utilizando dextrina como fonte de carboidrato em dietas com relação CHO:L 11,3 e 3,8, foi verificado o efeito poupador da proteína pelo aumento da concentração energética da dieta apenas na relação CHO:L mais baixa.

A composição corporal dos alevinos de piracanjuba, exceto quanto ao percentual de cinzas e proteína, foi marcadamente influenciada pela concentração energética das dietas, mas não pela relação CHO:L. As dietas de maior densidade energética (3300 e 3600 kcal/g) resultaram em aumento significativo na deposição de gordura e diminuição no teor de umidade dos peixes, como freqüentemente verificado para outras espécies (Lee & Putnam, 1973; Nematipour et al., 1992; Suárez et al., 1995; Company et al., 1999; Nankervis et al., 2000; Gélineau et al., 2002). A piracanjuba apresentou grande capacidade de aumentar suas reservas de lipídio, em ambas as relações CHO:L testadas, alcançando concentrações de até aproximadamente 15% da matéria úmida. Segundo Brauge et al. (1994), os ácidos graxos depositados podem ser originados diretamente do lipídio da dieta ou ser sintetizados a partir do carboidrato consumido. Desta forma, a quantidade de gordura corporal está relacionada ao conteúdo total de energia da dieta, mais do que às fontes não protéicas (carboidrato e lipídio) de energia (Suárez et al., 1995). O estímulo da lipogênese com o aumento da concentração de carboidrato das dietas tem sido comprovado em estudos *in vitro* (Alvarez et al., 2000) e *in vivo* com diversas espécies de peixes (Likimani e Wilson, 1982; Fynn-Aikins et al., 1992; Brauge et al., 1995; Suárez et al., 1995; Shimeno et al., 1996; Dias et al., 1998; Alvarez et al., 1999). Conforme os resultados encontrados no presente trabalho, também não foram identificadas diferenças na capacidade do carboidrato ou lipídio da dieta em induzir a deposição de gordura em juvenis de enguia européia, *Anguilla anguilla* (Suárez et al., 1995) e de truta arco-íris, *Oncorhynchus mykiss* (Brauge et al., 1994). Por outro lado, em algumas espécies, o aumento do lipídio corporal parece estar mais relacionado à concentração de lipídio da dieta. Tal fato foi demonstrado em estudos utilizando dietas isocalóricas, onde o aumento da concentração de carboidrato em detrimento do lipídio resultou em menor deposição de gordura nos peixes (Garling & Wilson, 1977; El-Sayed & Garling, 1988; Serrano et al., 1992; Jantrarotai et al., 1994; Chou & Shiau, 1996; Erfanullah, 1998; Hutchins et al., 1998; Nankervis et al., 2000).

O IHS dos alevinos de piracanjuba, da mesma forma que a composição corporal, foi influenciado pela concentração energética das dietas, mas não pela relação CHO:L destas. Valores significativamente menores de IHS foram verificados com a elevação da energia acima de 3000 kcal. Estudos têm demonstrado que o tamanho do fígado de alguns peixes aumenta com o aumento da concentração de carboidrato na dieta, como consequência do acúmulo de glicogênio neste órgão (Wilson, 1994; Hemre et al., 2002). Entretanto, Hemre e colaboradores (2002) destacam que resultados divergentes são encontrados em relação à importância do glicogênio como estoque de energia e que a maioria dos peixes recorre às reservas de lipídio e proteína em períodos de privação alimentar. A deposição de lipídio constitui a principal forma de armazenar energia em espécies migratórias, como a piracanjuba, nas quais a gordura é utilizada durante a migração ou jejum (Suárez et al., 1995). O fígado é o local mais importante de síntese de ácidos graxos em peixes (Segner e Bohm, 1994), porém algumas variações quanto à utilização deste órgão como local de armazenamento de gordura são verificadas. Em estudos com diferentes espécies, o aumento do IHS é associado ao acúmulo de lipídio no fígado, originado a partir da deposição do lipídio consumido, excedente às necessidades energéticas do peixe (Serrano et al., 1992), ou via lipogênese, estimulada principalmente pelo aumento do carboidrato da dieta (Brauge et al. 1994). Por outro lado, Hutchins e colaboradores (1998) verificaram que o aumento da concentração de carboidrato na dieta aumentou a deposição de gordura na cavidade abdominal e músculo do “sunshine bass”, mas não no fígado. De forma semelhante, uma dieta contendo o nível mais alto de lipídio testado levou a menor deposição de gordura no fígado de juvenis da truta arco-íris, sugerindo que a deposição da gordura a partir do lipídio da dieta não ocorre no fígado, mas sim no tecido adiposo deste peixe (Brauge et al., 1994). Cyrino e colaboradores (2000) relatam ainda que as dietas de maior densidade energética testadas para o “black bass”, *Micropterus salmoides*, resultaram em armazenamento do excesso de energia na forma de lipídios viscerais e que os valores de glicogênio e peso do fígado foram inversamente proporcionais aos níveis de lipídio visceral. No presente trabalho, não foi medido o conteúdo de lipídio e glicogênio do fígado dos peixes, porém, baseando-se nos estudos mencionados acima e no menor IHS verificado nas concentrações energéticas mais altas testadas, pode-se presumir que a piracanjuba também não utiliza o fígado como local de

reserva de energia, sendo a energia excedente da dieta provavelmente armazenada como gordura na cavidade visceral e/ou músculo dos alevinos.

Em conclusão, os resultados do presente estudo indicam 3000 kcal/kg como sendo a concentração energética mais adequada, em dietas com 30% de proteína, para a criação de piracanjuba em cativeiro, pois confere o maior ganho em peso e índices satisfatórios de utilização alimentar e deposição de gordura corporal dos alevinos. Entretanto, no caso de produção de alevinos de piracanjuba para repovoamento do ambiente natural, o uso da dieta contendo 3300 kcal/kg e relação CHO:L 5,3, parece ser mais recomendável, pois além de proporcionar um bom crescimento e melhora na utilização alimentar, também ocasiona maior deposição de gordura corporal, sendo que esta reserva adicional de energia pode representar maiores chances de sobrevivência quando os peixes são estocados em ambientes com pouca disponibilidade de alimento e/ou durante o período de adaptação ao meio. O lipídio deve ser utilizado como principal fonte não protéica de energia em dietas para alevinos de piracanjuba, uma vez que os peixes não foram capazes de aproveitar eficientemente o carboidrato. Mais estudos são necessários, entretanto, para determinar qual é a relação CHO:L ideal para esta espécie, bem como a utilização do carboidrato em outras fases do seu desenvolvimento.

Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer a Luciano J. Schmitt pelo apoio incondicional em todas as etapas deste trabalho, a David A.R. Tataje e Marcos Weingartner pelo auxílio na obtenção dos peixes utilizados no presente estudo, a Pamela Montes e Régis Canton pela contribuição na realização das análises bromatológicas e a Fundação de Ciência e Tecnologia do estado Santa Catarina (FUNCITEC) pelo financiamento do projeto.

Referências

- Alvarez, M.J., López-Bote, C.J., Diez, A., Corraze, G., Arzel, J., Dias, J., Kaushik, S.J., Bautista, J.M., 1999. The partial substitution of digestible protein with gelatinized starch as an energy source reduces susceptibility to lipid oxidation in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and sea bass (*Dicentrarchus labrax*) muscle. *J. Anim. Sci.* 77, 3322-3329.
- Alvarez, M.J., Diez, A., López-Bote, C.J., Gallego, M., Bautista, J.M., 2000. Short-term modulation of lipogenesis by macronutrients in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) hepatocytes. *British Journal of Nutrition* 84, 1-10.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC), 2000. Official Methods of Analysis. 17th edn. Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD, USA.
- Boyd, C. 1990. Water quality in ponds for aquaculture. Birmingham Publishing Co., Alabama, 482 p.
- Brauge, C., Corraze, G., Médale, F., 1995. Effects of dietary levels of carbohydrate and lipid on glucose oxidation and lipogenesis from glucose in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, reared in freshwater or in seawater. *Comp. Biochem. Physiol.* 111, 117-124.
- Brauge, C., Médale, F., Corraze, G., 1994. Effect of dietary carbohydrate levels on growth, body composition and glycaemia in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, reared in seawater. *Aquaculture* 123, 109-120.
- Catacutan, M.R., Coloso, R.M., 1995. Effect of dietary protein to energy ratios on growth, survival, and body composition of juvenile Asian seabass, *Lates calcarifer*. *Aquaculture* 131, 125-133.
- Catacutan, M.R., Coloso, R.M., 1997. Growth of juvenile Asian seabass, *Lates calcarifer*, fed varying carbohydrate and lipid levels. *Aquaculture* 149, 137-144.
- Company, R., Calduch-Giner, J.A., Kaushik, S., Perez-Sanchez, J., 1999. Growth performance and adiposity in gilthead sea bream (*Sparus aurata*): risks and benefits of high energy diets. *Aquaculture* 171, 279-292.
- Chou, B.S., Shiau, S.Y., 1996. Optimal dietary lipid level for growth of juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* X *Oreochromis aureus*. *Aquaculture* 143, 185-195.
- Cyrino, J.E.P., Portz, L., Martino, R.C., 2000. Retenção de proteína e energia em juvenis de "black bass" *Micropterus salmoides*. *Scientia Agricola* 57, 609-616.
- Dias, J., Corraze, G., Arzel, J., Alvarez, M.J., Bautista, J.M., Kaushik, S.J., 1998. Regulation of hepatic lipogenesis by dietary protein / energy in juvenile European seabass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture* 161, 169-186.

- Ellis, S.C., Reigh, R.C., 1991. Effect of dietary lipid and carbohydrate levels on growth and body composition of juvenile red drum, *Sciaenops ocellatus*. *Aquaculture* 97, 387-394.
- El-Sayed, A.M., Garling, D.L., Jr., 1988. Carbohydrate-to-lipid ratio in diets for *Tilapia zillii* fingerlings. *Aquaculture* 73, 157-163.
- Erfanullah, A.K.J., 1998. Effect of dietary carbohydrate-to-lipid ratio on growth and body composition of walking catfish (*Clarias batrachus*). *Aquaculture* 161, 159-168.
- Fynn-Aikins, K., Hung, S.S.O., Li, H., 1992. Growth, lipogenesis and liver composition of juvenile white sturgeon fed different levels of D-glucose. *Aquaculture* 105, 61-72.
- García-Carreño, F.L., Albuquerque-Cavalcanti, C., Navarrete del Toro, M.A., Zaniboni-Filho, E., 2002. Digestive proteinases of *Brycon orbignyanus* (Characidae, Teleostei): characteristics and effects of protein quality. *Comp. Biochem. Physiol.* 132, 343-352.
- Garling, D.L.Jr., Wilson, R.P., 1977. Effects of dietary carbohydrate-to lipid ratios on growth and body composition of fingerling channel catfish. *The Progressive Fish-Culturist* 39, 1, 43-47.
- Gélineau, A., Bolliet, V., Corraze, G., Boujard, T., 2002. The combined effects of feeding time and dietary fat levels on feed intake, growth and body composition in rainbow trout. *Aquat. Living Resour.* 15, 225-230.
- Godoy, M.P., 1986. Peixes e pesca do Rio Paraná: área do futuro reservatório de Ilha Grande. Florianópolis: ELETROSUL.
- Hemre, G.I., Mommsen, T.P., Kroghdahl, A., 2002. Carbohydrates in fish nutrition: effects on growth, glucose metabolism and hepatic enzymes. *Aquaculture Nutrition* 8, 175-194.
- Hepher, B., 1988. Nutrition of pond fishes. Cambridge University Press, Cambridge, Great Britain. 388 p.
- Hutchins, C.G., Rawles, S.D., Gatlin, D.M.III, 1998. Effects of dietary carbohydrate kind and level on growth, body composition and glycemic response of juvenile sunshine bass (*Morone chrysops* ♀ X *M. saxatilis* ♂). *Aquaculture* 161, 187-199.
- Jantrarotai, W., Sitasit, P., Rajchapakdee, S., 1994. The optimum carbohydrate to lipid ratio in hybrid *Clarias* catfish (*Clarias macrocephalus* X *C. gariepinus*) diets containing raw broken rice. *Aquaculture* 127, 61-68.
- Jantrarotai, W., Sitasit, P., Jantrarotai, P., Viputhanumas, T., Srabua, P., 1998. Protein and energy levels for maximum growth, diet utilization, yield of edible flesh and protein sparing of hybrid *Clarias* catfish (*Clarias macrocephalus* X *Clarias gariepinus*). *J. World Aquacult. Soc.* 29, 281-289.
- Kaushik, S.J., Médale, F., 1994. Energy requirements, utilization and dietary supply to salmonids. *Aquaculture* 124, 81-97.

- Kaushik, S.J., Oliva Teles, A., 1985. Effect of digestible energy on nitrogen and energy balance in rainbow trout. *Aquaculture* 50, 89-101.
- Keembiyehetty, C.N., Wilson, R.P., 1998. Effect of water temperature on growth and nutrient utilization of sunshine bass (*Morone chrysops* ♀ x *Morone saxatilis* ♂) fed diets containing different energy / protein ratios. *Aquaculture* 166, 151-162.
- Keshavanath, P., Manjappa, K., Gangadhara, B., 2002. Growth, body composition and digestive enzyme activity of the Indian major carp, *Catla catla* (Ham.) fed carbohydrate rich diets. In: 10th International Symposium on Nutrition & Feeding in Fish, Rhodes. **Abstracts...** Rhodes: NCMR, 2002, p. 153.
- Lee, D.J., Putnam, G.B., 1973. The response of rainbow trout to varying protein/energy ratios in a test diet. *J. Nutr.* 103, 916-922.
- Likimani, T.A., Wilson, R.P., 1982. Effects of diet on lipogenic enzyme activities in channel catfish hepatic and adipose tissue. *J. Nutr.* 112, 112-117.
- Lovell, R.T., 1998. Nutrition and feeding of fish. Kluwer Academic Publishers, Boston, 267 p.
- Machiels, M.A.M., Henken, A.M., 1985. Growth rate, feed utilization and energy metabolism of the African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822), as affected by dietary protein and energy content. *Aquaculture* 44, 271-284.
- Martino, R.C., Cyrino, J.E.P., Portz, L., Trugo, L.C., 2002. Effect of dietary lipid level on nutritional performance of the surubim, *Pseudoplatystoma coruscans*. *Aquaculture* 209, 209-218.
- National Research Council – NRC. 1993. Nutrient requirements of fish. Washington, D.C. 114 p.
- Nankervis, L., Matthews, S.J., Appleford, P., 2000. Effect of dietary non-protein energy source on growth, nutrient retention and circulating insulin-like growth factor I and triiodothyronine levels in juvenile barramundi, *Lates calcarifer*. *Aquaculture* 191, 323-335.
- Nematipour, G.R., Brown, M.L., Gatlin, D.M. III, 1992. Effects of dietary energy:protein ratio on growth characteristics and body composition of hybrid striped bass, *Morone chrysops* ♀ x *M. saxatilis* ♂. *Aquaculture* 107, 359-368.
- Sá, M.V., Fracalossi, D.M., 2002. Exigência protéica e relação energia/proteína para alevinos de piracanjuba (*Brycon orbignyanus*). *R. Bras. Zootec.* 31, 1-10.
- Sargent, J., Henderson, R.J., Tocher, D.R., 1989. The lipids. In: *Fish Nutrition*. 2ed. Academic Press Inc., San Diego, p. 153-217.

- Seenappa, D., Devaraj, K.V., 1995. Effect of different levels of protein, fat and carbohydrate on growth, feed utilization and body carcass composition of fingerlings in *Catla catla* (Ham.). *Aquaculture* 129, 243-249.
- Segner, H., Bohm, R., 1994. Enzymes of lipogenesis. In: Hochachka and Mommsen (Eds.), *Biochemistry and molecular biology of fishes*, vol. 3, Elsevier, Amsterdam, p. 313-325.
- Serrano, J.A., Nematipour, G.R., Gatlin, D.M. III, 1992. Dietary protein requirement of the red drum (*Sciaenops ocellatus*) and relative use of dietary carbohydrate and lipid. *Aquaculture* 101, 283-291.
- Shiau, S.Y., 1997. Utilization of carbohydrates in warmwater fish – with particular reference to tilapia, *Oreochromis niloticus* X *O. aureus*. *Aquaculture* 151, 79-96.
- Shiau, S.Y., Huang, S.L., 1990. Influence of varying energy levels with two protein concentrations in diets for hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* X *O. aureus*) reared in seawater. *Aquaculture* 91, 143-152.
- Shiau, S.Y., Lan, C.W., 1996. Optimum dietary protein level and protein to energy ratio for growth of grouper (*Epinephelus malabaricus*). *Aquaculture* 145, 259-266.
- Shiau, S.Y., 2001. Estimation of nutrient requirements in aquatic animals. *J. Fish. Soc. Taiwan*, 28(2), 69-76.
- Shimeno, S., Hosokawa, H., Takeda, M., 1996. Metabolic response of juvenile yellowtail to dietary carbohydrate to lipid ratios. *Fisheries Science* 62, 945-949.
- Shyong, W.J., Huang, C.H., Chen, H.C., 1998. Effects of dietary protein concentration on growth and muscle composition of juvenile *Zacco barbata*. *Aquaculture* 167, 35-42.
- Silverstein, J.T., Shearer, K.S., Dickhoff, W.W., Plisetzkaya, E.M., 1999. Regulation and nutrient intake and energy balance in salmon. *Aquaculture* 177, 161-169.
- Stowell, S.L., Gatlin, D.M. III, 1992. Effects of dietary pantothenic acid and lipid levels on growth and body composition of channel catfish, *Ictalurus punctatus*. *Aquaculture* 108, 177-188.
- Suárez, M.D., Hidalgo, M.C., Garcia Galego, M., Sanz, A., Higuera, M., 1995. Influence of the relative proportions of energy yielding nutrients on liver intermediary metabolism of the European eel. *Comp. Biochem. Physiol.* 111, 421-428.
- Van der Meer, M.B., Zamora, J.E., Verdegen, M.C.J., 1997. Effect of dietary lipid level on protein utilization and the size and proximate composition of body compartments of *Colossoma macropomum* (Cuvier). *Aquaculture Research* 28, 405-417.
- Vásquez-Torres, W., 2001. Exigencias de proteína, gordura e carboidratos em dietas para crescimento de juvenis de pirapitinga, *Piaractus brachipomus*. Tese Doutorado. Manaus, AM:UA -INPA, 74 p.

- Watanabe, 1982. Lipid Nutrition in fish. *Comp. Biochem. Physiol.* 73B, 3-15.
- Watanabe, W.O., Ellis, S.C., Chaves, J., 2001. Effects of dietary lipid and energy to protein ratio on growth and feed utilization of juvenile mutton snapper *Lutjanus analis* fed isonitrogenous diets at two temperatures. *J. World Aquacult. Soc.* 32, 30-40.
- Williams, K.C., Barlow, C.G., Rodgers, L., Hockings, I., Agcopra, C., Ruscoe, I., 2003. Asian seabass *Lates calcarifer* perform well when fed pelleted diets high in protein and lipid. *Aquaculture* 225, 191-206.
- Wilson, R.P., 1994. Utilization of dietary carbohydrate by fish. *Aquaculture* 124, 67-80.

Considerações Finais

- Tendo em vista os resultados do experimento 1, em que a elevação da concentração energética das dietas com 30 e 32% de proteína, não levou a melhoras no ganho em peso dos alevinos de piracanjuba, seria interessante testar o aumento da energia em dietas com menos de 30% de proteína, sendo considerada a possibilidade de redução da concentração protéica da dieta, sem diminuição do crescimento dos peixes, pelo aumento de fontes não protéicas de energia (carboidrato e lipídio).
- A relação carboidrato lipídio das dietas teve efeito direto sobre o desempenho dos peixes, indicando melhor aproveitamento do lipídio como fonte de energia do que o carboidrato, pelos alevinos de piracanjuba. No experimento 1, em que o aumento da concentração energética das dietas deu-se fixando o carboidrato e aumentando o lipídio, resultando em relações CHO:L que variaram de 6,68 a 2,82 (34,2 e 36,4% dextrina), não houve diferença significativa entre as dietas quanto ao crescimento dos peixes. Já, no experimento 2, em que o aumento da concentração energética foi testado adotando-se as relações CHO:L 5,3 e 12,8, uma tendência de diminuição no crescimento foi verificada com a elevação da energia da dieta acima de 3000 kcal/kg e correspondente aumento do conteúdo de carboidrato (36,8 a 51,0% dextrina). Tais resultados sugerem que a concentração máxima de carboidrato em dietas para alevinos de piracanjuba deve estar, provavelmente, abaixo de 40%. Entretanto, mais estudos testando diferentes relações CHO:L são necessários, bem como o conhecimento da utilização do carboidrato por esta espécie em fases mais avançadas do seu desenvolvimento.
- O comportamento agressivo da piracanjuba em condições de confinamento e relativa sensibilidade ao manejo, dificultaram consideravelmente a realização do presente estudo. Mesmo adotando-se uma série de medidas para redução do estresse e conseqüente agressividade entre os peixes (rigorosa seleção inicial para

obter-se a maior homogeneidade possível de tamanho, redução da intensidade luminosa e manutenção do silêncio na sala de experimento, utilização de canos de pvc como abrigos para os peixes etc.), ainda assim ocorreram mortalidades durante os experimentos. Desta forma, apesar das vantagens de rápido crescimento e pronta aceitação do alimento artificial, as características comportamentais negativas da piracanjuba dificultam a viabilização da criação desta espécie para fins comerciais. Contudo, devido a forte ameaça de extinção deste peixe na bacia dos rios Uruguai e Paraná, esforços não devem ser poupados para sua produção em cativeiro, visando o repovoamento dos habitats devastados, juntamente com demais medidas que viabilizem a sua sobrevivência, como a recuperação de áreas poluídas, da vegetação ciliar e da implementação de meios que possibilitem aos peixes migratórios transpor as barreiras artificiais construídas ao longo dos rios.

ANEXO

A Piracanjuba (*Brycon orbignyanus*)



Alevino



Adulto