



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

CÂMPUS DE JABOTICABAL

CENTRO DE AQUICULTURA DA UNESP



**DIGESTIBILIDADE DE NUTRIENTES, CRESCIMENTO E VARIÁVEIS
METABÓLICAS EM TILÁPIAS DO NILO ALIMENTADAS COM FONTES DE
CARBOIDRATOS PELETIZADAS, EXTRUSADAS OU CRUAS**

**LUIS FERNANDO BELLAM FEDRIZI
BIÓLOGO**

**JABOTICABAL
Estado de São Paulo – Brasil
2009**



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

CÂMPUS DE JABOTICABAL

CENTRO DE AQUICULTURA DA UNESP



**DIGESTIBILIDADE DE NUTRIENTES, CRESCIMENTO E VARIÁVEIS
METABÓLICAS EM TILÁPIAS DO NILO ALIMENTADAS COM FONTES DE
CARBOIDRATOS PELETIZADAS, EXTRUSADAS OU CRUAS**

LUIS FERNANDO BELLAM FEDRIZI

Orientador: **Prof. Dr. Dalton José Carneiro**

Tese apresentada ao Centro de Aquicultura da
Universidade Estadual Paulista, Câmpus de
Jaboticabal, como parte das exigências para
obtenção do título de Doutor em Aquicultura.

JABOTICABAL

Estado de São Paulo – Brasil

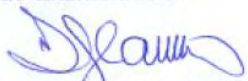
2009

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "Digestibilidade de nutrientes, crescimento e variáveis metabólicas em tilápias do Nilo alimentadas com fontes de carboidratos peletizadas, extrusadas ou cruas"

AUTOR: LUIS FERNANDO BELLAM FEDRIZI
ORIENTADOR: Prof. Dr. DALTON JOSE CARNEIRO

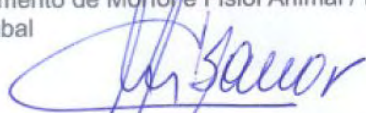
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR em AQUICULTURA ,
pela Comissão Examinadora:



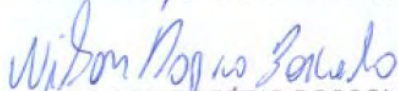
Prof. Dr. DALTON JOSE CARNEIRO
Departamento de Zootecnia / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal



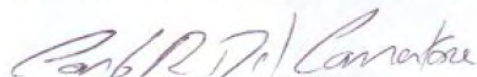
Profa. Dra. ELISABETH CRISCUOLO URBINATI
Departamento de Morfologia e Fisiologia Animal / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal



Profa. Dra. MARGARIDA MARIA BARROS
DEPTO. DE MELHORAMENTO E NUTRIÇÃO ANIMAL/FMVZ/UNESP, BOTUCATU, SP



Prof. Dr. WILSON ROGÉRIO BOSCOLO
DEPTO DE ZOOTECNIA/UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ



Prof. Dr. CARLO ROSSI DEL CARRATORE
DEPTO DE AQUICULTURA/UNIVERSIDADE DE MARÍLIA, SP

Data da realização: 27 de julho de 2009.

“Desesperar jamais

Aprendemos muito nesses anos

Afinal de contas não tem cabimento

Entregar o jogo no primeiro tempo

Nada de correr da raia

Nada de morrer na praia

Nada! Nada! Nada de esquecer

No balanço de perdas e danos

Já tivemos muitos desenganos

Já tivemos muito que chorar

Mas agora, acho que chegou a hora

De fazer Valer o dito popular

Desesperar jamais

Cutucou por baixo, o de cima cai

Desesperar jamais

Cutucou com jeito, não levanta mais”

Ivan Lins

Dedicatória

À minha noiva, meu amor!

Você chegou à minha vida quando eu mais precisava encontrar forças para continuar a caminhar na pós. Seu carinho, suas orações, sua alegria e seu amor foram muito importantes e essenciais para alcançar o final dessa fase.

Muito Obrigado Mila!

A meus pais Odair e Terezinha

Cheguei até aqui porque acreditaram em mim, oraram por mim e me apoiaram durante todos os seis anos de pós-graduação, é uma honra ser filho de vocês!

As minhas irmãs Maria Lucia, Luciana e Juliana

Obrigado pelo imenso carinho que sempre tiveram por mim!

Ao meu cunhado Reinaldo, obrigado pela força e momentos de descontração.

A minha linda sobrinha Madalena, você deixou os dias dessa família muito mais felizes!

Aos meus queridos avós, Lucia, José Bellam, Maria, Francisco (in memorian) e minha avó de coração, Isolde. Obrigado pelas orações! Com vocês aprendi a pensar na vida de forma madura e a compreender onde encontra-se a verdadeira felicidade.

Aos meus estimados sogros, Édio e Mara Lucia, e também minha cunhadinha e irmãzinha de coração, Gabriela, obrigado por me receberem com imenso amor e carinho em sua casa e na sua família! Obrigado também a Demy e Snoopy, pela alegria e valores que só vocês podem ensinar a todos nós!

Vocês todos são o meu maior "título"! Tenho certeza de que o laço de amor que nos une, jamais será enfraquecido, mesmo que, muitas vezes, a distância nos separe.

AGRADECIMENTOS

À Jesus e Maria por cuidarem tão bem de mim, dos meus sonhos e de todas as pessoas que são luz no meu caminho. Pai, obrigado pelas bênçãos concedidas e por ajudar-me a vencer os obstáculos da minha vida! Essa é mais uma vitória nossa!

Ao meu orientador, Prof. Dr. Dalton José Carneiro e toda sua família, obrigado pela confiança, orientação e amizade durante esses seis anos que estivemos juntos. Você sempre será um grande exemplo de profissional para minha vida.

Aos membros da banca examinadora, Margarida M. Barros, Elisabeth C. Urbinati, Wilson R. Boscolo e Carlo R. Carratore pela disponibilidade de seu tempo e correções deste trabalho. Muito Obrigado pelas palavras de incentivo!

À Marta Verardino De Stéfani e a Elisabeth Criscuolo Urbinati pela valiosa contribuição neste trabalho na banca de qualificação.

À Professora Elisabeth Criscuolo Urbinati pelo apoio prestado no laboratório de Morfologia e Fisiologia Animal. Obrigado Beth pelo carinho e atenção que sempre demonstrou por mim. Você é um exemplo de profissional competente que ao mesmo tempo transmite enorme carisma e confiança aos seus “filhos”.

Ao Professor Gilberto Moraes por disponibilizar o laboratório de bioquímica em São Carlos para as análises de amilase. Sua ajuda foi muito importante. Obrigado!

A CAPES, pela bolsa de estudo, que tornou possível a realização deste trabalho.

A Gisele Fávero que foi uma pessoa sempre presente, desde os tempos do mestrado, me ajudou muito no laboratório e nos ensaios experimentais. Gi, muito obrigado!

A Cláucia (Timba), pelas sugestões e valioso apoio durante as análises de amilase, nas “longas” semanas que passei em São Carlos “apanhando” dessa enzima. Valeu!

A Ana Paula Baldan; será difícil esquecer as análises de amido! Contigo “cresci” muito na rotina laboratorial, você é uma excelente profissional e uma grande amiga! Muito Obrigado Ana.

A Damares pelo carinho, confiança e apoio no laboratório. Muito obrigado!

A Márcia Stech por todas as dicas relacionadas à árdua arte da redação científica. Valeu também aqueles papos “filosóficos” que às vezes rolavam.

Aos inesquecíveis amigos Rodrigo (Tigrão) e Joaquim (Suga), vocês acompanharam de perto todo o meu doutorado. Valeram as músicas do Suga, um cara que curte a boa música brasileira; e também adora lavar louça! Além do companheirismo você me ajudou muito em todo o doutorado, valeu! E obrigado também Tigrão pela ajuda na tese e também pelos bons conselhos. Enfim, valeram as noites de quarta, tomando cerveja e assistindo jogo, valeram os churrascos e valeu, especialmente, o Bar da Léo!

Ao grande amigo Camilo Prieto, você é daqueles caras que simplesmente todos gostam! Uma pessoa boa, sempre solícito, parceiro de festas, cervejinhas e além de tudo isso, conquistou toda a galerinha de Araçatuba. Tu és “de casa” amigão!

A minha amiga Líliam, com toda a verdade que o significado desta palavra expressa! São mais de 10 anos de amizade, desde nossa formação como Biólogos. Líliam, obrigado pela ajuda, desde a formatura da biologia até as atuais análises da nossa “querida” estatística, mas principalmente pela amizade tão bacana que nós temos!

Aos inestimáveis amigos Ana Laura e Júnior, vocês proporcionaram dias muito especiais e alegres dentro do laboratório de Nutrição. Valeu pelo apoio e incentivos! As caixas de 400 litros ficarão para sempre na lembrança! E viva o Dunha!

Aos amigos do CAUNESP, Luis Otávio, Dú Abimorad, Gustavo (Vurtu), Tiago (Balboa), Tiago (Nojento), John, Taxinha, Natália, Fabiana Pilarski, Claudinei, Léo (Roquinho) e Márcio Tokuda por todos os bons momentos de descontração!

Aos funcionários do CAUNESP, Dona Ana (in memorian), Fátima, Mônica, Elisandra, Márcio, Márcio (Perereca), Mauro, Silvinha, Suerli, Veralice, Valdecir e Donizete pelo profissionalismo, amizade e auxílio à realização deste trabalho.

A minha mãe, meu pai e minhas irmãs! Eu diria que sou uma pessoa de muita sorte por ter sido presenteado por Deus com uma família tão maravilhosa. Obrigado por tudo! O apoio de vocês foi fundamental. Essa conquista é nossa!

A presença tão bacana da minha madrinha Mirian e meu tio Borba na defesa, obrigado pela força e pelo carinho nesse dia. Muito obrigado!!!

Ao meu tio Tadeu e amigos de Araçatuba! Valeu galera! Estiveram presentes sempre!

Um grande beijo para uma menininha linda chamada Madalena, o titio que você ainda não conhece direito agradece pela enorme alegria que você proporcionou na família! Que Jesus te abençoe com muita saúde!

A minha noiva Camila! Se eu tivesse que escolher apenas um momento nesses seis anos de pós-graduação, então eu escolheria os dias de dezembro de 2007, quando uma pequena menininha resolveu fazer um “Studio de filmagem para larvinhas de tilápia”, não deu certo! Mas nos uniu para sempre! Te amo muito! Muito Obrigado! Principalmente pelas orações. Sem você esse dia talvez não existisse, ou então não seria tão importante.

E a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desse trabalho. Muito Obrigado!

ÍNDICE GERAL

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

Importância da espécie na aquicultura.....	01
Alimentos energéticos importantes para a aquicultura.....	02
Estrutura dos carboidratos.....	05
Carboidratos e amidos na nutrição de peixes.....	06
Processamento térmico de carboidratos.....	11
Referências.....	16

CAPÍTULO 2 – Caracterização nutricional de alimentos energéticos, antes e após a peletização ou extrusão.

Resumo.....	22
Abstract.....	23
Introdução.....	24
Material e Métodos.....	28
Resultados e discussões.....	33
Referências.....	48

CAPÍTULO 3 – Digestibilidade de nutrientes e tempo de trânsito gastrointestinal em juvenis de tilápia do Nilo alimentadas com dietas contendo alimentos energéticos peletizados, extrusados ou crus.

Resumo.....	53
Abstract.....	54
Introdução.....	55
Material e Métodos.....	57
Resultados.....	67
Discussões.....	74
Referências.....	81

CAPÍTULO 4 – Alimentos energéticos peletizados, extrusados ou crus para tilápia do Nilo: desempenho produtivo e composição corporal

Resumo.....	87
Abstract.....	88
Introdução.....	89
Material e Métodos.....	91
Resultados.....	99
Discussões.....	109
Referências.....	120

CAPÍTULO 5 – Variáveis metabólicas e atividade da amilase em tilápias do Nilo alimentadas com fontes de carboidratos peletizados, extrusados ou crus.

Resumo.....	125
Abstract.....	126
Introdução.....	127
Material e Métodos.....	129
Resultados.....	140
Discussões.....	148
Referências.....	160

CAPÍTULO 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS..... 166

ÍNDICE DE TABELAS

CAPÍTULO 2

Tabela 1- Valores de F para o efeito do processamento sobre a composição nutricional dos alimentos energéticos.....	34
Tabela 2- Médias de composição nutricional analisada para os conteúdos de matéria seca, proteína bruta, extrato etéreo, matéria mineral e energia bruta dos alimentos energéticos crus, peletizados ou extrusados.....	35
Tabela 3- Médias e intervalos de confiança para os carboidratos analisados do milho e farelo de trigo nos efeitos dos processamentos.....	39
Tabela 4- Médias e intervalos de confiança para os carboidratos analisados da quirera de arroz e sorgo nos efeitos dos processamentos.....	40

CAPÍTULO 3

Tabela 1- Composição químico-bromatológica analisada dos alimentos energéticos crus, peletizados e extrusados.....	58
Tabela 2- Formulação e composição da dieta de referência.....	59
Tabela 3- Composição analisada das dietas-teste.....	61
Tabela 4- Valores de F e médias para os coeficientes de digestibilidade aparente dos nutrientes para juvenis de tilápia do Nilo.....	68
Tabela 5- Médias de digestibilidade aparente de amido (%) na interação entre as fontes e os processamentos dos alimentos.....	69
Tabela 6- Tempos de trânsito em horas das dietas-teste no trato gastrointestinal de juvenis de tilápia do Nilo.....	70
Tabela 7- Valores de F, coeficientes de correlação e equações das análises de regressão polinomial, para o efeito da velocidade de trânsito gastrointestinal das diferentes dietas estudadas.....	71

CAPÍTULO 4

Tabela 1- Composição analisada dos alimentos energéticos crus, peletizados e extrusados.....	92
Tabela 2- Composição percentual das dietas-teste.....	94
Tabela 3- Composição analisada das dietas-teste.....	95

Tabela 4- Valores de F e médias das variáveis de desempenho produtivo de juvenis de tilápia do Nilo.....	101
Tabela 5- Médias de ganho em peso diário (g dia^{-1}) na interação observada entre os efeitos das fontes e dos processamentos dos alimentos.....	102
Tabela 6- Médias de consumo diário (g dia^{-1}) na interação observada entre os efeitos das fontes e dos processamentos dos alimentos	103
Tabela 7- Médias de índices de consumo ($\%\text{pv dia}^{-1}$) na interação observada entre os efeitos das fontes e dos processamentos dos alimentos.....	104
Tabela 8- Médias de TCE ($\%\text{ dia}^{-1}$) na interação observada entre os efeitos das fontes e dos processamentos dos alimentos.....	105
Tabela 9- Médias de TEP na interação observada entre os efeitos das fontes e dos processamentos dos alimentos.....	106
Tabela 10- Valores de F e médias das variáveis de composição corporal de juvenis de tilápia do Nilo.....	107
Tabela 11- Valores de F e médias das variáveis de eficiência nutricional de juvenis de tilápia do Nilo.....	108
Tabela 12- Médias de ERPB (%) na interação observada entre os efeitos das fontes e dos processamentos dos alimentos	109

CAPÍTULO 5

Tabela 1- Composição analisada dos alimentos energéticos crus, peletizados e extrusados.....	130
Tabela 2- Composição percentual das dietas-teste.....	131
Tabela 3- Composição analisada das dietas-teste.....	132
Tabela 4- Valores de F e médias das variáveis sanguíneas, teciduais e índices biométricos de juvenis de tilápia do Nilo.....	141
Tabela 5- Médias de consumo diário (g dia^{-1}) na interação observada entre os efeitos das fontes e dos processamentos dos alimentos.....	142
Tabela 6- Médias de glicogênio hepático (%) na interação observada entre os efeitos das fontes e dos processamentos dos alimentos.....	144
Tabela 7- Valores de F e médias da atividade amilásica do trato gastrointestinal de juvenis de tilápia do Nilo.....	146

Tabela 8- Médias de atividade amilásica do trato gastrintestinal (U mg ⁻¹ de proteína) na interação observada entre os efeitos das fontes e dos processamentos dos alimentos..	147
Tabela 9- Médias de atividade amilásica do trato gastrintestinal (U mg ⁻¹ de proteína) na interação observada entre os efeitos das fontes e das regiões do trato gastrintestinal.	148

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

Figura 1- Micrografias do milho cru (MC), peletizado (MP) e extrusado (ME), e do sorgo cru (SC), peletizado (SP) e extrusado (SE) observados em microscópio eletrônico de varredura.....	45
Figura 2- Micrografias do farelo de trigo cru (TC), peletizado (TP) e extrusado (TE), e da quirera de arroz cru (AC), peletizada (AP) e extrusada (AE) observados em microscópio eletrônico de varredura.....	46

CAPÍTULO 3

Figura 1- Médias de coeficientes de digestibilidade aparente do amido, no estudo da interação de fontes de carboidratos e processamentos de juvenis de tilápia.....	69
Figura 2- Curvas de tempo de trânsito gastrintestinal, para cada alimento em função do processamento realizado, relacionados com a velocidade de passagem do alimento pelo trato gastrintestinal, observados durante o tempo total de trânsito.....	73

CAPÍTULO 4

Figura 1- Médias de ganho em peso, no estudo da interação de fontes de carboidratos e processamentos de juvenis de tilápia.....	102
Figura 2- Médias de consumo diário, no estudo da interação de fontes de carboidratos e processamentos de juvenis de tilápia.....	103
Figura 3- Médias do índice de consumo, no estudo da interação de fontes de carboidratos e processamentos de juvenis de tilápia.....	104
Figura 4- Médias das taxas de crescimento específicas, no estudo da interação de fontes de carboidratos e processamentos de juvenis de tilápia.....	105
Figura 5- Médias das taxas de eficiência protéica, no estudo da interação de fontes de carboidratos e processamentos de juvenis de tilápia.....	106
Figura 6- Médias de eficiência de retenção de proteína, no estudo da interação de fontes de carboidratos e processamentos de juvenis de tilápia.....	109

CAPÍTULO 5

Figura 1- Médias de glicogênio hepático, no estudo da interação de fontes de carboidratos e processamentos de juvenis de tilápia.....	144
Figura 2- Médias de atividade amilásica, no estudo da interação de fontes de carboidratos e processamentos de juvenis de tilápia.....	147
Figura 3- Médias de atividade amilásica, no estudo da interação de fontes de carboidratos e região do trato gastrintestinal de juvenis de tilápia.....	148

Capítulo 1

CONSIDERAÇÕES GERAIS

Importância da espécie na aquicultura

A aquicultura mundial continua crescendo mais rapidamente que qualquer outro setor de produção animal e a expectativa é de que este crescimento continue, uma vez que a procura por alimentos saudáveis também vem aumentando em muitos países (ZIMMERMANN e FITZSIMMONS, 2004). No Brasil, a atividade aquícola comercial é muito variada, explorando cerca de duas dúzias de espécies de peixes, camarões e bivalves. Apesar disso, o maior volume de cultivo e comercialização é realizado com pequeno número de espécies, com destaque para a tilápia Nilótica (*Oreochromis niloticus*).

A produção mundial de tilápia em 2005 apresentou expressivo crescimento, ficando atrás apenas da taxa de crescimento da produção de camarões (FAO, 2006). O aumento da produção de tilápias nos últimos anos alcançou taxas de 6,7% da produção global de peixes cultivados e o Brasil encontra-se em sexto lugar na escala mundial dos maiores produtores deste peixe, responsável por 3,3% do total de sua produção (FAO, 2006).

O aumento de sua produtividade deve-se as características favoráveis à criação, entre elas: altas taxas de crescimento (HASSANIEN et al., 2004), principalmente nos machos (TOGUYÉNI et al., 2002), adequada conversão alimentar aparente (KUBITZA, 2000), resistência a doenças (PLUMB, 1997; ARDJOSOEDIRO e RAMNARINE, 2002), altas densidades (GALL e BAKAR, 1999), baixas concentrações de oxigênio dissolvido (EL-SAYED e KAWANNA, 2004) e a facilidade de obtenção de larvas (FURUYA et al., 2003). Adicionalmente, as tilápias possuem alta apreciação do consumidor ao sabor de sua carne, além da ausência de espinhos intramusculares em forma de “Y”

no seu filé (FURUYA et al., 2003). Nesse sentido, a necessidade constante de estudos que contribuam com o setor é indispensável, destacando-se os estudos de nutrição, visto que a alimentação de peixes representa os maiores custos de produção da aquicultura.

Alimentos energéticos importantes para a aquicultura

O estudo dos alimentos energéticos utilizados na nutrição animal tem importância econômica, uma vez que seus custos são bastante variáveis, a disponibilidade comercial não é constante e o aproveitamento dos seus nutrientes pelos animais é muito distinto. Além disso, ADAMS et al. (1988) relatam que a alimentação é o processo pelo qual o animal seleciona itens alimentares específicos dentre as fontes presentes no meio, sendo norteados pelos constituintes químicos do alimento e pela sua quimiosensibilidade. Os autores expõem a importância de conhecer os alimentos que apresentam maior aceitabilidade para cada espécie animal, no intuito de maximizar o aproveitamento dos nutrientes de cada alimento utilizado nas formulações de dietas.

Atualmente, a baixa disponibilidade e o alto custo de matérias-primas obrigam a procura por novas saídas para a alimentação animal. É sabido que, entre os diversos ingredientes utilizados nas rações animais, os cereais são os que participam em maior quantidade, contribuindo em cerca de dois terços do volume total das dietas balanceadas destinadas principalmente às espécies monogástricas. Dessa maneira, a indústria de ração animal se preocupa em produzir rações de alta qualidade nutricional e com custos acessíveis ao produtor (BUTOLO, 2002). Geralmente, são utilizados os subprodutos da

agroindústria para a produção de rações. Alimentos energéticos alternativos de menor custo, que estejam disponíveis na maior parte do ano e que sua utilização não prejudique a qualidade do produto final, são bastante explorados por estas indústrias.

Alguns alimentos se destacam pela sua qualidade como fonte de nutrientes ou pela quantidade de inclusão nas dietas, como é o caso do milho (*Zea mays L.*), um dos mais importantes cereais produzidos no mundo. No Brasil é bastante utilizado como fonte energética na alimentação animal, inclusive para a formulação de dietas para peixes. O milho possui alta concentração de amido, além de proteínas, óleos e vitaminas. As principais formas de amido encontradas no milho são a amilose (27%) e amilopectina (73%), encontrando-se num arranjo facilmente digerível para os animais. O principal substituto do milho na alimentação animal é o sorgo (*Sorghum bicolor L. Moench*), e apesar de ser considerado um alimento alternativo, o sorgo ocupa hoje o quinto lugar em área plantada no mundo, ficando atrás apenas das produções de trigo, arroz, milho e cevada. É utilizado como fonte energética em rações para quase todas as espécies animais de cultivo (BUTOLO, 2002).

O sorgo assemelha-se ao milho em sua composição química e em seu valor nutritivo, diferindo, principalmente, por apresentar maiores valores de proteína bruta e cinzas, e em valor de energia pouco menor que do milho. Contudo, em cultivares mais antigos eram considerados os níveis de tanino presente nos grãos de sorgo, que afetariam o consumo e a utilização de diversos nutrientes (ANDRIGUETO, 1990; BUTOLO, 2002).

O farelo de trigo (*Triticum sp*) também é uma boa alternativa ao milho na alimentação animal devido aos altos preços do milho, principalmente na entressafra. De acordo com o International Wheat Council (WARD, 1995), aproximadamente 20% do trigo produzido na safra 1993-94 foram destinados à alimentação animal. O farelo de trigo apresenta ainda altos valores de proteína bruta, maiores do que os encontrados no milho e no sorgo (ANDRIGUETO et al., 1990). No entanto, o farelo de trigo apresenta altos valores de fibra (muito superiores aos encontrados nos grãos de milho, sorgo e arroz), além de possuir em torno de 5 a 8% de pentosanas, que causam problemas de viscosidade na digesta.

Os compostos das pentosanas são os arabinoxilanos, que se ligam a outros componentes da parede celular, fazendo com que as células absorvam dez vezes mais água no intestino e, como consequência, aumenta a viscosidade do conteúdo intestinal. Além disso, o trigo também contém inibidores de α -amilase, que ainda não estão bem identificados. A presença desses fatores anti-nutricionais na parede celular de cereais como o trigo influencia negativamente o aproveitamento de nutrientes, seja por falta de enzimas endógenas para sua digestão, ou mesmo criando barreiras de ação das enzimas digestivas (BENDER, 1987; BUTOLO, 2002; SUZAKI, 2004). Adicionalmente, o farelo de trigo apresenta até 44% de polissacarídeos não amiláceos (PNA), enquanto que o milho e sorgo apresentam 8,0 e 2,8% de PNA totais, respectivamente, segundo SCHUTTE (1991).

O arroz (*Oryza sativa L.*) é um dos grãos mais produzidos em todo o mundo e utilizado principalmente para o consumo humano. Devido ao seu custo ser, em geral, maior que do milho, apenas os subprodutos de seu

beneficiamento são empregados na alimentação animal. O Sul do Brasil é uma região de grande produção de arroz, apresentando ampla oferta de quirera de arroz ao longo do ano. Esta oferta é constante e os preços são bem atrativos quando comparados a outros alimentos. A quirera de arroz é um subproduto do beneficiamento do arroz, constituída por grãos sem casca (polido) e quebrados. É relativamente pobre em óleo, mas apresenta-se como excelente fonte de carboidratos, com mais de 70% de amido na sua constituição (BUTOLO, 2002; SUZAKI, 2004).

Estrutura dos carboidratos

Os carboidratos são compostos orgânicos constituídos de carbono (C), hidrogênio (H) e oxigênio (O), produzidos na natureza pelas plantas por meio da fotossíntese. São os principais constituintes dos vegetais, compondo até 85% dos grãos, e representam a principal fonte energética presente na formulação de dietas utilizadas na nutrição animal (MELO, 1998). Abrangem desde monossacarídeos (glicose e frutose), oligossacarídeos ou carboidratos de cadeia curta compostos por dois até seis monossacarídeos (sacarose, maltose e celobiose), até polissacarídeos de alto peso molecular (amido) e os polissacarídeos não amiláceos – PNA (LINEBACK, 1986).

O amido é formado basicamente por dois polímeros: a amilose e a amilopectina. A amilose é uma molécula menor, formada por duzentas a vinte mil unidades de α -D-glicose unidas por ligações glicosídicas $\alpha 1 \rightarrow 4$, formando uma cadeia helicoidal não ramificada. A amilopectina é um homopolissacarídeo de cadeia ramificada, formada por dois a cinco milhões de moléculas de α -D-

glicose unidas por ligações glicosídicas $\alpha 1 \rightarrow 4$ e nos pontos de ramificação por ligações $\alpha 1 \rightarrow 6$ (LENINGER et al., 1993).

As proporções de amilose e amilopectina variam de acordo com a espécie de planta, idade e cultivares. A maior parte dos amidos está composta por 70-80% de amilopectina e 20-30% de amilose (GALLANT et al., 1992); no entanto, tal proporção varia para outras fontes, como o amido de mandioca, por exemplo, que está composto por aproximadamente 83% de amilopectina e 17% de amilose (GALLANT et al., 1992; INTERNATIONAL STARCH INSTITUTE, 2008). Existem ainda outras classes de amidos com proporções de amilopectina/amilose alteradas por mutações especiais das plantas (ex. milho ceroso ou “waxy”) que contêm unicamente cadeias ramificadas de amido que correspondem a quase 99% de amilopectina (INTERNATIONAL STARCH INSTITUTE, 2008). O International Starch Institute (2008) define a amilose como a responsável pela propriedade geleificante do amido, enquanto que a amilopectina é indicada como a responsável pela sua viscosidade. Segundo RAWLES e LOCHMANN (2003), essas diferenças estruturais que caracterizam os amidos podem estar associadas aos diferentes graus de digestão das fontes de carboidratos encontradas nos mamíferos e algumas espécies de peixes.

Carboidratos na nutrição de peixes

Os carboidratos constituem um dos três principais componentes das dietas de peixes (proteínas, lipídeos e carboidratos) sendo o principal componente energético das dietas juntamente com os lipídeos. Entretanto, o carboidrato é o nutriente mais controverso dentro da alimentação de peixes,

uma vez que não aparecem sintomas de deficiências carenciais quando está ausente na dieta, pelo que se poderia afirmar, inadvertidamente, que a exigência deste nutriente é nulo (WILSON, 1994). Essa afirmação pode ser entendida por meio da capacidade dos peixes de sintetizar glicose a partir de substratos diferentes dos carboidratos, como proteína e lipídeos, num processo denominado gliconeogênese, como forma de manter os níveis circulantes de glicose e transferir energia aos neurônios a partir de aminoácidos e triglicerídeos (TACON, 1989). A utilização de carboidratos por peixes cultivados tem despertado grande interesse na pesquisa e as investigações na área de nutrição têm abordado a capacidade de utilização deste nutriente em várias espécies, uma vez que o seu aproveitamento em peixes é bastante variável em função do hábito alimentar, constituição do trato digestório, clima da região, tipo de carboidrato e forma como é processado (NRC, 1993; WILSON, 1994; SHIAU, 1997; HEMRE et al., 2002).

O uso relativo dos carboidratos pelos peixes parece estar associado à complexidade de sua molécula, uma vez que certas espécies de peixes utilizam tanto açúcares simples quanto açúcares complexos, enquanto outras não utilizam nem mesmo os açúcares simples como fonte de energia. Em carpa comum (FURUICHI e YONE, 1986), tilápia do Nilo (ANDERSON et al., 1984), bagre do canal (WILSON e POE, 1987), e híbrido de tilápia (*Oreochromis niloticus* x *O. aureus*) (TUNG e SHIAU, 1991) foram observadas maiores taxas de crescimento em peixes alimentados com dietas contendo amido do que com dietas contendo glicose pura, enquanto que peixes carnívoros como salmão e truta, digeriram melhor os carboidratos simples (HEPHER, 1988).

A tilápia é um modelo interessante para o estudo do metabolismo de carboidratos, pois embora considerada fitoplancctófaga, pode alimentar-se de grande variedade de alimentos naturais, incluindo invertebrados aquáticos, larvas de peixes, detritos, matéria orgânica em decomposição, apresentando grande capacidade de aceitar alimentação artificial, seja na forma farelada, peletizada ou extrusada, sugerindo que a espécie possua mecanismos enzimáticos bem desenvolvidos para utilização de carboidratos (GALLI e TORLONI, 1984; LOVSHIN e CYRINO, 1998).

LIN et al. (1997) avaliaram estratégias alimentares e dois graus de complexidade de carboidratos (amido e glicose) em esturjão branco (*Acipenses transmontanus*) e híbrido de tilápia (*Oreochromis niloticus* e *O. aureus*). Os autores observaram que o híbrido de tilápia utilizou mais eficientemente o amido em relação à glicose, com melhores resultados de ganho em peso, eficiência alimentar e taxa de eficiência protéica. Similarmente, WANG et al. (2005) observaram para o mesmo híbrido de tilápia alimentado com níveis crescentes de amido de milho (6, 14, 22, 30, 38 e 46%), que os níveis de 22 até 46% de amido foram melhores para as variáveis de desempenho, em relação às dietas com 6 e 14% de inclusão, e que não diferiram estatisticamente entre si. Entretanto, o conteúdo lipídico na carcaça foi maior com o aumento dos níveis de amido.

Amidos de cereais como milho e trigo são extensivamente usados como ingredientes na alimentação de peixes (VENOU et al., 2003). Estudos das propriedades nutricionais do grão inteiro e do amido puro para salmonídeos têm mostrado que existem diferenças nas duas formas quanto à digestibilidade (BERGOT e BREQUE, 1983), taxa de absorção de glicose e valores

nutricionais para os peixes (ARNESEN e KROGDAHL, 1993). MUÑOZ-RAMÍREZ (2005), utilizando 40% de carboidratos com diferentes graus de complexidade, observou no pacu (*Piaractus mesopotamicus*), melhores resultados de desempenho com o uso de dietas com amido de milho e fécula de mandioca geleificada, embora esta última tenha promovido aumento nos teores de gordura corporal. De acordo com MUÑOZ-RAMÍREZ (2005), o uso do amido “waxy”, caracterizado por ter 99% de amilopectina, mostrou que o pacu tem dificuldade para aproveitar dietas com alto teor de moléculas ramificadas: o coeficiente de digestibilidade aparente da matéria seca (MS) foi de 46,5%. SPANNHOF e PLANTIKOW (1983) sugeriram que o baixo aproveitamento de carboidratos com alto teor de amilopectina em dietas para truta arco-íris é provocado pela adsorção que a α -amilase sofre pelas moléculas complexas de amido, inibindo dessa maneira a hidrólise.

FEDRIZI (2005), estudando a digestibilidade de alimentos energéticos crus ou processados por peletização ou extrusão em pacu, não observou diferenças significativas na digestibilidade de carboidratos para os alimentos processados por peletização ou extrusão, com exceção do farelo de trigo cru que apresentou menor digestibilidade aparente de carboidratos. Mais recentemente, BALDAN (2008), avaliando a tolerância de carboidratos em juvenis de pacu, utilizou amido de milho pré-geleificado (16,6; 22,4 e 38,8% de inclusão na dieta) e observou que os peixes alimentados com o maior nível de inclusão de amido apresentaram melhor taxa de conversão alimentar e de eficiência protéica, além de alta digestibilidade de proteína e amido. Para o ganho em peso não foram encontradas diferenças.

Quando ingeridos, os carboidratos são convertidos principalmente em glicose que é prontamente absorvida (HEPHER, 1988). Contudo, em estudo realizado com nove espécies de peixes, incluindo onívoros, carnívoros e herbívoros, foi observado que a taxa de transporte da glicose variou 200 vezes entre as espécies, sendo mais baixa em carnívoros, como a truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*), média em onívoros como o bagre do canal (*Ictalurus punctatus*) e alta em herbívoros como a carpa capim (*Ctenopharyngodon idella*) (HALVER, 1988). Desse modo, pode-se inferir que o metabolismo de carboidratos nos peixes parece ter inúmeras contradições: não somente a digestibilidade dos carboidratos nos peixes carnívoros é baixa, mas também em alguns peixes onívoros e herbívoros ela se apresenta reduzida. Embora isso seja verdade para os peixes, vários estudos mostraram que peixes onívoros e herbívoros adaptam-se a dietas com alto nível de carboidrato. Entretanto, a despeito de sua alta habilidade de adaptação para maiores níveis de carboidrato na dieta, existe a quantidade limite que o peixe pode fisiologicamente suportar (Shimeno et al., 1981 citados por HEPHER, 1988).

Outra variável que influencia fortemente, tanto a digestão como a absorção de alimentos, é a velocidade de passagem ou o tempo de trânsito do alimento pelo trato digestório. SHIAU (1997) afirma que a absorção dos nutrientes depende do tempo em que os mesmos estão em contato com o epitélio de absorção; dessa forma, e de acordo com ZIMMERMANN e JOST (1998), a dieta que tem alta velocidade de passagem pelo trato digestório pode resultar em baixo aproveitamento do alimento, pois o mesmo permanece tempo insuficiente para sofrer o processo de digestão e absorção.

Por outro lado, tempo excessivo de permanência do alimento no trato digestório levaria ao menor desempenho do animal, pelo fato de ele ocupar o espaço que poderia estar sendo ocupado pelo novo alimento. Nesse sentido, outro fator importante e que pode influenciar diretamente a velocidade de trânsito e, portanto, a digestão e a absorção, é a manipulação dos alimentos. Assim, analisando as alterações que ocorrem nos alimentos processados, como a solubilização de fibras (VRANJES et al., 1995) e várias outras alterações nas propriedades físico-químicas que ocorrem nos alimentos devido ao tratamento térmico (TH, 1990), pode-se pressupor que alterações ocorram no tempo de trânsito gastrointestinal de peixes alimentados com alimentos processados.

De modo geral, diversos estudos com carboidratos já foram realizados para diversas espécies de peixes, os quais encontraram variações nos resultados em consequência de diferentes fatores, tais como: fotoperíodo (HEMRE et al., 2002), temperatura (HEMRE et al., 1995), níveis e fontes de carboidratos (BERGOT e BREQUE, 1983; HUNG, 1991 e HEMRE e HANSEN, 1998) e processamento dos ingredientes (MOHAPATRA et al., 2003). Dessa forma, o aproveitamento do amido em peixes pode estar relacionado com sua origem botânica, relação amilose/amilopectina, forma física e o tipo de processamento do amido, assim como interações ocorridas entre esta substância e outros constituintes do alimento (BJÖRCK et al., 1994 e 1989; GRANFELDT et al., 1993; SKRABANJA, 1998).

Processamento térmico de carboidratos

Diversos tratamentos químicos e físicos, tais como extrusão e peletização, são utilizados no processamento de rações, com o objetivo de incrementar a eficiência de sua utilização, aproveitando melhor o potencial do animal. A peletização é um processo que consiste em compactar mecanicamente a ração dentro de uma câmara de prensagem, forçando a passagem da mistura de ingredientes que compõe a mesma, por meio de orifícios existentes em um anel externo chamado de matriz (COELHO, 1997). A matéria-prima utilizada neste processo passa por aquecimento entre 60 a 90°C, durante o atrito mecânico sofrido pela prensagem da ração e pelo uso prévio de vapor (MILLÁN et al., 1987). A peletização propicia maior uniformidade à ração, melhor aceitação dos ingredientes, reduz perdas e lixiviação de seus nutrientes e possibilita a destruição parcial de alguns fatores anti-nutricionais (KUBITZA, 1997).

No processo de extrusão ocorre o cozimento utilizando alta pressão (30 a 60 atm), umidade controlada e temperatura elevada (em torno de 150°C), resultando na explosão e expansão da mistura dos ingredientes. Essa elevação da pressão e temperatura de extrusão promove baixa densidade da ração e faz com que flutue (KUBITZA, 1998).

A extrusão propicia maior estabilidade em água e menor perda de nutrientes por lixiviação, comparadas às rações peletizadas. O amido não processado é insolúvel em temperatura ambiente (VAN SOEST, 1994) e quando é aquecido em água a temperatura mínima de 60°C ocorre alteração irreversível. Os grânulos de amido expandem com a entrada da água, a amilose se solubiliza e as cadeias de amilopectina se quebram facilmente (VAN

SOEST, 1994), promovendo a ruptura da estrutura granular, hidratação e solubilização do amido. A esse processo dá-se o nome de geleificação do amido (BILIADERIS et al., 1991). Com a geleificação do amido, a digestibilidade do produto extrusado aumenta, além de facilitar o manejo e inativar fatores anti-nutricionais (ALBUQUERQUE, 1985).

Segundo MESTRES (1996), as propriedades funcionais e nutricionais do amido são em grande parte devidas ao estado físico do alimento, que muda durante a cocção. O processamento da dieta, que inclui moagem e calor, aumenta a eficiência de digestão do amido pelos peixes (KAUSHIK e OLIVATELES, 1985), enquanto que amidos crus geralmente apresentam baixa digestibilidade (WILSON, 1994).

Entretanto, cuidados devem ser tomados quando se processa a dieta; FELLOWS (1992) citou que, para os limites de temperatura, devem ser considerados, principalmente, os aminoácidos. A degradação de lisina, cistina e metionina varia entre 50 e 90%, dependendo das condições de processamento, corroborando as afirmações de CAMIRE (1991), de que a intensidade da desnaturação da proteína aumenta com a baixa velocidade da rosca do canhão da extrusora e com baixo teor de umidade. Da mesma maneira, alterações físicas e químicas, benéficas ou não, podem ocorrer com outros nutrientes.

No caso do amido, se a temperatura não for suficiente para promover a geleificação total do mesmo, durante o resfriamento pode ocorrer reassociação das ligações, conhecida como retrogradação, que pode levar à formação de amidos resistentes à degradação por amilases. A amilose é especialmente sensível a retrogradação, já que a amilopectina, por conter cadeia mais

complexa, apresenta limitada capacidade de reassociação de sua estrutura química (VAN SOEST, 1994).

Normalmente, amidos provenientes de leguminosas apresentam maior quantidade de amilose e, conseqüentemente, são mais sensíveis à formação de amidos resistentes, o que pode ocasionar menor digestão e absorção em relação aos amidos de cereais (LEE et al., 1985).

FEDRIZI (2005), estudando a digestibilidade de alimentos energéticos crus ou processados por peletização ou extrusão para pacu, observou menores coeficientes de digestibilidade da proteína, lipídeos e energia bruta para todos os alimentos energéticos extrusados. O autor sugeriu que alterações durante o processamento podem ter diminuído o aproveitamento dos nutrientes desses alimentos. ANTONIO (2004), que estudou os coeficientes de digestibilidade aparente de ingredientes energéticos, protéicos de origem vegetal e protéicos de origem animal para tilápia do Nilo, encontrou médias de digestibilidade aparente de proteína bruta semelhantes para milho peletizado e extrusado (85,3 e 85,1%, respectivamente) e, para alguns alimentos extrusados, as médias dos CDa dos nutrientes foram inferiores quando comparado com as médias dos alimentos peletizados.

Existe carência de informações sobre as possíveis alterações físico-químicas que ocorrem nas fontes de carboidratos submetidas a algum tipo de tratamento térmico e a possível relação com o aproveitamento do amido pelos peixes, antes e após o processamento.

No caso específico da tilápia, a utilização quantitativa e qualitativa das fontes de energia é fundamental, pois segundo TOLEDO (2004), é comum encontrar peixes em cultivo intensivo, apresentando hipertrofia do fígado,

descoloração hepática, ou ainda, acúmulo de gordura visceral. Uma hipótese para este fato é que os produtos depois de processados podem estar disponibilizando mais energia de alguns ingredientes e/ou resultando na perda de valor nutricional por degradação, provocando dessa maneira, desequilíbrio nas relações entre os nutrientes da ração, considerando que as formulações são baseadas, na sua maioria, na composição dos ingredientes na forma natural, isto é, sem considerar o cozimento e as interações entre os ingredientes durante o processo de extrusão ou peletização.

Este estudo teve como objetivo verificar a utilização do amido de quatro alimentos energéticos (milho, farelo de trigo, quirera de arroz e sorgo) peletizados, extrusados ou crus em dietas para juvenis de tilápia do Nilo, mediante a avaliação das características físico-químicas das fontes de carboidratos, antes e após serem submetidas aos tratamentos térmicos, e também por meio da determinação dos seus coeficientes de digestibilidade aparente, tempo de trânsito gastrointestinal, desempenho produtivo, metabolismo intermediário e atividade amilásica dos peixes.

Referências

- ADAMS, M.A., JOHNSEN, P.B., HONG-QI, Z. Chemical enhancement of feeding for the herbivorous fish *Tilapia zillii*. **Aquaculture**, v. 72 (1) p. 95-107, 1988.
- ALBUQUERQUE, C. A. N. **Desempenho de um extrusor nacional com base na caracterização física e físico-química de produtos extrusados de milho**. 1985. Dissertação (Mestrado) – ESAL, Lavras, 1985.
- ANDERSON, J. Effects of dietary carbohydrates' and fiber on the tilapia, *Oreochromis niloticus* (Linn.). **Aquaculture**, Amsterdam, v.13, p.265-272, 1984.
- ANDRIGUETO, J. M.; PERLY, L.; MINARDI, I. **Nutrição animal**. São Paulo: Nobel, 1990.
- ANTONIO, C. **Efeito da extrusão e da peletização sobre a digestibilidade da fração protéica e da energia de alimentos para juvenis de tilápia do Nilo**. 2004. Monografia (graduação em Zootecnia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Jaboticabal, 2004.
- ARDJOSOEDIRO, I.; I.W. RAMNARINE. The influence of turbidity on growth, feed conversion and survivorship of the Jamaica red tilapia strain. **Aquaculture**, 212, p.159–165, 2002.
- ARNESEN, P., KROGDAHL, A., Crude and pre-extruded products of wheat as nutrient sources in extruded diets for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) grown in sea water. **Aquaculture** 118, 105–117, 1993.
- BALDAN, A. P. **Avaliação da tolerância do pacu *Piaractus mesopotamicus* a carboidratos**. 2008. 119f. Tese – (Doutorado em Aquicultura) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.
- BENDER, A.E. **Effects on nutritional balance: antinutrients**. In: WATSON, D.H. **Natural toxicants in food: progress and prospects**. London : Ellis Horwood International Publishers, 1987. p.110-124.
- BERGOT, F.; BREQUE, J. Digestibility of starch by rainbow trout: Effects of the physical state of starch and of the intake level. **Aquaculture**, v. 34, p. 203-212, 1983.
- BILIADERIS, C.J. The structure and interactions of starch with food constituents. **Canadian Journal of Physiology and Pharmacology**. V. 69, p. 60-78, 1991.

BJÖRCK, I., GRANFELDT, Y., LILJEBERG, H., TOVAR, J., ASP, N.G. Food properties affecting the digestion and absorption of carbohydrates. **American Journal of Clinical Nutrition**. **59** (supplement), 699S-705S, 1994.

BJÖRK I, GUNNARSSON A, OSTERGARD K. A study of native and chemically modified potato starch. **Starch/Stärke** 1989; 41:128-34.

BUTOLO, J. E. **Qualidade de ingredientes na alimentação animal**. Campinas: Editado por Colégio Brasileiro de nutrição animal, 2002.

CAMIRE, M.E. Protein functionality modification by extrusion cooking. **JAOCS**. v.68, p.200-205, 1991.

COELHO, S. R. C. **Situação atual e perspectivas da indústria de rações para organismos aquáticos em 1997**. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E NUTRIÇÃO DE PEIXES, 1997, Piracicaba. **Anais...**Campinas: CBNA, 1997. p.102-116.

EL-SAYED, A.M.; M. KAWANNA. Effects of photoperiod on the performance of farmed Nile tilapia *Oreochromis niloticus*: I. Growth, feed utilization efficiency and survival of fry and fingerlings. **Aquaculture**, 231, p.393–402, 2004.

FAO. **Fisheries and aquaculture information and statistic service: 2006: aquaculture production: 1950–2006**: FISHSTAT Plus: universal software for fishery statistical time series.

FEDRIZI, L. F. B. **Efeito do processamento de alimentos energéticos sobre o tempo de trânsito gastrointestinal e a digestibilidade de nutrientes e energia em juvenis de pacu, *Piaractus mesopotamicus***. 2005. 50f. Dissertação - (Mestrado em Aquicultura) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2005.

FELLOWS, P. Extrusion. In: FELLOWS, P. **Food processing technology: principles and practice**. New York: Ellis Horwood, 1992. p.267-77.

FURUICHI, M. e YONE, Y. Availability of carbohydrate in nutrition of carp and red seam bream, **Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.**, Tokyo, v. 48, p. 945-8, 1986.

FURUYA, W. M.; SILVA, L. C.; HAYASHI, C.; FURLAN, A. C.; NEVES, P. R.; BOTARO, D.; SANTOS, V. G. Substituição do milho pela silagem de sorgo com alto e baixo teor de tanino em dietas para juvenis de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 25, n. 2, p. 243-247, 2003.

GALL, G.A.E.; Y. BAKAR. Stocking density and tank size in the design of breed improvement programs for body size of tilapia. **Aquaculture**. 173, p.197–205, 1999.

GALLANT, D.J. et al. Physical characteristics of starch granules and susceptibility to enzymatic degradation. **European Journal of Clinical Nutrition**, London, v. 46, suppl. 2, p. S3-S16, 1992.

GALLI, L.F. & TORLONI, C.E. **Criação de Peixes**. 3.ed. São Paulo, Nobel, 1984. 118p.

GRANFELDT YE, DREWS AW, BJÖRCK IME. Starch bioavailability in arepas from ordinary or high amylose corn: concentration and gastrointestinal fate of resistant starch in rats. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v.123, p.1676-84, 1993.

HALVER, J.E. (Ed.). **Fish nutrition**. 2 ed. London: Academic Press, 1988. 798 p.

HASSANIEN, H.A., M. ELNADY; A. OBEIDA; H. ITRIBY. Genetic diversity of Nile tilapia populations revealed by randomly amplified polymorphic DNA (RAPD). **Aquaculture Research**. 35, p.587-593, 2004.

HEMRE, G.-I. & HANSEN, T. Utilization of different dietary starch sources and tolerance to glucose loading in Atlantic salmon during parr - smolt transformation. **Aquaculture**, v. 161, 145-157, 1998.

HEMRE, G.-I., SANDNES, K., LIE, Ø., TORRISSEN, O., WAAGBØ, R. Carbohydrate nutrition in Atlantic salmon *Salmo salar* L., growth and feed utilization. **Aquaculture Research**, v. 26, p. 149– 154, 1995.

HEMRE, G.I., MOMMSEN, T.P., KROGDAHL, A. Carbohydrates in fish nutrition: effects on growth, glucose metabolism and hepatic enzymes. **Aquaculture Nutrition** v. 8, p. 175-194, 2002.

HEPHER, B. **Nutrition of pond fishes**. Cambridge. Cambridge University Press, 1988.

HUNG, S.S.O. Carbohydrate utilization by white sturgeon as assessed by oral administration tests. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 121, p. 1600-1605, 1991.

INTERNATIONAL STARCH INSTITUTE. **Starch & sweetener dictionary**. Disponível em: <<http://www.starch.dk/isi/starch/glosary.htm>>. Acesso em: 12 outubro. 2008.

KAUSHIK, S.J. & OLIVA-TELES, A. Effect of digestible energy on nitrogen and energy balance in rainbow trout. **Aquaculture**, v. 50, p. 89 – 101, 1985.

KUBITZA, F. **Qualidade do alimento, qualidade da água e manejo alimentar na produção de peixes em 1997**. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E

NUTRIÇÃO DE PEIXES, 1997, Piracicaba. **Anais...** Campinas: CBNA, 1997. p.63-101.

KUBITZA, F. **Qualidade da água na produção de peixes**. Campo Grande: [s.n.], 1998. 60p. Apostila.

KUBITZA, F. **Tilápia: tecnologia e planejamento na produção comercial**. Jundiaí, 2000. 285p.

LEE, P.C., BROOKS, S.P., KIM, O. Digestible of native and modified starches: in vitro studies with human and rabbit pancreatic amylases and vivo studies in rabbits. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 115, 1985.

LENINGER, A.L., NELSON, D.L., COX, M.M. **Carbohydrates**. In: LENINGER, A.L.; NELSON, D.L.; COX, M.M. Principles of biochemistry. 2. ed. New York: Worth, 1993. 298 - 323.

LIN, J.H.; CUI, Y.; HUNG, S.O.; SHIAU, S.Y. Effect of feeding strategy and carbohydrate source on carbohydrate utilization by white sturgeon (*Acipenser transmontanus*) and hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* x *O. aureus*). **Aquaculture**, Amsterdam, v. 148, p. 201-211, 1997.

LOVSHIN, L.L.; CYRINO, J.E.P. Status of commercial fresh water fish culture in Brazil. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E NUTRIÇÃO DE PEIXES, 2., 1998, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: CBNA, 1998. p.1-20.

MELO, W.J. et al. **Carboidratos**. Jaboticabal: Funep, 1998. 214 p.

MESTRES, C. Los estados fisicos del almidon. In: CONFERENCIA INTERNACIONAL DE ALMIDÓN, 1996, Quito. **Anais...** Quito, 1996. p.2.

MILLÁN, L. M.; HERRERO, A. V.; GUERRERO, I. C. **Tecnología de fabricación de piensos para la acuicultura em 1987**. In: MONTEROS, J. E. DE LOS.; LABARTA, U. ALIMENTACION EM AQUICULTURA, 1987, Madri: Comisión Asesora de Investigación Científica y Técnica, 1987. p.131-166.

MOHAPATRA, M.; SAHU, P.; CHAUDHARI, A. Utilization of gelatinized carbohydrate in diets of *Labeo rothia* fry. **Aquaculture Nutrition**, Oxford, v.9, p.189-196, 2003.

MUÑOZ-RAMÍREZ, A. P. **Utilização de carboidratos digestíveis em dietas para pacu, *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887)**. 2005, 123p. Tese (Doutorado em Aquicultura) – Centro de Aquicultura da Unesp, Jaboticabal, 2005.

NRC (National Research Council), **Nutrient requirement of fish**. National Academy Press, Washington, DC. 1993. 114p.

PLUMB, J.A. Infectious diseases of tilapia. In: COSTA-PIERCE, B.A., RAKOCY, J.E. **Tilapia Aquaculture in the Americas, vol. 1.** World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, p.212– 228, 1997.

RAWLES, S.; LOCHMANN, R. Effects of amylopectin/amylose starch ratio on growth, body composition and glycemic response of sunshine bass (*Morone chrysops* x *M. saxatilis*). **Journal of the World Aquaculture Society**, Baton Rouge, v. 34, n. 3, p. 278- 288, 2003.

SCHUTTE, J.B. **Nutritional value and physiological effects of D-xylose and L-arabinose in poultry and pigs.** Wageningen: Wageningen Agricultural University, 173p. 1991. Thesis (Doctor) - Wageningen Agricultural University, 1991.

SHIAU, S.Y. Utilization of carbohydrates in warm water fish- with particular reference to tilapia, *Oreochromis niloticus* X *O. aureus*. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 151, 79-96, 1997.

SHIMENO, S., TAKEDA, M., TAKAYAMA, S., FUKUI, A., SASAKI, H. e KAJIYAMA, H. Adaptation of hepato-pancreatic enzymes to dietary carbohydrate in carp. **Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.**, v. 47. Tokyo: 1981, p. 71-7.

SKRABANJA V, KREFT I. Resistant starch formation following autoclaving of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) groats an *in vitro* study. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** v. 46 p. 2020-23, 1998.

SPANNHOF, L.; PLANTIKOW, H. Studies on carbohydrate digestion in rainbow trout. **Aquaculture**, v.30, p.95-108, 1983.

SUZAKI, R. **Socil Guyomarc'h Nutrição animal, adaptado de Commercial Poultry Nutrition, Steven Leeson e John D. Summers**, 2004. Disponível em <<http://www.socil.com.br>>. Acesso em:jul. 2004.

TACON, A. G. J. **Nutrición y alimentación de peces y camarones cultivados. Manual de capacitación.** Brasília: FAO, 1989.

TH, J. Residence time distributions in twin-screw cooking extruders. In: SPIESS, W. E. L.; SCHUBERT, H. ENGINEERING AND FOOD ADVANCED PROCESS, 1990, New York. **Anais...** New York: Elsevier Applied Science, 1990. p.290-297.

TOGUYENI, A.; B. FAUCONNEAU; A. FOSTIER; J. ABUCAY; G. MAIR; J.F. BAROILLER. Influence of sexual phenotype and genotype, and sex ratio on growth performances in tilapia, *Oreochromis niloticus* **Aquaculture**, 207, p.249–261, 2002.

TOLEDO, M.P. **Processamentos de dietas práticas com diferentes fontes de energia para o crescimento e a digestibilidade da tilápia do Nilo.** 2004,

33p. Tese (Doutorado) - Centro de Aquicultura - UNESP, Jaboticabal, São Paulo, Jaboticabal, 2004.

TUNG P. H.; SHIAU S. Y. Effects of meal frequency on growth performance of hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* x *O. aureus*, fed different carbohydrate diets. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 92, p. 343-350, 1991.

VAN SOEST, P. J. et al. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and no starch polysaccharides in relation to animal nutrition. In: SYMPOSIUM CARBOHYDRATE METHODOLOGY, METABOLISM, AND NUTRITIONAL IMPLICATIONS IN DAIRY CATTLE. **Journal of Dairy Science**, Savoy, v.74, n.10, 1994. p. 3583-3597.

VENOU, B., ALÉXIS, M. N., FOUNTOULAKI, E., NENGAS, I., APOSTOLOPOULOU, M., CASTRITSI-CATHARIOU, I. Effect of extrusion of wheat and corn on gilthead sea bream (*Sparus aurata*) growth, nutrient utilization efficiency, rates of gastric evacuation and digestive enzyme activities. **Aquaculture** v. 225, p. 207-223, 2003.

VRANJES, M. V.; PFIRTER, H. P.; WENK, C. Influence of processing on dietary enzyme effect and nutritive value of diets for laying hens. **Canadian Journal of Animal Science**, Canada, v.75, p.453-460, 1995.

WANG, Y. Effects of dietary carbohydrate level on growth and body composition of juvenile tilapia, *Oreochromis niloticus* x *O. aureus*. **Aquaculture Res.**, Oxford, v. 36, p. 1408-1413, 2005.

WARD, N.E. With dietary modifications, wheat can be used for poultry. **Feedstuffs**, 67(33):14-15, 1995.

WILSON, R.P.; POE, W.E. Apparent inability of channel catfish to utilize dietary mono and disaccharides as energy sources. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 117, p. 280- 285, 1987.

WILSON, R.P. Utilization of dietary carbohydrate by fish. **Aquaculture**, Amsterdam, v.124, p. 67-80, 1994.

ZIMMERMANN, S; FITZSIMMONS, K. Tilapicultura intensiva. In: CYRINO, J.E.P.; URBINATI, E.C.; FRACALOSSO, D. M.; CASTAGNOLLI, N. **Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva**. São Paulo: Tecart, 2004. p.239-266.

ZIMMERMANN, S.; JOST, H.C. Recentes avanços na nutrição de peixes: a nutrição por fases em piscicultura Intensiva. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E NUTRIÇÃO DE PEIXES, 1., 1998, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Conselho Brasileiro de Nutrição Animal, 1998. p.123-162.

Capítulo 2

Caracterização nutricional de alimentos energéticos, antes e após a peletização ou extrusão

Resumo

O processamento dos alimentos e rações, tais como extrusão e peletização, cada vez mais fazem parte de qualquer produção de ração animal. Nesse sentido, o conhecimento das alterações químico-bromatológicas no alimento submetido ao processamento é imprescindível para a correta suplementação das exigências nutricionais das espécies animais, além de buscar as melhores condições de processamento na tentativa de minimizar degradações e perdas de biodisponibilidade dos nutrientes de alimentos submetidos a tratamento térmico. O objetivo deste estudo foi caracterizar a composição de nutrientes de alimentos energéticos utilizados na nutrição animal (milho, farelo de trigo, quirera de arroz e sorgo), antes e após serem submetidos ao processamento por peletização ou extrusão. Foram analisados proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), matéria mineral (MM), energia bruta (EB), fibra bruta (FB), fibra em detergente neutro (FDN), açúcares solúveis (AS), amido (AMD), amilose (AML), amilopectina (AMP). A geleificação do amido foi observada por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV). Além disso, foram comparadas a metodologia de Weende, pela equação do extrativo não nitrogenado (ENN) e a de Van Soest, pela equação dos carboidratos não fibrosos (CNF), para fracionamento e determinação dos carboidratos digeríveis. Os resultados demonstraram diferenças na determinação de carboidratos (CHO) por ambas as metodologias, com superestimação de CHO digerível quando se utiliza a metodologia de Weende. A extrusão dos alimentos energéticos provocou diminuição dos teores de PB, EE e FDN no farelo de trigo, com tendência ao mesmo comportamento para os demais alimentos. Não foram observadas diferenças na análise dos alimentos peletizados, quando comparados com os crus. As micrografias de MEV mostraram maiores áreas de geleificação nos alimentos extrusados, principalmente no sorgo e quirera de arroz.

Palavras chave: ingredientes energéticos; processamento; composição nutricional; carboidratos; amido.

Abstract

The processing of animal foods, as extrusion and pelletization, take part in all production of animal foods more and more. Therefore, it is very important to know about the chemical-bromatologic changes in the source which was put in a processing for the correct supplementation of the nutritional needs of the species. Also, it allows to find better conditions of processing in the attempt of decreasing degradations and losses of bioavailability of the nutrients in the foods submitted in a thermal treatment. The objective of this study was to characterize the composition of nutrients in the energetic sources which were used in the animal nutrition (corn, wheat meal, broken rice or sorghum), before and after of being submitted to the processing by pelletization and extrusion. There were analyzed the crude protein (CP), ether extract (EE), mineral matter (MM), crude energy (CE), crude fiber (CF), fiber in neutral detergent (FND), soluble sugars (SS), starch (ST), amylose (AML), amylopectin (AMP). The gelatinization of the starch there were observed by scanning electron microscopy (SEM). Also, the methodology of Weende by equation of the non-nitrogen extract (NNE) and the methodology of Van Soest by equation of the nonfiber carbohydrates (NFC) were compared for fractionation and determination of the digestible carbohydrates. The results showed difference in the determination of carbohydrates (CHO) in both methodologies, with overestimation of the digestible CHO when it is utilized in the methodology of Weende. The extrusion of the energetic sources caused decrease on CP, EE and FND in the wheat meal, with tendency of the same behaviour to the other sources. However, in the analysis of the pelletized sources, no differences were observed, if compared with the crude ones. The micrographs of SEM showed larger areas of gelatinization to extruded sources, especially in the sorghum and broken rice.

Key words: energetic ingredients; processing; nutritional composition; carbohydrates; starch.

Introdução

A indústria de ração animal preocupa-se em produzir rações com qualidade nutricional e custos acessíveis ao produtor. Geralmente, são utilizados os subprodutos da agroindústria para a produção de rações. Alguns alimentos energéticos alternativos de menor custo, que estejam disponíveis na maior parte do ano e que sua utilização não prejudique a qualidade do produto final, são bastante explorados por esta indústria.

Ao se formular e confeccionar uma dieta, além do balanço nutricional, deve-se buscar o seu processamento adequado, de modo a apresentar as propriedades físicas desejáveis, as quais permitam o rápido consumo e máxima utilização pelos animais (NRC, 1993).

Nesse sentido, o conhecimento das alterações químico-bromatológicas no alimento submetido ao processamento, é imprescindível para o correto atendimento das exigências nutricionais das espécies e categoria animal, além de colaborar para a escolha do tipo de processamento mais adequado (BERTIPAGLIA et al., 2008).

O desenvolvimento das tecnologias de processamento dos alimentos e rações tais como extrusão e peletização (HAYASHI, 2001), tem crescido consideravelmente nos últimos anos e tem sido um dos fatores que auxiliaram a consolidação da produção de dietas comerciais na nutrição animal (BOOTH et al., 2000).

A peletização é um processo que consiste na compactação mecânica da ração dentro de uma câmara de prensagem, forçando a passagem da mistura de ingredientes que compõe a mesma, por meio de orifícios existentes em um anel externo chamado de matriz (COELHO, 1997). A matéria-prima utilizada

neste processo passa por aquecimento entre 60 a 90°C, pelo atrito mecânico sofrido durante a prensagem da ração e pelo uso prévio de vapor (MILLÁN et al., 1987). A peletização propicia maior uniformidade à ração, melhora a palatabilidade e conseqüentemente a aceitação dos ingredientes, reduz perdas e lixiviação de seus nutrientes e possibilita a destruição parcial de alguns fatores anti-nutricionais (KUBITZA, 1997).

No processo de extrusão, ocorre o cozimento utilizando alta pressão (30 a 60atm), umidade controlada e temperatura elevada (em torno de 150°C), resultando na explosão e expansão da mistura dos ingredientes. Essa combinação de calor, umidade, pressão e trabalho mecânico modificam profundamente as matérias primas, dando-lhes novas formas, estruturas e características funcionais e nutricionais (EL-DASH, 1982; ICTA, 2007).

Alguns alimentos energéticos utilizados na aquicultura destacam-se pela sua qualidade como fonte de nutrientes ou pela quantidade de inclusão nas rações, como é o caso do milho (*Zea mays L.*), um dos mais importantes cereais produzidos no mundo. O principal substituto do milho na alimentação animal é o sorgo (*Sorghum bicolor L. Moench*), e apesar de ser considerado alimento alternativo, o sorgo ocupa hoje o quinto lugar em área plantada no mundo (BUTOLO, 2002). O farelo de trigo (*Triticum sp*) também é boa alternativa ao milho na alimentação animal devido aos altos preços do milho, principalmente na entressafra (SUZAKI, 2004).

O arroz (*Oryza sativa L.*) é um dos grãos mais produzidos em todo o mundo. Durante o beneficiamento deste cereal são gerados grãos quebrados, denominados de quirera de arroz, a qual pode representar entre 14% a 60% (arroz de sequeiro) do total dos grãos submetidos ao beneficiamento. Apesar

de sua composição química ser semelhante ao grão de arroz inteiro, esse subproduto, pelas suas características físicas, é rejeitado para consumo humano e destinado ao arração animal com valor comercial reduzido (BUTOLO, 2002; SUZAKI, 2004).

Os carboidratos são a principal fonte de energia presente nos ingredientes das rações destinadas aos animais, e incluem grande variedade de compostos orgânicos que possuem perfis de digestão diferentes, atuando de maneira distinta no organismo animal. Os polissacarídeos incluem carboidratos com cadeias superiores representados pelo amido e pelos polissacarídeos não amiláceos (PNA) (EVERS et al., 1999; HALL, 2000; SILVA, 2002). Esses tipos de carboidratos, segundo SILVA (2002), compõem mais de 80% dos grãos de cereais, dos quais 70% a 80% são constituídos por amido, 10% a 30% são PNA e 1% a 3% são açúcares simples (mono e oligossacarídeos). Os polissacarídeos não amiláceos constituem a fração fibrosa dos alimentos, e dependendo da solubilidade podem ser divididos em fibra insolúvel, composta por celulose, hemiceluloses insolúveis, lignina, tanino e outros compostos minoritários, e em fibra solúvel constituída pelas hemiceluloses solúveis (arabanas e β -glucanas) e substâncias pécticas (JERACI e VAN SOEST, 1990).

Para animais não ruminantes, a presença de PNA é considerada fator antinutricional, pois esses componentes, quando dissolvidos em água, produzem soluções viscosas que influenciam a digestão e a absorção do amido, dos lipídios e da proteína no intestino (CHOCT, 1997).

O amido é a principal fonte energética explorada na nutrição animal e a sua quantificação em grãos de cereais pode ser utilizada como indicativo

indireto de valor nutricional (SILVA, 2002). Sob aquecimento, inicia-se o processo de quebra das pontes de hidrogênio, que unem as frações internas do amido, desaparecendo sua estrutura cristalina e granular. As cadeias de amilose e amilopectina liberadas absorvem a água disponível, provocando o intumescimento dos grânulos, que aumentam de tamanho. Este processo é denominado “geleificação” (CICHELO et al., 2008). A melhoria na utilização do amido é dependente da origem do amido, das condições do processo de extrusão e da espécie animal (THEURER, 1986).

São raras as informações sobre os efeitos dos processamentos térmicos nos alimentos utilizados na nutrição animal. Da mesma forma, são escassas as pesquisas sobre a composição químico-bromatológica de alimentos antes e após serem submetidos a esses processamentos.

Nesse contexto, esta pesquisa foi realizada com o objetivo de estudar os efeitos dos processos de peletização e extrusão na composição nutricional dos seguintes cereais: milho, farelo de trigo, quirera de arroz e sorgo, por meio da análise de proteína bruta, extrato etéreo, fibra bruta, fibra em detergente neutro, matéria mineral, carboidratos não fibrosos, açúcares solúveis (reduzidos), amido, amilose, amilopectina e energia bruta, antes e após a extrusão ou peletização. Adicionalmente, foi analisado o grau de geleificação do amido por análise física dos grânulos, por microscopia eletrônica de varredura (MEV).

Materiais e Métodos

O presente trabalho foi conduzido na Universidade Estadual Paulista (UNESP), no Centro de Aquicultura (CAUNESP), localizado na cidade de Jaboticabal, estado de São Paulo.

Processamento dos alimentos energéticos

Os alimentos energéticos estudados, milho, farelo de trigo, quirera de arroz e sorgo foram moídos em moinho martelo, JF Nogueira modelo H5-F3, com peneira de porosidade 0,5mm de diâmetro. Posteriormente, cada alimento foi processado por peletização ou extrusão, seguindo de pré-secagem ao sol, sendo em seguida levado para a secagem definitiva em estufa à 55°C, durante período de 24 horas. Depois de seco, foi realizada novamente a moagem de cada alimento, seguido do ensacamento e armazenamento a -20°C para posteriores análises.

A extrusão dos alimentos foi realizada em extrusora Extrudercenter, modelo MAB 400S, com canhão de rosca simples, injeção de vapor de água no condicionador e alta pressão, atingindo temperatura média de 120°C. Cada alimento exigiu temperatura e pressão específica para garantir, aparentemente, o mesmo grau de geleificação do amido e sua extrusão. A temperatura média dos péletes na saída da extrusora foi de 94,5°C.

A peletização foi feita em peletizadora Calibrás, com adição de vapor e água e capacidade de processamento de 300 a 500 kg.hora⁻¹. A temperatura média dos péletes, na saída da matriz da peletizadora, foi de 67,5°C.

Procedimentos analíticos

As análises de matéria seca, proteína bruta, extrato etéreo, fibra bruta, matéria mineral e energia dos alimentos foram realizadas de acordo com as metodologias descritas pela Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2000). As análises descritas e também a análise de fibra em detergente neutro foram realizadas no Laboratório de Análise de Alimentos (LANA), do Departamento de Zootecnia da FCAV da UNESP, Câmpus de Jaboticabal–SP. Já as análises de açúcares solúveis e amido foram conduzidas no Laboratório de Morfologia e Fisiologia Animal, do FCAV – UNESP, Câmpus de Jaboticabal-SP.

- *Extrato etéreo*

A análise de extrato etéreo (EE) dos alimentos crus foi realizada utilizando-se éter de petróleo como solvente, e utilizando o aparelho de extração Soxhlet com refluxo contínuo pela amostra durante seis horas.

Para amostras peletizadas ou extrusadas utilizou-se primeiramente hidrólise ácida (HCl) e, posteriormente, a extração da gordura com mistura de éteres de petróleo e etílico (1:1).

Todas as amostras após a análise de EE e, portanto, já desengorduradas, foram armazenadas a -20°C para serem utilizadas na análise de fibra.

- *Fibra em detergente neutro*

As análises de fibra em detergente neutro (FDN) foram realizadas de acordo com a metodologia proposta por VAN SOEST et al. (1994), com modificações propostas por SILVA e QUEIROZ (2002), que implicam no tratamento prévio das amostras pela adição de amilase termoestável, para a

total remoção do amido. As amostras utilizadas já estavam previamente desengorduradas.

- *Açúcares solúveis totais (redutores)*

A análise de açúcares solúveis (AS) seguiu a metodologia de MILLER (1959) modificada pela utilização do método glicose-oxidase (KARKALAS, 1985). As amostras (100mg) foram submetidas a extração com etanol 80% e mantidas em banho-maria durante 30 minutos em temperatura de 80°C. Após centrifugação a 1800rpm durante 20min, o sobrenadante foi coletado e o processo repetido mais três vezes. Os teores de açúcares redutores foram determinados no sobrenadante pelo kit Glicose PAP Liquiform® Labtest Diagnóstica.

- *Amido*

A análise de amido (AMD) seguiu a metodologia de HENDRIX (1993), modificadas pela utilização do método glicose-oxidase (KARKALAS, 1985).

Para a determinação do conteúdo de amido, pesou-se de 0,04 até 0,07g de amostra, dependendo do teor de amido da amostra. Foi adicionado 1mL de KOH 0,1N e fervido em banho-maria (95°C) por 30 min. Adicionou-se 0,2ml de ácido acético 1N e agitou-se. O pH foi ajustado com 1 mL de solução tampão acetato pH 5.0 e a solução agitada. As amostras foram então incubadas em banho-maria (36°C) por 24 horas com 1 mL das soluções contendo α -amilase (30 UI mL⁻¹) e amiloglicosidase (35 UI mL⁻¹), sendo as amostras agitadas de 4 a 6 vezes. Após esse período, foi feita diluição em balão de 25ml com água destilada e seguiu-se de centrifugação por 20 minutos a 1800rpm.

Posteriormente, foi realizada a análise da glicose resultante pelo kit Glicose PAP Liquiform® Labtest Diagnóstica, e leitura em espectrofotômetro a 505nm.

- *Amilose / Amilopectina*

A determinação do teor de amilose, que representa o conteúdo total de um dos polissacarídeos constituintes da molécula de amido, foi realizada no Centro de Raízes e Amidos Tropicais – UNESP – Câmpus de Botucatu segundo o INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (1987). Amostras dos alimentos foram colocadas em frascos erley e diluídas em 1mL de etanol a 95% e 9mL de NaOH 1M; posteriormente os frascos foram para banho-maria por 10 minutos, resfriados e transferidos para balão volumétrico de 100mL, completando com água destilada. Alíquotas de 18mL foram colocadas em tubos de ensaio que continham 2mL de NaOH 0,09 N e agitados. Alíquotas de 5mL foram colocadas em balão volumétrico de 100mL que continha 50mL de água e 1mL de ácido acético 1 M e agitou-se. Nestes balões foram adicionados 2mL de solução de iodo a 0,0157 N e completados com água destilada. Os frascos foram estocados por 20 minutos em local escuro e então foram realizadas leituras em espectrofotômetro com comprimento de onda de 620nm. As leituras foram valoradas em curva padrão e expressas em porcentagem de amilose.

Os teores de amilopectina foram determinados por diferença:
 $\% \text{Amilopectina} = \% \text{amido} - \% \text{amilose}.$

- *Geleificação do amido*

A geleificação do amido foi analisada no Laboratório de Microscopia da UNESP – Câmpus de Jaboticabal utilizando-se microscopia eletrônica de varredura (MEV) marca JEOL, modelo JSM5410. Amostras dos alimentos crus, peletizados ou extrusados foram moídas, tratadas com ouro e em seguida analisadas no MEV.

- *Carboidratos não fibrosos*

Tradicionalmente, os carboidratos são determinados pelo método de análise aproximativa de Weende. Sua equação é: $ENN = MS - (PB + EE + FB + MM)$. Esse método é falho em vários aspectos, um deles é o fato que a porção de FB utilizada na equação da análise não apresenta, como parte de sua constituição, a fração de hemicelulose, que foi solubilizada no processo (SILVA e QUEIROZ, 2002).

O método de análise proposto por VAN SOEST et al. (1994) propõe melhor fracionamento dos diversos componentes da porção fibrosa. Um dos componentes dessa análise é a fibra em detergente neutro (FDN), que retém a totalidade da hemicelulose, proporcionando resultados de carboidratos digeríveis mais confiáveis e reais para os monogástricos. Sua equação é: $CNF = MS - (PB + EE + FDN + MM)$.

- *Energia bruta*

As análises de energia bruta (EB) foram realizadas pela queima das amostras em bomba calorimétrica (Parr 1281 Calorimeter).

Delineamento experimental e análises estatísticas

Foi realizada análise de variância para cada alimento (milho, farelo de trigo, quirera de arroz e sorgo) a fim de detectar possíveis diferenças entre os efeitos dos processamentos na composição nutricional dos mesmos. O delineamento experimental adotado para cada alimento foi inteiramente casualizado (DIC) com três tratamentos (cru, peletizado ou extrusado) e quatro repetições. O cálculo de intervalo de confiança (IC) foi utilizado para especificar a precisão das médias obtidas. O limite de aceitação foi determinado a 95%.

Os dados foram analisados pelo programa Statistical Analysis System SAS® v.9 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Quando houve significância estatística entre tratamentos ($P < 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste t , ao nível de 5% de probabilidade.

Resultados e discussão

Os resultados da análise estatística para os efeitos dos processamentos nos nutrientes de cada alimento encontram-se na Tabela 1. Não foram verificadas diferenças estatísticas para os efeitos dos processamentos para a MS, MM, AS e AMD.

Tabela 1. Valores de F para efeito do processamento sobre a composição nutricional dos alimentos energéticos

Alimento	Valores de F												
	MS ¹	PB ²	EE ³	MM ⁴	EB ⁵	FB ⁶	FDN ⁷	AS ⁸	AMD ⁹	AML ¹⁰	AMP ¹¹	ENN ¹²	CNF ¹³
Milho	1,58 ^{ns}	1,19 ^{ns}	1,19 ^{ns}	0,03 ^{ns}	1,22 ^{ns}	0,52 ^{ns}	0,68 ^{ns}	1,19 ^{ns}	0,05 ^{ns}	14,72*	13,06*	1,83 ^{ns}	0,88 ^{ns}
CV (%)	1,61	6,01	11,68	5,14	1,37	7,34	12,70	10,54	8,14	2,77	1,20	12,12	11,25
Farelo de trigo	3,86 ^{ns}	9,42*	5,03*	3,13 ^{ns}	96,73**	124,52**	831,58**	1,58 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,18 ^{ns}	11,69*	176,13**
CV (%)	6,86	4,65	11,13	12,55	1,36	5,4	12,8	11,82	12,76	8,53	2,31	7,18	13,33
Quirera de arroz	3,94 ^{ns}	0,42 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,14 ^{ns}	42,22 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,33 ^{ns}	2,71 ^{ns}	0,03 ^{ns}	4,53*	4,81*	1,21 ^{ns}	1,35 ^{ns}
CV (%)	1,67	6,68	18,36	19,48	1,29	16,36	21,14	14,32	5,18	1,03	0,76	9,84	8,67
Sorgo	3,65 ^{ns}	0,42 ^{ns}	0,61 ^{ns}	0,52 ^{ns}	41,30 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,90 ^{ns}	0,08 ^{ns}	5,23*	5,23*	1,75 ^{ns}	1,06 ^{ns}
CV (%)	1,81	5,04	13,21	14,12	1,38	5,63	9,94	9,67	8,73	2,43	0,76	5,24	6,44

¹ – Matéria seca; ² – Proteína bruta; ³ – Extrato etéreo; ⁴ – Matéria mineral; ⁵ – Energia bruta; ⁶ – Fibra bruta; ⁷ – Fibra em detergente neutro; ⁸ – Açúcares solúveis; ⁹ – Amido; ¹⁰ – Amilose; ¹¹ – Amilopectina; ¹² – Extrato não nitrogenado MS- (PB + EE + FB+MM); ¹³ – Carboidratos não fibrosos MS- (PB + EE + FDN+MM).
* - significativo ao nível de 5% de probabilidade; ** - significativo ao nível de 1% de probabilidade; ^{ns} – não significativo.

A Tabela 2 mostra os valores médios de nutrientes e energia bruta dos alimentos energéticos crus, peletizados ou extrusados. Observou-se que a umidade e MM dos alimentos não receberam influência dos processamentos. Além disso, o único alimento que apresentou médias significativamente diferentes para a PB, EE e EB foi o farelo de trigo.

Tabela 2- Médias de composição nutricional analisada para os conteúdos de matéria seca, proteína bruta, extrato etéreo, matéria mineral e energia bruta dos alimentos energéticos crus, peletizados ou extrusados

Alimento	Processamento	MS¹ (%)	PB² (%)	EE³ (%)	MM⁴ (%)	EB⁵ (kcal.kg⁻¹)
Milho	<i>Cru</i>	90,4	9,6	5,1	1,3	3926
	<i>Peletizado</i>	91,2	9,3	4,8	1,2	3945
	<i>Extrusado</i>	90,9	8,9	4,4	1,2	3931
Farelo de Trigo	<i>Cru</i>	92,7	15,9 ^a	5,6 ^a	4,6	4053 ^a
	<i>Peletizado</i>	91,5	15,7 ^a	5,2 ^{ab}	4,9	4031 ^a
	<i>Extrusado</i>	92,8	14,1 ^b	4,2 ^b	3,8	3953 ^b
Quirera de Arroz	<i>Cru</i>	88,0	8,4	1,3	0,6	3646
	<i>Peletizado</i>	89,7	8,5	1,4	0,7	3610
	<i>Extrusado</i>	89,8	8,1	1,4	0,7	3622
Sorgo	<i>Cru</i>	89,7	11,1	3,7	3,3	3798
	<i>Peletizado</i>	91,4	11,2	3,4	3,3	3816
	<i>Extrusado</i>	91,0	10,8	3,2	3,7	3782

¹ – Matéria seca; ² – Proteína bruta; ³ – Extrato etéreo; ⁴ – Matéria mineral; ⁵ – Energia bruta. Médias seguidas com a mesma letra não diferem entre si pelo teste *t* (P>0,05).

Os resultados encontrados para MM do milho e farelo de trigo estão próximos aos encontrados por LIMA et al. (2006) que observaram valores de 1,20 e 3,82%, respectivamente, enquanto que o sorgo apresentou teor de MM menor (1,32%). A energia bruta encontrada para os alimentos foi superior aos descritos no NRC (1993).

Com relação a PB, observou-se que os teores médios desse nutriente apresentaram tendência a diminuir com o processamento por extrusão, com diferença significativa para o farelo de trigo. Sugere-se no presente trabalho, que a diminuição no teor de proteínas seja atribuída a perda de compostos nitrogenados de baixo peso molecular formados durante a extrusão, seja pela reação de Maillard, degradação de Strecker, ou ainda perdas na forma de N_2 . Entretanto, essas são apenas hipóteses, pois as causas para essa diminuição no teor protéico não foram totalmente esclarecidas na literatura. Corroborando essas observações, MIRANDA (1998) observou diminuição no teor protéico de farinha de trigo integral extrusada com o decréscimo da temperatura de extrusão. No entanto, afirmou que o motivo para este comportamento é desconhecido.

No mesmo sentido, BERTIPAGLIA et al. (2008), trabalhando com relações de soja e milho com ou sem processamento por extrusão, relataram que nas misturas que continham 75 e 50% de soja, o processo de extrusão promoveu redução significativa nos valores da fração nitrogenada em comparação às misturas não processadas. Os menores valores foram observados na temperatura de 80°C. No tratamento com 25% de soja, os menores valores foram observados na temperatura de 120°C.

Os efeitos do processamento térmico na proteína bruta, observados no presente estudo, poderiam gerar diminuição da qualidade protéica que implicaria em significativos decréscimos da digestibilidade deste nutriente pelos animais. De acordo com ROSTAGNO (2000), o processamento inadequado, principalmente excesso de calor, pode exercer efeito deletério sobre a

qualidade da proteína, como perda da palatabilidade, destruição de aminoácidos como cistina, lisina e/ou redução da sua biodisponibilidade. Da mesma forma HEIDENREICH (1994), relata que o excesso de calor torna indisponível parte da proteína e de aminoácidos, principalmente devido à reação de Maillard e à desnaturação protéica, levando a perdas da função biológica dos alimentos.

A redução nos teores médios de EE observados para o farelo de trigo extrusado, no presente trabalho, é semelhante aos encontrados por BERTIPAGLIA (2002), que constatou a redução de 59,04% no conteúdo de EE, comparando-se com o do ingrediente cru, em temperatura de 100°C. Da mesma forma, GUZMAN et al. (1992) observaram redução na proporção de lipídeos livres em milho extrusado nas temperaturas de 80 e 120°C, na ordem de 63,5%. As reduções nos teores de lipídeos encontradas também podem ter ocorrido pela reação de Maillard. De acordo com PARLIMENT (1994), as moléculas formadas pela reação de Maillard, ao se romperem formam produtos de peso molecular mais baixo (cetonas, álcoois, piridinas e ésteres), os quais são voláteis e responsáveis por perdas de lipídeos submetidos a tratamento térmico.

Além disso, complexos de lipídios com amilose podem ser formados durante o processamento de alimentos, incluindo o de extrusão (BHATNAGAR e HANNA, 1994). A formação do complexo amilose-lipídio reduz a extração de lipídios por éter de materiais extrusados, e vários autores têm reportado decréscimo na extração de gordura após a extrusão. Usando diferentes solventes, NIERLE (1980) obteve, em média, 40% de extração da gordura do

milho extrusado em relação ao milho cru. Foi utilizada primeiramente a hidrólise ácida nos alimentos extrusados do presente estudo e posteriormente feita a extração com éter, entretanto a recuperação da gordura pode não ter sido completa.

Nas Tabelas 3 e 4, são apresentados os teores médios e intervalos de confiança (IC) de polissacarídeos não amiláceos (PNA) e polissacarídeos amiláceos dos alimentos energéticos crus, peletizados ou extrusados.

Os valores de FB determinados foram semelhantes aos observados pelo NRC (1993) e NUNES (2008). Os valores de FDN (crus) encontrados para milho, farelo de trigo e sorgo (6,4; 26,7 e 9,3%) diferem dos valores citados pelo NRC (1993), que foram de 9,0%; 35,0%; e 13,30%, respectivamente. ROSTAGNO et al. (2000) encontraram para esses mesmos alimentos, valores de 13,08%; 45,95% e 11,41%, respectivamente. HALL (2000) observou valores de 12,6% e 42,30% de FDN para grão de milho e farelo de trigo. Essas diferenças podem estar relacionadas com os cultivares dos alimentos estudados ou ainda possíveis variações interlaboratoriais.

Notou-se também acentuado decréscimo no valor de FB e FDN do farelo de trigo extrusado (Tabela 3), sugerindo que a fibra insolúvel do farelo de trigo pode ter sido transformada com o processo de extrusão, aumentando dessa maneira a porção solúvel de fibra do farelo de trigo extrusado. BJÖRCK et al. (1984) concluíram que a fibra do trigo é mais susceptível à solubilização pela extrusão do que outros cereais devido à maior quebra de ligações químicas.

Tabela 3- Médias e intervalos de confiança (IC) para os carboidratos analisados do milho e farelo de trigo nos efeitos dos processamentos

Alimento	Processamento	FB ¹ (%)	FDN ² (%)	AS ³ (%)	AMD ⁴ (%)	AML ⁵ (%)	AMP ⁶ (%)	ENN ⁷ (%)	CNF ⁸ (%)
Milho	<i>Cru</i>	2,7	6,4	5,0	62,0	21,5 ^b	78,1 ^a	71,7	68,0
		IC 2,4 – 3,0	5,6 – 7,2	4,6 – 5,4	56,9 – 67,1	20,9 – 22,1	77,4 – 78,7		
	<i>Peletizado</i>	2,7	6,5	5,7	62,4	27,3 ^a	72,7 ^b	73,2	69,4
		IC 2,6 – 2,8	5,8 – 7,2	5,0 – 6,4	57,8 – 67,0	26,7 – 27,8	72,2 – 73,3		
	<i>Extrusado</i>	2,3	6,9	5,3	62,2	21,2 ^b	78,5 ^a	74,1	69,5
		IC 2,2 – 2,4	6,1 – 7,7	4,7 – 5,9	57,2 – 67,2	20,7 – 21,7	77,9 – 79,0		
Farelo de Trigo	<i>Cru</i>	10,8 ^a	26,7 ^a	7,4	25,3	3,0	97,0	55,8 ^b	39,9 ^b
		IC 10,3 – 11,3	25,8 – 27,6	6,7 – 8,1	22,3 – 28,3	2,7 – 3,3	96,6 – 97,4		
	<i>Peletizado</i>	10,8 ^a	26,2 ^a	7,1	25,3	2,9	97,1	54,9 ^b	39,5 ^b
		IC 10,5 – 11,1	25,6 – 26,8	6,5 – 7,7	22,1 – 28,5	2,8 – 3,0	97,0 – 97,2		
	<i>Extrusado</i>	7,2 ^b	10,4 ^b	7,9	25,1	3,6	96,4	60,6 ^a	60,3 ^a
		IC 6,7 – 7,7	9,7 – 11,1	7,0 – 8,8	22,0 – 28,2	3,5 – 3,7	96,3 – 96,5		

¹ – Fibra bruta; ² – Fibra em detergente neutro; ³ – Açúcares solúveis; ⁴ – Amido; ⁵ – Amilose; ⁶ – Amilopectina; ⁷ – Extrativo não nitrogenado MS- (PB + EE + FB+MM); ⁸ – Carboidratos não fibrosos MS- (PB + EE + FDN+MM).

Médias seguidas com a mesma letra não diferem entre si pelo teste *t* (P>0,05).

Tabela 4- Médias e intervalos de confiança (IC) para os carboidratos analisados da quirera de arroz e sorgo nos efeitos dos processamentos

Alimento	Processamento	FB ¹ (%)	FDN ² (%)	AS ³ (%)	AMD ⁴ (%)	AML ⁵ (%)	AMP ⁶ (%)	ENN ⁷ (%)	CNF ⁸ (%)
Quirera de Arroz	Cru	0,4	0,5	2,1	76,5	27,7 ^a	72,3 ^b	77,3	77,2
		IC 0,3 – 0,5	0,4 – 0,6	1,7 – 2,5	72,3 – 80,7	27,5 – 28,0	72,0 – 72,5		
	Peletizado	0,4	0,4	2,4	76,3	27,5 ^a	72,5 ^b	78,7	78,7
		IC 0,3 – 0,5	0,3 – 0,5	2,0 – 2,8	71,6 – 81,0	27,3 – 27,7	72,3 – 72,7		
	Extrusado	0,4	0,4	2,6	76,2	24,3 ^b	75,8 ^a	79,2	79,2
		IC 0,3 – 0,5	0,3 – 0,5	2,1 – 3,1	71,4 – 81,0	24,0 – 24,5	75,5 – 76,0		
Sorgo	Cru	3,3	9,3	5,2	56,1	23,2 ^a	76,8 ^b	68,3	62,3
		IC 3,2 – 3,4	8,6 – 10,0	4,8 – 5,6	52,0 – 60,2	22,9 – 23,6	76,4 – 77,2		
	Peletizado	3,1	9,6	5,4	56,6	19,7 ^b	80,3 ^a	70,4	63,9
		IC 3,0 – 3,2	8,6 – 10,6	4,8 – 6,0	51,9 – 61,3	19,3 – 20,1	79,9 – 80,7		
	Extrusado	3,0	9,4	5,8	56,4	19,6 ^b	80,4 ^a	70,3	63,9
		IC 2,9 – 3,1	8,5 – 10,3	5,2 – 6,4	51,3 – 61,5	19,1 – 20,2	79,8 – 80,9		

¹ – Fibra bruta; ² – Fibra em detergente neutro; ³ – Açúcares solúveis; ⁴ – Amido; ⁵ – Amilose; ⁶ – Amilopectina; ⁷ – Extrativo não nitrogenado MS- (PB + EE + FB+MM); ⁸ – Carboidratos não fibrosos MS- (PB + EE + FDN+MM).

Médias seguidas com a mesma letra não diferem entre si pelo teste *t* (P>0,05).

BERTIPAGLIA (2002) também observou resultados semelhantes para a redução no teor de FDN para o milho e a soja integral, processados por extrusão, onde a redução média observada de 42 a 62% foi independente da temperatura de processamento.

Quando se compara os resultados de FB e FDN no presente estudo, observa-se grande alteração nos teores de ambos, principalmente para o farelo de trigo. Dessa maneira e conforme descrito na metodologia de análise para carboidratos empregada nesse estudo, a porção hemicelulose, que constitui os PNA e, conseqüentemente, pertence ao grupo de carboidratos não digeríveis pelos monogástricos, é solubilizada na análise de FB. Considerando que a porção hemicelulose constitui até 71% dos PNAs presentes no farelo de trigo (NUNES, 2008), pode-se afirmar que os valores reais de fibra descritos para a análise de FB não correspondem a composição natural dos alimentos quando analisados com essa técnica.

Os resultados do presente estudo confirmam as variações que ocorrem quando se analisa os teores de fibras das rações e/ou alimentos por FB ou FDN e, as conseqüências nos teores de ENN, que utiliza na sua equação os valores de FB, comparado com os valores de CNF, que utiliza a FDN no lugar da FB. Dessa maneira, pode-se inferir que essas alterações poderiam implicar em distintas discussões de resultados em trabalhos de nutrição animal, uma vez que os valores de ENN não fornecem a quantidade real de polissacarídeos amiláceos ingeridos. Nesse mesmo sentido, VAN SOEST (1967) relata que os carboidratos não fibrosos apresentam disponibilidade nutricional rápida, completa e constante entre os alimentos, de 98 a 100%, enquanto os carboidratos fibrosos, como celulose e hemiceluloses, juntamente com a

lignina, compõem a parede celular vegetal e não são digeridos em monogástricos, ocupando espaço no trato gastrintestinal.

No presente estudo, não foram observadas alterações nos níveis de amido (AMD) e açúcares solúveis (AS) para os efeitos dos processamentos utilizados em cada alimento. O amido é a principal fonte energética explorada na nutrição animal e a sua quantificação em grãos de cereais pode ser utilizada como indicativo indireto de valor nutricional (SILVA, 2002). Para o milho, o valor de AMD foi semelhante ao citado por HALL (2000) (64%) e menor que o relatado por ROSTAGNO (2000) (71,52%). O teor de AMD no farelo de trigo também foi menor que os encontrados por estes autores (33,78%). Já para o sorgo, o valor de AMD encontrado nesse estudo (56,1%) foi próximo aos observados por NUNES (2008) (55,47%). Os maiores teores de AMD no presente estudo foram observados para a quirera de arroz (76,5%), próximos aos encontrados por LIMBERGER (2006) de 76,35%.

Deve-se salientar que os valores de AMD determinados no presente trabalho foram corrigidos para a quantidade de açúcares solúveis (AS) das amostras (HALL, 2000). Esse procedimento foi adotado porque a maioria dos carboidratos digestíveis (monossacarídeos, oligossacarídeos e amido) presentes nos alimentos possuem a glicose como monômero básico, a qual é a unidade final usada nos métodos analíticos para quantificação dessas frações. Considerando que a técnica usada para determinação do amido tem como base a medição da glicose resultante da digestão da amostra integral, toda a glicose presente nesta, independente de sua origem, seria quantificada como amido, fornecendo valores errôneos desse componente (LIMA et al., 2006).

Os valores de AS do presente estudo foram similares aos observados nos trabalhos de LIMA (2006) e NUNES (2008). Entretanto, o primeiro autor encontrou grande variação de AS para duas variedades de farelo de trigo estudadas (3,3% e 8,4%).

CAMIRE et al. (1990) explicaram que diversas alterações químicas e físicas ocorrem no grânulo de amido durante o processamento térmico. O amido e os açúcares não redutores, como a sacarose podem ser hidrolisados durante a extrusão para formarem açúcares redutores. Sugere-se que essas alterações no amido processado podem ser uma das possíveis causas das diferenças encontradas nos teores de amido do presente estudo com os demais teores encontrados na literatura. Além disso, podem ser formados amidos resistentes (AR) durante o processamento térmico. A fração AR, segundo GOÑI et al. (1996), é definida como sendo “a soma de amidos e produtos de sua degradação, não absorvidos no intestino de indivíduos saudáveis”. Os fragmentos que se originam dessa reação podem se combinar com outras moléculas, dando origem a um novo composto, resistente à digestão enzimática no trato gastrointestinal (STORCK et al., 2003).

As proporções de amilose (AML):amilopectina (AMP) encontradas nos alimentos energéticos estudados mostram valores superiores aos observados por MESTRES (1996) e BERMUDEZ (1997). Entretanto, os valores para a quíleria de arroz foram menores que os encontrados por LIEMBERGER (2006). Adicionalmente, nota-se que o único alimento com teor de amilopectina acima de 90% foi o farelo de trigo, enquanto os demais alimentos apresentaram teores entre 72,3 e 80,4%. Esses resultados são importantes para o balanceamento de dietas utilizadas na nutrição animal, uma vez que diversas

espécies apresentam diferenças no aproveitamento de relações amilose:amilopectina (RAWLES e LOCHMANN, 2003; SPANNHOF e PLANTIKOW, 1983; MELO et al., 1998; HU 2004).

Variações nos teores de AML:AMP foram observados no milho, quirera de arroz e sorgo quando cruas, peletizadas ou extrusadas; entretanto, não há tendência clara para os processamentos térmicos empregados e as alterações observadas.

Também foi avaliada no presente estudo, a geleificação do amido pela microscopia eletrônica de varredura (MEV), antes e após o processamento dos alimentos. Na Figura 1 encontram-se as micrografias das amostras de milho e sorgo antes e após o processamento. Nas fotos, são observados vários grânulos de amido intactos para ambos os alimentos quando crus. Nas fotos dos alimentos peletizados, observam-se áreas de geleificação com alguns grânulos de amido ainda intactos. Já nas fotos com alimentos extrusados, não aparecem mais grânulos intactos e visualizam-se apenas grandes áreas de geleificação do amido.

A microscopia eletrônica de varredura é uma técnica rápida, auxiliar na detecção da geleificação do amido. Quando associada a outras, pode contribuir significativamente para a confirmação da geleificação do amido dos alimentos (VELOSO et al., 2005).

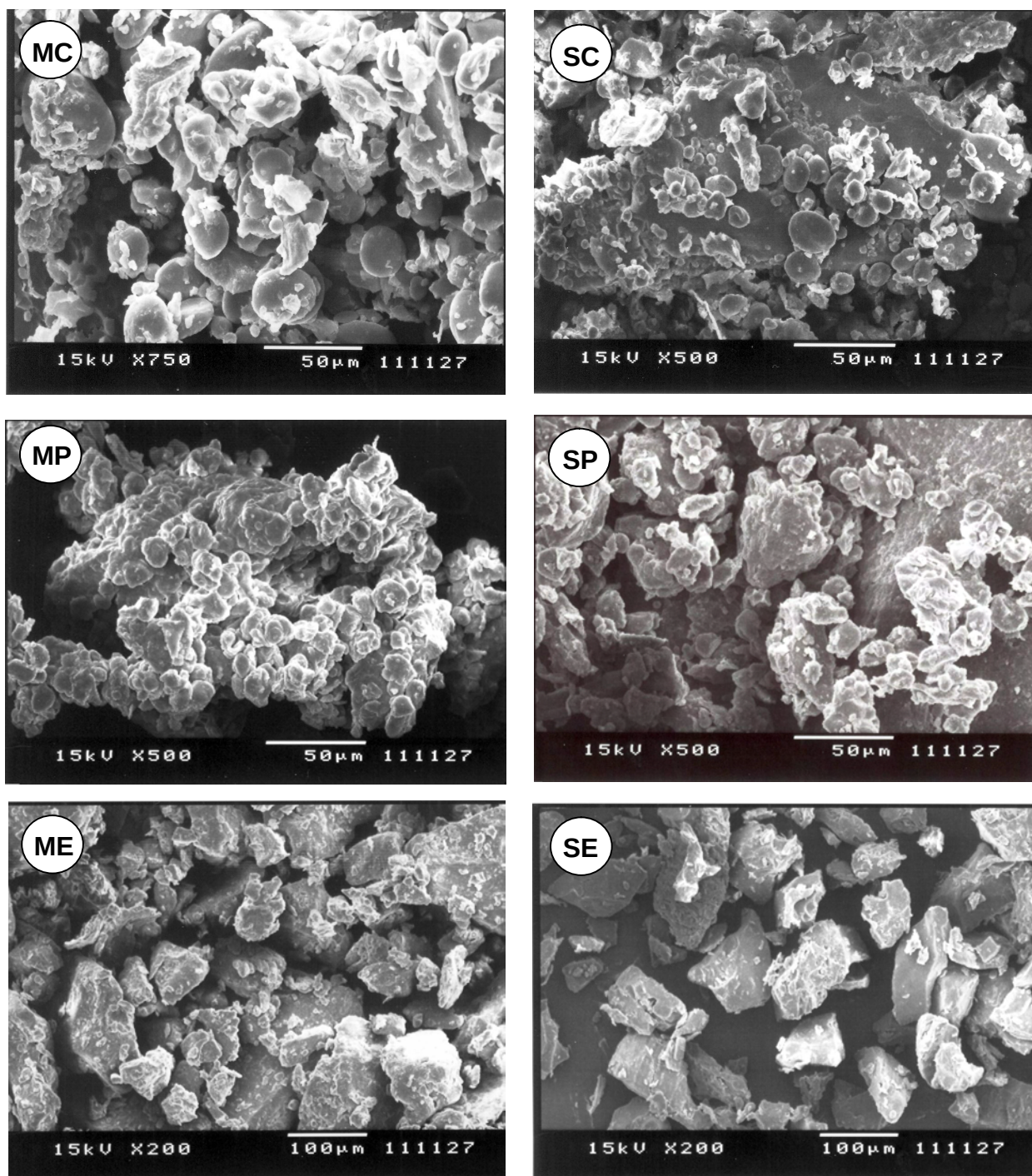


Figura 1. Micrografias do milho cru (MC), peletizado (MP) e extrusado (ME), e do sorgo cru (SC), peletizado (SP) e extrusado (SE) observados em microscópio eletrônico de varredura.

As micrografias do farelo de trigo e quirera de arroz antes e após o processamento (Figura 2) mostraram menor grau de geleificação para o farelo de trigo extrusado ou peletizado, comparando-se com os demais alimentos.

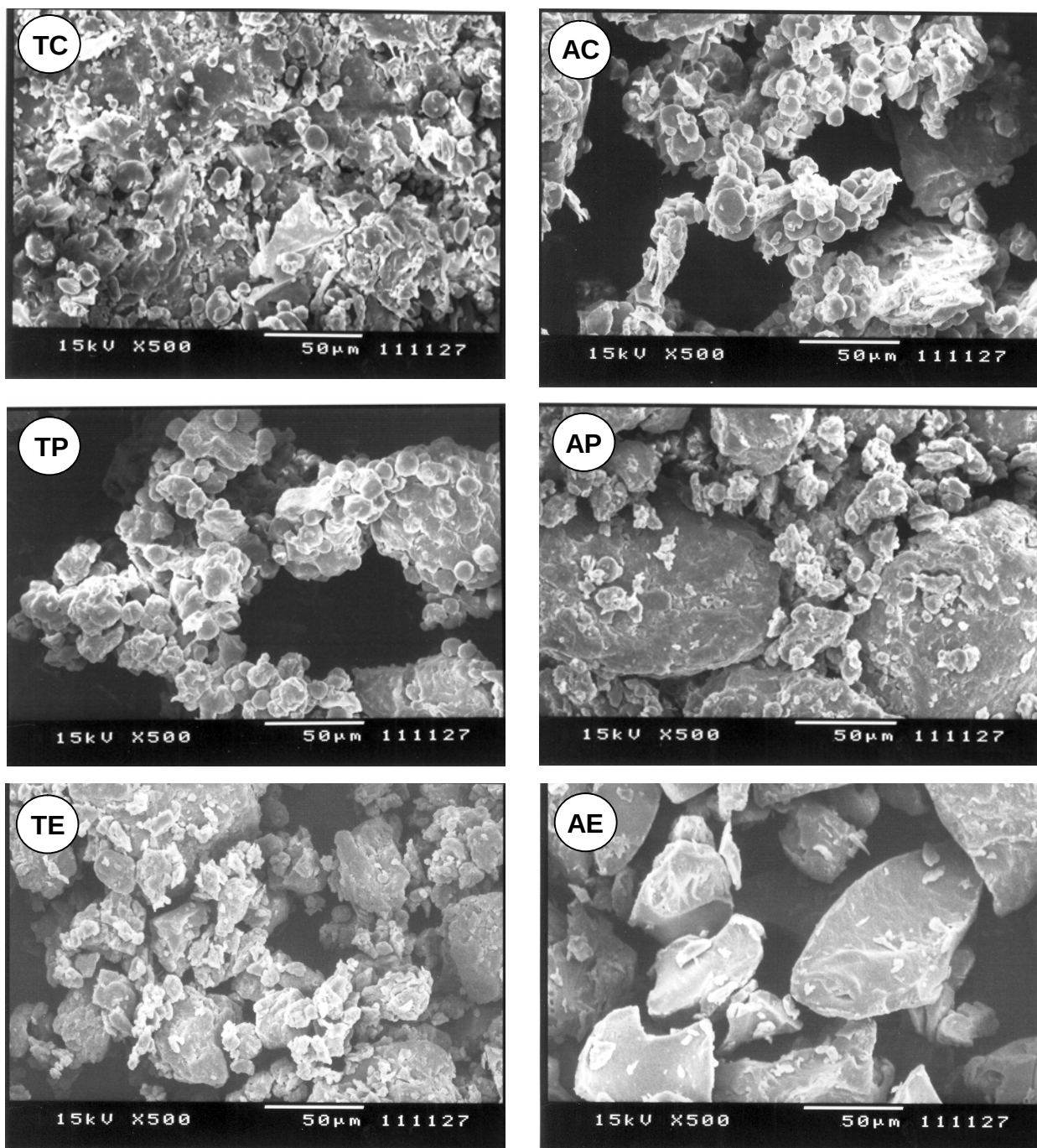


Figura 2. Micrografias do farelo de trigo cru (TC), peletizado (TP) e extrusado (TE), e da quirera de arroz cru (AC), peletizada (AP) e extrusada (AE) observados em microscópio eletrônico de varredura.

No caso da quirera de arroz, notam-se as grandes áreas de geleificação, maiores em relação a todos os demais alimentos.

Observou-se no presente estudo pela MEV que a extrusão do amido produziu matriz polimérica bastante homogênea, assim como observado no estudo de SOUZA e ANDRADE (2000), em estudo da geleificação do amido pela extrusão.

Nesse trabalho foram notórias as diversas variações na composição químico-bromatológica de grãos de cereais, tanto no que se refere ao processamento térmico que são submetidos, como também a diversos outros fatores que tornam amplas essas variações e podem resultar em diferenças nos resultados da análise de alimentos.

Essas variações são ainda mais marcantes quando se refere aos teores de carboidratos dos alimentos para o balanceamento das rações, uma vez que a complexidade e heterogeneidade dos constituintes que compõem os mesmos, muitas vezes não são consideradas. Deve-se, portanto, buscar a formulação que torne-se mais real em relação às necessidades dos animais, evitando desordens digestivas ou acúmulo de gordura que acometem os animais que ingerem grandes quantidades de carboidratos fibrosos ou não fibrosos, influenciando diretamente na saúde dos mesmos.

Os resultados deste estudo evidenciam que a extrusão promove alterações na composição dos alimentos e, dessa forma, o controle dos fatores que envolvem o processo de extrusão, como a temperatura, umidade e pressão são essenciais para que se permita a obtenção de produtos finais preservados, quanto ao seu valor nutricional e biodisponibilidade para os animais, aumentando a eficiência e economia da produção.

Referências

BHATNAGAR, S.; HANNA, M. A. Amylose-lipid complex formation during single screw extrusion of various corn starches. **Cereal Chemistry**, v. 71, p. 582-7, 1994.

BERMUDEZ, J. N. **Valorización de las amiláceas “no-cereales” cultivadas en los países andinos: estudio de las propiedades fisicoquímicas y funcionales de SUS almidones y la resistencia a diferentes tratamientos estressantes**. Bogotá, 1997. 150f. Trabajo de Grado (Facultad de Ingeniería de Alimentos) - Universidad de Bogotá, 1997.

BERTIPAGLIA, L. M. A.; MELO, G. M. P.; SUGOHARA, A.; MELO, W. J.; BERTIPAGLIA, L. A. Alterações bromatológicas em soja e milho processados por extrusão. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.11, p.2003-2010, 2008

BJÖRCK, I.; NYMAN, M.; ASP, N.G. Extrusion cooking and dietary fiber: effects on dietary fiber content and on degradation in the rat intestinal tract. **Cereal Chemistry**, v.61, p.174-179, 1984.

BOOTH, M. A. Effects of grinding, steam conditioning and extrusion of practical diet on digestibility and weight gain of silver perch, *Bidyanus bidyanus*. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 182, p. 287 – 299, 2000.

BUTOLO, J. E. **Qualidade de ingredientes na alimentação animal**. Campinas: Editado por Colégio Brasileiro de nutrição animal, 2002.

CAMIRE, M. E. Protein functionality modification by extrusion cooking. **Journal of the American Oil Chemists Society**, v.68, p.200-205, 1991.

CHOCT, M. Feed non-starch polysaccharides: chemical structures and nutritional significance. **Feed Milling International**, p. 13-26, 1997.

CICHELO, M. S. F.; PAVANELLI, A. P.; PALMA, E. J.; ANDRADE, M. A. Alternativas de emulsificantes para a Qualidade de massas alimentícias. **Artigo técnico Oxiten S/A Indústria e Comércio**, 2008.

COELHO, S. R. C. Situação atual e perspectivas da indústria de rações para organismos aquáticos em 1997. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E NUTRIÇÃO DE PEIXES, 1997, Piracicaba. **Anais...**Campinas: CBNA, 1997. p.102-116.

EL-DASH, A. A. **Termoplastic extrusion of food, theory and techniques**. Campinas: UNICAMP, 1982. 81 p.

EVERS, A.D. Cereal structure and composition. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 50, n. 5, p. 629-650, 1999.

GOÑI, I. Analysis of resistant starch: a method for foods and food products. **Food Chemistry**, Exeter, v. 56, n. 4, p. 445-449, 1996.

GUZMAN, L. B.; LEE, T. C.; CHICHESTER, C.O. Lipid binding during extrusion cooking. In: KOKINI, J.L.; HO, C.T.; KARWE, M.V. **Food extrusion science and technology**. New York: Marcell Dekker. 1992. p.426-436.

HALL, M. B. **Neutral detergent-soluble carbohydrates nutritional relevance and analysis**. Institute of Food and Agricultural Sciences: University of Florida, 2000.

HAYASHI, C. Desempenho de larvas de carpa cabeça grande (*Aristichthys nobilis*), alimentadas com plâncton, ração micropelletizada, farelada e pastosa. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., 2001, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: SBZ, 2001. p.1419.

HEIDENREICH, E. Operation strategies for expansion cooking. **Feed Mix**, v.2, p.32-34, 1994.

HENDRIX, D. L. Rapid extration and analysis of nonstrutuctural carbohydrates in plant tissues. **Crop Science**, v. 25, p. 1306-1311, 1993.

HU, P. Starch digestibility and the estimated glycemic score of different types of rice differing in amylose contents. **Journal of Cereal Science**, v.40, p.231-237, 2004.

ICTA - Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos da UFRGS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. **Produtos Alimentícios Vegetais: Cereal Matinal**. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/Alimentus/feira/afeira.htm>>. Acesso em: 14 de setembro de 2007.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Norme Internationale: riz détermination de la teneur en amylose. Suisse, 1987. 5 p. (ISO 6647).

JERACI, J. L.; VAN SOEST, P. J. Improved methods for analysis and biological characterization of fiber. **Advances in Experimental Medicine and Biology**, New York, v. 270, n. 2, p. 245-263, 1990.

KARKALAS, J. J. An improved enzymatic method for the determination of native and modified starch. **Journal of Science Food Agriculture**, v. 36, p. 1016, 1985.

KUBITZA, F. Qualidade do alimento, qualidade da água e manejo alimentar na produção de peixes em 1997. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E NUTRIÇÃO DE PEIXES, 1997, Piracicaba. **Anais...**Campinas: CBNA, 1997. p.63-101.

LIMA, R. F.; GONÇALVES, M. B. F.; SILVA, L. P.; NÖRNBERG, J. L.; ALMEIDA, H. S. L. Sistema laboratorial de fracionamento de carboidratos de concentrados energéticos, **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 28, n. 2, p. 215-221, 2006.

LIMBERGER, V. M. **Modificação química e física do amido de quirera de arroz para aproveitamento na indústria de alimentos**. 2006. 79 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

MELO, W. J.; BERTIPAGLIA, L. A.; MELO, G. P.; MELO, V. P. **Carboidratos**, p. 214. Funep, Jaboticabal, SP, Brasil, 1998.

MESTRES, C. Los estados fisicos del almidon. In: CONFERENCIA INTERNACIONAL DE ALMIDÓN, 1996, Quito. **Anais...** Quito, 1996. p.2.

MILLÁN, L. M.; HERRERO, A. V.; GUERRERO, I. C. **Tecnología de fabricación de piensos para la acuicultura em 1987**. In: MONTEROS, J. E. DE LOS.; LABARTA, U. ALIMENTACION EM AQUICULTURA, 1987, Madri: Comisión Asesora de Investigación Científica y Técnica, 1987. p.131-166.

MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical Biochemistry**, Washington, v.31, p.426-428, 1959.

MIRANDA, M. Z. **Efeito do tempo de germinação do trigo e das variáveis de extrusão na qualidade tecnológica e nutricional de farinha integral**. 1998. 216f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas, 1998.

NIERLE, W.; EL BAYÁ, A. W.; SEILER, K.; FRETZDORFF, B.; WOLFF, J. Veränderungen der Getreideinhaltsstoffe während der Extrusion mit einem Doppel - Schneckenextruder. **Getreide Mehl und Brot**, v.34, p.73-6, 1980.

NRC (National Research Council), **Nutrient requirement of fish**. National Academy Press, Washington, DC. 1993. 114p.

NUNES, R. V.; ROSTAGNO, H. S.; GOMES, P. C.; NUNES, C. G. V; POZZA, P. C.; ARAUJO, M. S. Coeficientes de metabolizabilidade da energia bruta de diferentes ingredientes para frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.1, p.89-94, 2008.

PARLIMENT, H.T.; MORELLO, J. M.; Mc GORRIN, J. R. **Termally generated flavors: Maillard, Microwave and extrusion processes**. Ed: American Chemical Society, Whashington D.C. 1994.

RAWLES, S.; LOCHMANN, R. Effects of amylopectin/amylase starch ratio on growth, body composition and glycemic response of sunshine bass *Morone chrysops* x *M. saxatilis*). **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 34, p. 278-288, 2003.

ROSTAGNO, H. S. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. Viçosa: UFV, 2000.

SILVA, L. P. **Composição química de trigo e de aveia e efeito dos teores e proporções de fibra alimentar sobre a resposta biológica de frangos de corte e ratos**. 2002. Tese (Doutorado em Zootecnia)–Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3.ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2002. 235p.

SOUZA, R. C. R.; ANDRADE, C. T. Gelatinização e extrusão de amido **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 10, nº 1, p. 24-30, 2000.

SPANNHOF, L.; PLANTIKOW, H. Studies on carbohydrate digestion in rainbow trout. **Aquaculture**, v.30, p. 95-108, 1983.

STORCK, C. R. Influência do beneficiamento e do genótipo no teor de fibra alimentar do arroz. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO 3., REUNIÃO DA CULTURA DE ARROZ, 25., 2003. Balneário Camboriu. **Anais...** Itajaí: Epagri, 2003. p. 617- 619.

SUZAKI, R. **Socil Guyomarc'h Nutrição animal, adaptado de Commercial Poultry Nutrition, Steven Leeson e John D. Summers**, 2004. Disponível em <<http://www.socil.com.br>>. Acesso em: jul. 2004.

THEURER, C. B. Grain processing effects on starch utilization by ruminants. **Journal of Animal Science**, v.63, p.1649-62, 1986.

VAN SOEST, P. J. Development of a comprehensive system of feed analyses and its application to forages. **Journal of Animal Science**, v.26. p.119, 1967.

VAN SOEST, P. J. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. In: SYMPOSIUM CARBOHYDRATE METHODOLOGY, METABOLISM, AND NUTRITIONAL IMPLICATIONS IN DAIRY CATTLE. **Journal of Dairy Science**, Savoy, v. 74, n. 10, p. 3583-3597, 1994.

VELOSO J. A. F.; MEDEIROS S.L.S.; AROUCA C.L.C.; RODRIGUEZ, N. M.; SALIBA, E.O.S.; OLIVEIRA, S. G.; **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.57, n.5, p.623-633, 2005.

Capítulo 3

Digestibilidade de nutrientes e tempo de trânsito
gastrintestinal em juvenis de tilápia do Nilo alimentadas
com dietas contendo alimentos energéticos peletizados,
extrusados ou crus

Resumo

O objetivo deste estudo foi avaliar por meio do tempo de trânsito gastrointestinal (TTG) e do coeficiente de digestibilidade aparente (CDA) da proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE) e do amido, a utilização de alimentos energéticos com ou sem processamento térmico na tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Tilápias revertidas sexualmente foram divididas em três blocos de acordo com o peso: 20 a 40g (bloco A), 41 a 60g (bloco B) e 61 a 120g (bloco C). Os peixes foram distribuídos em 39 caixas com capacidade de 100 e 150L. Para o ensaio de digestibilidade, um delineamento em blocos casualizados foi utilizado, com 12 tratamentos em esquema fatorial 4 X 3 correspondendo a quatro alimentos energéticos (milho, farelo de trigo, quirera de arroz e sorgo) e três processamentos (cru, peletizado e extrusado), com três repetições. Para análise de TTG foram realizadas regressões polinomiais. No ensaio de digestibilidade foi utilizado o sistema Guelph modificado. Não foram observadas diferenças estatísticas entre os blocos. As maiores médias de CDA da PB foram para alimentos peletizados enquanto que no CDA para EE as maiores médias foram para os alimentos crus ou peletizados. A extrusão provocou as menores médias para os CDA de todos os alimentos estudados, tanto para PB quanto para o EE. Os CDA médios do amido para o milho, quirera de arroz e sorgo foram maiores com a extrusão ou peletização. A quirera de arroz crua apresentou a menor média de CDA do amido e o farelo de trigo apresentou alta digestibilidade do amido independentemente do processamento. O sorgo e milho peletizados ou extrusados apresentaram TTG de 10 horas, enquanto que a quirera de arroz TTG de 11 horas e o farelo de trigo 8 horas. Para os alimentos crus, os valores de TTG foram diferentes entre todos os alimentos estudados. Os dados mostram acentuada diminuição na velocidade de trânsito dos alimentos processados, sobretudo nas horas iniciais de trânsito, em relação aos alimentos crus, com maior evidência para a quirera de arroz.

Palavras chave: tilápia; digestibilidade; tempo de trânsito; ingrediente energético; processamento; amido.

Abstract

The aim of this study was to evaluate, through the gastrointestinal transit time (GTT) and the apparent digestibility coefficients (ADC) of the crude protein (CP), ether extract (EE) and the starch, the utilization of energetic sources with or without the presence of thermal processing to a Nile Tilapia *Oreochromis niloticus*. Tilapias sex reversed were divided in three blocks according to the weight: 20 to 40g (block A), 41 to 60g (block B) and 61 to 120g (block C). The fish were distributed in 39 boxes of 100 and 150L. In the digestibility assay were used randomized delineament blocks with twelve treatments in a 4 x 3 factorial design, corresponding of four energetic sources (corn, wheat meal, broken rice and sorghum) and also three processing (raw, pelletized and extruded), with three replicates. In the GTT assay were used polynomic regressions. In the digestibility assay were used the system of Guelph modified. Statistical differences were not observed among the blocks. The higher average values of the ADC of CP were observed in the pelletized sources, while in ADC for EE higher averages values went to the pelletized or raw sources. The extrusion determined the smallest averages values of the ADC of all studied sources for both CP and EE. The ADCs of the starch for these three sources: corn, broken rice and sorghum were higher with the extrusion or the pelletization. The ADC of the raw starch in the broken rice was the less efficient and the wheat meal obtained high digestibility of the starch in despite of processing. The corn and sorghum pelletized or extruded showed a GTT of 10 hours, while the broken rice GTT of 11 hours and the wheat meal 8 hours. The GTT for the raw sources was different comparing to all the other studied sources. The results show accentuated reduction in the speed of the transit time in the processed sources, especially in the initial hours of the transit, comparing to raw sources, and with higher evidence to the broken rice.

Key words: tilapia; digestibility; transit time; energetic ingredient; processing; starch.

Introdução

A forma de melhorar nutricionalmente a qualidade da dieta dos peixes é quantificar a capacidade desses animais de digerir os alimentos. Isso pode ser feito por meio da digestibilidade aparente, que auxilia a formulação de dietas que atendam às necessidades nutricionais sem causar alterações deletérias ao animal (Mc GOOGAN e REIGH, 1996).

A utilização de carboidratos por peixes cultivados tem despertado interesse na pesquisa e as investigações na área de nutrição têm abordado a capacidade de utilização deste nutriente em várias espécies, uma vez que o seu aproveitamento em peixes é bastante variável em função do hábito alimentar, constituição do trato digestório, clima da região, tipo de carboidrato e forma como é processado (NRC, 1993; WILSON, 1994; SHIAU, 1997; HEMRE et al., 2002). A digestibilidade do amido depende também, entre outros fatores, das proporções relativas de amilose e amilopectina (KITAMIKADO e TACHINO 1960; RAWLES e LOCHMANN 2003).

Embora essa limitada capacidade para utilização dos carboidratos em peixes seja bastante distinta entre as espécies (BERGOT, 1979; CARRATORE et al., 2002), a modificação térmica tem sido alternativa para melhorar o seu aproveitamento (BERGOT e BREQUE, 1983).

O processamento da dieta, que inclui moagem e calor, melhora a digestão do amido (KAUSHIK e OLIVA-TELES, 1985), enquanto que amidos crus geralmente apresentam baixa digestibilidade (WILSON, 1994). Durante o processo de geleificação, ocorre ruptura da estrutura cristalina do grânulo de amido, tornando sua superfície mais disponível à ação enzimática, melhorando a sua digestibilidade.

A geleificação dos carboidratos e sua influência na digestibilidade e crescimento têm sido bem estudadas em espécies como carpa comum *Cyprinus carpio* (FORNEIRS et al., 1993), truta arco-íris *Oncorhynchus mykiss* (BERGOT e BERQUE 1983; PODOSKINA et al., 1997), pacu *Piaractus mesopotamicus* (FEDRIZI, 2005) e tilápia do Nilo *Oreochromis niloticus* (TOLEDO, 2004).

Outra variável que influencia diretamente a digestão e absorção dos alimentos é a velocidade de passagem ou o tempo de trânsito do alimento pelo trato digestório. A velocidade de trânsito deve ser adequada para permitir que ocorra a digestão e a absorção de alimentos (BALDISSEROTTO 2009). Dessa forma, analisando as modificações que ocorrem nos alimentos processados, como a solubilização de fibras (VRANJES et al., 1995) e várias outras alterações nas propriedades físico-químicas dos alimentos devido ao tratamento térmico (TH, 1990), pode-se pressupor que mudanças ocorram no tempo de trânsito gastrointestinal de peixes.

FEDRIZI (2005), em estudo com o pacu, observou que a velocidade de passagem durante as horas iniciais de trânsito gastrointestinal, revelou-se mais lenta para os alimentos processados por peletização e extrusão, e mais rápida para os alimentos crus.

A avaliação de fontes de carboidratos, processados ou não, deve ser investigada, considerando-se o hábito alimentar fitoplanctófago da tilápia em ambiente natural e a diversidade de alimentos energéticos incluídos nas formulações das dietas comerciais (extrusadas ou peletizadas). Assim, o objetivo deste trabalho foi estudar o tempo de trânsito gastrointestinal e a digestibilidade do amido, proteína e lipídeo de dietas contendo alimentos

energéticos (milho, farelo de trigo, quirera de arroz e sorgo), crus ou processados, por peletização ou extrusão.

Material e Métodos

O ensaio experimental foi conduzido na Universidade Estadual Paulista (UNESP), no Centro de Aquicultura (CAUNESP), no Laboratório de Nutrição de Organismos Aquáticos (LANOA), localizado na cidade de Jaboticabal, estado de São Paulo.

Processamento dos alimentos energéticos

Os alimentos energéticos estudados, milho, farelo de trigo, quirera de arroz e sorgo (Tabela 1), foram moídos em moinho martelo, JF Nogueira modelo H5-F3, com peneira de porosidade 0,5mm de diâmetro. Posteriormente, cada alimento foi processado por peletização ou extrusão, pré-seco ao sol, sendo em seguida levado para a secagem definitiva em estufa à 55°C, durante um período de 24 horas. Depois de seco, foi realizada novamente a moagem de cada alimento, seguido do ensacamento e armazenamento a -20°C para posterior inclusão nas dietas-teste.

A extrusão dos alimentos foi realizada em extrusora Extrudercenter, modelo MAB 400S, com canhão de rosca simples, injeção de vapor de água no condicionador e alta pressão, atingindo temperatura média de 120°C. Cada alimento exigiu temperatura e pressão específica para garantir, aparentemente, o mesmo grau de geleificação do amido e sua extrusão. A temperatura média dos péletes na saída da extrusora foi de 94,5°C.

Tabela 1- Composição químico-bromatológica analisada dos alimentos energéticos crus, peletizados e extrusados.

Alimento	Process. ¹	MS ² (%)	PB ³ (%)	EE ⁴ (%)	FDN ⁵ (%)	MM ⁶ (%)	CNF ⁷ (%)	AMIDO (%)	AML ⁸ (%)	AMP ⁹ (%)	EB ¹⁰ (kcal.kg ⁻¹)
Milho	<i>Cru</i>	90,4	9,6	5,1	6,4	1,3	68,0	62,0	21,5	78,1	3926
	<i>Peletizado</i>	91,2	9,3	4,8	6,5	1,2	69,4	62,4	27,3	72,7	3945
	<i>Extrusado</i>	90,9	8,9	4,4	6,9	1,2	69,5	62,2	21,2	78,5	3931
Farelo de Trigo	<i>Cru</i>	92,7	15,9	5,6	26,7	4,6	39,9	25,3	3,0	97,0	4053
	<i>Peletizado</i>	91,5	15,7	5,2	26,2	4,9	39,5	25,3	2,9	97,1	4031
	<i>Extrusado</i>	92,8	14,1	4,2	10,4	3,8	60,3	25,1	3,6	96,4	3953
Quirera de Arroz	<i>Cru</i>	88,0	8,4	1,3	0,5	0,6	77,2	76,5	27,7	72,3	3646
	<i>Peletizado</i>	89,7	8,5	1,4	0,4	0,7	78,7	76,3	27,5	72,5	3610
	<i>Extrusado</i>	89,8	8,1	1,4	0,4	0,7	79,2	76,2	24,3	75,8	3622
Sorgo	<i>Cru</i>	89,7	11,1	3,7	9,3	3,3	62,3	56,1	23,2	76,8	3798
	<i>Peletizado</i>	91,4	11,2	3,4	9,6	3,3	63,9	56,6	19,7	80,3	3816
	<i>Extrusado</i>	91,0	10,8	3,2	9,4	3,7	63,9	56,4	19,6	80,4	3782

¹ – Processamento térmico; ² – Matéria seca; ³ – Proteína seca; ⁴ – Extrato etéreo; ⁵ – Fibra em detergente neutro; ⁶ – Matéria mineral; ⁷ – Carboidratos não fibrosos MS- (PB + EE + FDN+MM); ⁸ – Amilose; ⁹ – Amilopectina; ¹⁰ – Energia bruta.

A peletização foi feita em peletizadora Calibrás, com adição de vapor e água e capacidade de processamento de 300 a 500 kg.hora⁻¹. A temperatura média dos péletes, na saída da matriz da peletizadora, foi de 67,5°C.

Dietas experimentais

Uma dieta de referência (Tabela 2) foi formulada para os estudos de digestibilidade aparente. Sua homogeneização foi realizada em misturador de aço inoxidável em “Y”, por 20 minutos.

Tabela 2 – Composição percentual da dieta de referência

Ingredientes	%
Farinha de peixe (59% de PB)	17,00
Farinha de vísceras de aves	11,00
Farelo de soja (45% de PB)	20,00
Levedura de álcool	15,00
Gérmen de trigo	14,00
Óleo de soja	4,00
Celulose microfina	7,00
Fosfato bicálcico	1,00
BHT	2,00
Sal comum	2,00
Suplemento mineral e vitamínico ¹	2,00
Caulim	5,00
<i>Composição Analisada</i>	
Matéria seca (%MS)	88,00
Proteína Bruta (%PB)	34,81
Extrato Etéreo (%EE)	8,55
Fibra em Detergente Neutro (%FDN)	18,34
Matéria Mineral (%MM)	7,30
Carboidratos não fibrosos (%CNF)	19,00
Amido (%AM)	7,00
Energia Bruta (EB) em Kcal/kg	4069,02

¹ Suplemento mineral e vitamínico Polinutri, níveis de garantia por kg de produto: Vitamina A 860.000 UI; Vitamina D3 240.000 UI; Vitamina E 10.500 UI; Vitamina K3 1400 mg; vitamina B1 2100 mg; Vitamina B2 2150 mg; Vitamina B6 2100 mg; Vitamina B12 2200 mcg; Niacina 10.000 mg; Pantotenato de Cálcio 5600 mg; Ácido fólico 580 mg; Biotina 17 mg; Vitamina C 18000 mg; Metionina 100.000 mg; Colina 60.000 mg; Cobre 1800 mg; Manganês 5000 mg; Zinco 8000 mg;

Iodo 90 mg; Cobalto 55 mg; Selênio 30 mg; Antioxidante 10000 mg.

Foram formuladas 12 dietas-teste (Tabela 3), utilizando 49% da dieta de referência e 50% de um dos quatro alimentos energéticos estudados (milho, farelo de trigo, quirera de arroz e sorgo), crus (não processados), ou previamente peletizados ou extrusados, conforme descrito no item anterior. Considerando os objetivos do presente trabalho e a baixa porcentagem de carboidratos da dieta de referência, utilizou-se a inclusão de 50% da fonte a ser testada para que fosse possível atingir maiores níveis de carboidratos nas dietas-teste. Posteriormente, para cada dieta experimental foi adicionado 1% de indicador inerte (Cr_2O_3 , óxido crômico ou TiO_2 , óxido de titânio usados nos estudos de digestibilidade e tempo de trânsito gastrintestinal - TTG, respectivamente). As dietas-teste e a dieta de referência foram umedecidas a 50% com água e processadas em moedor de carne C.A.F. modelo 22S, para formação dos péletes, os quais foram secos em estufa com circulação forçada de ar à 55°C, por 20 horas. Após atingirem a temperatura ambiente, foram acondicionadas em sacos plásticos e armazenadas a -20°C.

Peixes e condições experimentais

Foram utilizados 378 juvenis de tilápia do Nilo revertidos sexualmente, divididos em três blocos de acordo com o peso. Os peixes menores (20 a 40g) pertenciam ao bloco A; peixes entre 41 e 60g ao bloco B e peixes entre 61 e 120g no bloco C.

Tabela 3- Composição analisada das dietas-teste

Dietas com:	Processamento	MS¹ (%)	PB² (%)	EE³ (%)	FDN⁴ (%)	MM⁵ (%)	CNF⁶ (%)	AMIDO (%)	EB⁷ (kcal.kg⁻¹)
Milho	<i>Cru</i>	91,34	22,23	8,42	11,36	9,33	40,00	36,3	3976
	<i>Peletizado</i>	91,63	22,28	7,72	12,41	9,00	40,22	36,1	3891
	<i>Extrusado</i>	91,43	21,88	8,07	11,98	9,12	40,38	36,1	3942
Farelo de Trigo	<i>Cru</i>	91,47	25,75	7,80	22,01	10,83	25,08	17,2	4042
	<i>Peletizado</i>	91,94	25,00	7,63	22,26	10,66	26,39	17,3	4012
	<i>Extrusado</i>	91,49	24,62	8,89	14,36	10,75	32,87	17,3	3994
Quirera de Arroz	<i>Cru</i>	91,31	21,72	5,85	9,2	8,83	45,71	41,4	3878
	<i>Peletizado</i>	91,65	22,61	6,17	8,87	8,99	45,01	41,1	3895
	<i>Extrusado</i>	91,83	21,56	6,24	9,03	8,73	46,27	41,0	3881
Sorgo	<i>Cru</i>	90,97	22,20	7,06	13,33	10,09	38,29	33,2	3917
	<i>Peletizado</i>	91,59	22,09	7,37	13,46	10,61	38,06	33,0	3955
	<i>Extrusado</i>	91,67	21,50	7,14	13,86	10,37	38,08	33,2	3951

¹ – Matéria seca; ² – Proteína bruta; ³ – Extrato etéreo; ⁴ – Fibra em detergente neutro; ⁵ – Matéria mineral; ⁶ – Carboidratos não fibrosos; ⁷ – Energia bruta.

O experimento foi desenvolvido em 39 caixas de fibrocimento, com 100L (blocos A e B) ou 150L (bloco C) de capacidade. Estas caixas eram abastecidas continuamente de água proveniente de poço artesiano com aeração constante, por meio de assoprador central. As caixas experimentais foram distribuídas igualmente para os três blocos, somente mudando-se a quantidade de peixes em cada um. No bloco A foram estocados doze peixes por caixa; no bloco B, dez peixes e no bloco C, sete peixes.

A qualidade da água utilizada foi monitorada uma vez por semana, sempre às 15h00, medindo as seguintes variáveis limnológicas: temperatura, pH e oxigênio dissolvido, utilizando-se peagômetro da marca *Corning* pH-30 e oxímetro YSI 55. A cada dois dias, as caixas foram sifonadas para a retirada de material decantado.

Procedimento experimental – digestibilidade aparente dos nutrientes

Inicialmente os peixes passaram por um período de sete dias de adaptação às condições experimentais do laboratório. Nesse período foram alimentados com ração comercial extrusada contendo 28 % de proteína bruta, uma vez ao dia. Posteriormente, os peixes foram alimentados até a saciedade aparente com a dieta de referência durante dois dias, e em seguida as dietas-teste começaram a ser fornecidas por mais três dias. No quarto dia foi realizada a coleta das fezes. Os peixes foram alimentados pela manhã e pela tarde até saciação e, no mesmo dia da coleta, antes do seu início.

Para coleta das fezes foram utilizados coletores construídos segundo o sistema de Guelph modificado, como descrito por GONÇALVES e CARNEIRO (2003), utilizando coletores de fibra de vidro de 80 litros de capacidade.

Após os três dias de alimentação com as dietas-teste, os peixes de cada unidade experimental foram levados para um coletor. As fezes dos peixes de cada parcela foram coletadas em intervalos de 20min para evitar perdas de nutrientes por lixiviação, até que fossem recolhidas quantidades suficientes de cada amostra. Durante o tempo da coleta, das 9h00 até 18h00, as fezes dos peixes foram recolhidas dos coletores e transferidas para pequenos potes de plástico com tampa, e armazenados em geladeira, e depois a -20°C, após a última coleta do dia.

Terminada a fase de coleta, as amostras foram liofilizadas em liofilizador Savant ModulayD, modelo VLP 200. Posteriormente foram moídas em almofariz e armazenadas novamente a -20°C até que fossem realizadas as análises químico-bromatológicas.

Para a determinação dos coeficientes de digestibilidade aparente (CDA), tanto da dieta de referência quanto das dietas-teste, foi utilizada a metodologia descrita por NOSE (1966), por meio da seguinte equação:

$$CDA = 100 - 100 \times \left(\frac{\% \text{ indicador na dieta}}{\% \text{ indicador nas fezes}} \right) \times \left(\frac{\% \text{ nutrientes ou energia fezes}}{\% \text{ nutrientes ou energia dieta}} \right)$$

Os valores de coeficiente de digestibilidade aparente dos nutrientes e da energia dos alimentos estudados foram determinados segundo fórmula proposta por CHO et al. (1982), baseada na proporção 49%:50% de dieta de referência : ingrediente teste, segundo a fórmula:

$$CDA_i \% = \frac{100}{\% \text{ ingrediente teste}} \times \left(\text{Teste} - \frac{\% \text{ dieta de referencia}}{100} \times \text{Referência} \right)$$

Sendo,

CDA_i= coeficiente de digestibilidade aparente do ingrediente;

Teste= digestibilidade aparente do nutriente na dieta-teste;

Referência= digestibilidade aparente do nutriente na dieta de referência.

Procedimento experimental – tempo de trânsito gastrintestinal

Para avaliação dos tempos de trânsito gastrintestinal das dietas experimentais foi utilizado o método descrito por STOREBAKKEN et al. (1998).

Os peixes foram alimentados com as dietas-teste (Tabela 3), marcadas com 1,0% de um dos óxidos utilizados. Primeiramente, foram alimentados por três dias com as dietas marcadas com TiO₂, que confere coloração branca as fezes e, posteriormente, foram alimentados com as dietas marcadas com Cr₂O₃ que confere a cor verde.

A partir do momento em que os peixes foram alimentados com a dieta com Cr₂O₃, foi marcado o horário inicial e, a partir daí, começou a contar o tempo de trânsito. Quatro horas após o início foi feita a primeira amostragem de fezes, e depois a cada duas horas.

Os peixes foram anestesiados com benzocaína (1g/10L de água), e a coleta foi feita por leve pressão na região abdominal do peixe, próximo ao ânus, para averiguação da coloração das fezes. As amostras receberam notas 0; 0,25; 0,50; 0,75 ou 1,0, de acordo com a intensidade da cor verde. Foi considerado completado o TTG dos peixes de um tratamento experimental quando todos os peixes de uma repetição obtiveram a média máxima de pontos (1,0).

Procedimentos analíticos

As análises de proteína, lipídeos, matéria mineral e energia dos alimentos, rações e fezes foram realizadas de acordo com as metodologias descritas pela Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2000). Todas as análises foram realizadas na UNESP, Câmpus de Jaboticabal. No Laboratório de Nutrição de Organismos Aquáticos do CAUNESP foram realizadas as análises de proteína e lipídeos. As análises de matéria mineral, fibra em detergente neutro e energia foram realizadas no Laboratório de Análise de Alimentos (LANA), e as análises de amido e Cr_2O_3 no Laboratório de Morfologia e Fisiologia Animal.

- *Extrato etéreo (EE)*

A análise de EE foi realizada utilizando-se éter de petróleo como solvente e utilizando o aparelho de extração Soxhlet, com refluxo contínuo pela amostra por seis horas, para amostras cruas. Nas amostras peletizadas ou extrusadas, utilizou-se primeiramente hidrólise ácida (HCl) e, posteriormente, a extração da gordura com mistura de éteres de petróleo e etílico (1:1).

- *Fibra em detergente neutro (FDN)*

A análise de FDN foi realizada de acordo com a metodologia proposta por VAN SOEST et al. (1994), com a realização de tratamento prévio das amostras pela adição de amilase termoestável, para a remoção do amido. As amostras utilizadas já estavam previamente desengorduradas.

- *Amido (AMD)*

A análise de amido seguiu a metodologia de HENDRIX (1993), modificada pela utilização do método glicose-oxidase (KARKALAS, 1985).

- *Amilose e Amilopectina*

A análise de amilose / amilopectina foi realizada pela determinação do teor de amilose, que representa o conteúdo total de um dos polissacarídeos constituintes da molécula de amido, segundo o INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (1987). Essas análises foram realizadas no Centro de Raízes e Amidos Tropicais – CERAT, Fazenda Experimental Lageado, UNESP – Câmpus de Botucatu.

- *Carboidratos não fibrosos (CNF)*

O teor de CNF foi obtido subtraindo da matéria seca o total de nutrientes analisados, incluindo a fibra em detergente neutro.

- *Óxido crômico*

O teor de Cr_2O_3 usado como indicador foi determinado nas rações e fezes utilizando-se o método descrito por FURUKAWA e TSUKAHARA (1976).

Delineamento experimental e análises estatísticas

Para a análise dos resultados do experimento de digestibilidade foi utilizado um delineamento em blocos casualizados (DBC), que controlaram as três classes de peso, com 12 tratamentos em esquema fatorial 4x3 correspondente aos quatro alimentos energéticos estudados e aos três processamentos a que foram submetidos.

Para análise dos resultados de tempo de trânsito gastrointestinal foram realizadas regressões polinomiais, considerando o tempo de passagem e as notas de coloração para a verificação do comportamento dos dados durante o tempo de trânsito do alimento no trato gastrointestinal.

Os dados de digestibilidade foram analisados pelo programa Statistical Analysis System SAS® v.9 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA), pela análise de

variância (ANOVA). Quando houve significância estatística, foi aplicado o teste de Tukey ($P < 0,05$), para comparação das médias. Todas as variáveis foram avaliadas quanto à normalidade (Cramer-von Mises) e homocedasticidade das variâncias (Levene's).

Para a análise das regressões polinomiais foi utilizado o programa Statistical Analysis System SAS® v.9 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA), para determinação dos valores de F e das equações. O programa Microsoft Excell® foi utilizado para construção dos gráficos de regressão.

Resultados

Condições ambientais

As médias observadas para as variáveis físico-químicas de qualidade da água nas caixas durante todo o período experimental foram: temperatura de $29,3 \pm 0,52^{\circ}\text{C}$; pH de $7,75 \pm 0,23$ e oxigênio dissolvido de $5,49 \pm 0,58\text{mg/L}$. Segundo EL-SAYED (2006), a tilápia suporta níveis baixos de oxigênio dissolvido. A faixa de temperatura entre 20 a 35°C é considerada pelo autor, normal para o desenvolvimento da tilápia. Porém, segundo KUBITZA (2000), a temperatura de conforto para o cultivo da tilápia deve estar entre 27 e 32°C e a faixa de pH considerada adequada está entre 6,0 e 8,5. Desta forma, os valores médios de temperatura, oxigênio dissolvido e pH estiveram dentro das recomendações para o cultivo da tilápia.

Digestibilidade aparente

Em todos os tratamentos estudados não foram observadas diferenças estatísticas entre blocos. Os resultados das médias dos CDA da PB, EE e do

amido dos alimentos e seus respectivos processamentos são apresentados na Tabela 4.

As análises dos CDA da PB e EE não apresentaram diferença estatística entre alimentos estudados; entretanto, os processamentos afetaram significativamente ($P < 0,01$), sendo as maiores médias de CDA da PB para os alimentos peletizados. As maiores médias de CDA para EE foram encontradas quando os alimentos estavam crus ou processados por peletização. Todos os alimentos quando submetidos ao processamento de extrusão apresentaram menores médias de CDA em relação aos alimentos peletizados, tanto para PB quanto para o EE.

As análises dos CDA do amido apresentaram interação significativa ($P < 0,01$), entre os fatores estudados (Tabela 4).

Tabela 4. Valores de F e médias para os coeficientes de digestibilidade aparente (CDA) dos nutrientes para juvenis de tilápia do Nilo.

Estatística	Valores de F para os CDA		
	PB ¹	EE ²	Amido
Efeito do Alimento (A)	1,50 ^{ns}	2,59 ^{ns}	15,73**
Efeito do Processamento (P)	44,47**	73,15**	73,83**
Efeito da interação (A x P)	1,59 ^{ns}	0,89 ^{ns}	11,31**
Efeito do Bloco (B)	1,45 ^{ns}	1,05 ^{ns}	0,37 ^{ns}
CV (%)	3,95	6,98	9,25
Médias para os alimentos (%):			
Milho	86,35	84,74	79,93
Farelo de Trigo	85,13	84,52	94,08
Quirera de Arroz	85,08	82,47	78,71
Sorgo	87,08	78,07	89,09
Médias para processamentos (%):			
Cru	82,35 ^b	92,92 ^a	69,59
Peletizado	91,13 ^a	88,17 ^a	91,59
Extrusado	84,25 ^b	66,27 ^b	95,18

Médias seguidas com a mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P > 0,05$).

** - significativo ao nível de 1% de probabilidade; ^{ns} – não significativo.

¹ – Proteína bruta; ² – Extrato etéreo.

Os resultados da interação dos efeitos estudados nas médias de CDA do amido (Tabela 5 e Figura 1) indicaram que, tanto o processamento de extrusão

quanto o de peletização aumentaram as médias de CDA nas dietas com milho, quirera de arroz ou sorgo, em relação às dietas com esses alimentos crus, com acentuado benefício destes processamentos para a dieta com quirera de arroz. O desdobramento mostrou que quando os alimentos estavam crus, a dieta com quirera de arroz apresentou a menor média de CDA do amido, enquanto que o sorgo e o milho apresentaram resultados intermediários. Independentemente do processamento, a dieta com farelo de trigo apresentou bons coeficientes de digestibilidade do amido para a tilápia, sendo o único alimento com alta digestibilidade quando cru, entre as demais fontes avaliadas neste estudo.

Tabela 5. Médias de digestibilidade aparente de amido (%) na interação entre as fontes e os processamentos dos alimentos.

Processamentos	Alimentos energéticos			
	Milho	F. de trigo	Q. de arroz	Sorgo
Cru	65,72 ^{Bb}	92,67 ^{Aa}	48,16 ^{Bc}	71,79 ^{Bb}
Peletizado	87,79 ^{ABb}	95,43 ^{Aa}	91,91 ^{Aab}	98,22 ^{Aa}
Extrusado	93,27 ^{Aa}	94,14 ^{Aa}	96,06 ^{Aa}	97,26 ^{Aa}

Médias com mesmas letras (maiúsculas na coluna e minúsculas na linha) não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P>0,05$)

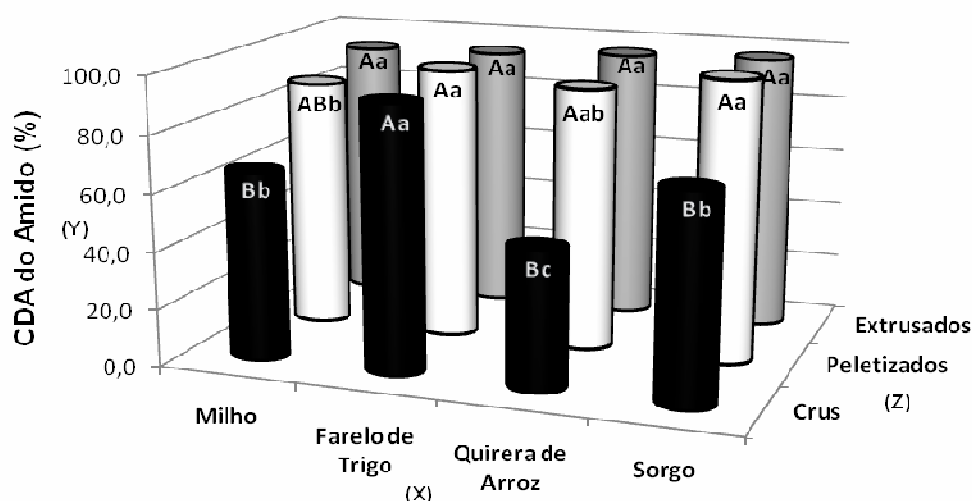


Figura 1. Médias de coeficientes de digestibilidade aparente do amido (Y), no estudo da interação de alimentos energéticos (X) e processamentos (Z) de juvenis de tilápia. Médias com mesma letra (minúsculas no eixo X e maiúsculas no eixo Z) não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P>0,05$).

Tempo de Trânsito Gastrintestinal

De acordo com a Tabela 6, os alimentos, quando peletizados ou extrusados, apresentaram maior TTG em relação aos alimentos crus. As dietas com farelo de trigo apresentaram os menores TTG, as dietas com quirera de arroz, os maiores, e o milho e sorgo não diferiram. O farelo de trigo proporcionou o menor TTG dentre todos os alimentos crus.

Tabela 6. Tempos de trânsito em horas das dietas-teste no trato gastrintestinal de juvenis de tilápia do Nilo.

Processamentos	Alimentos energéticos			
	Milho	F. de trigo	Q. de arroz	Sorgo
Cru	8	6	10	8
Peletizado	10	8	11	10
Extrusado	10	8	11	10

Os resultados observados nas análises de regressão polinomial, realizadas com os tempos de passagem do alimento pelo trato gastrintestinal dos peixes são apresentados na Tabela 7. As dietas com milho cru ou quirera de arroz cru apresentaram equações com correlação quadrática e as dietas com os mesmos alimentos, processados por peletização ou extrusão, apresentaram equações com correlação cúbica. Já as dietas com farelo de trigo ou sorgo peletizados apresentaram correlação linear e, quando extrusados, apresentaram correlação quadrática. Nas dietas com esses mesmos alimentos crus, a equação encontrada foi quadrática para farelo de trigo e cúbica para o sorgo.

Tabela 7- Valores de F, coeficientes de correlação e equações das análises de regressão polinomial, para o efeito da velocidade de trânsito gastrointestinal das dietas estudadas.

Alimento / Process. ¹		Estatística		
		Equações	F	R ²
Milho	<i>Cru</i>	$y = -0,0168x^2 + 0,3334x - 0,632$	80,48**	0,98
	<i>Peletizado</i>	$y = -0,0030x^3 + 0,0472x^2 - 0,0723x - 0,036$	4,36*	0,97
	<i>Extrusado</i>	$y = -0,0037x^3 + 0,0701x^2 - 0,2555x + 0,257$	7,89*	0,99
Farelo de Trigo	<i>Cru</i>	$y = -0,0290x^2 + 0,4670x - 0,848$	169,00**	0,97
	<i>Peletizado</i>	$y = 0,1768x - 0,393$	1960,20**	0,97
	<i>Extrusado</i>	$y = 0,0156x^2 + 0,0062x - 0,062$	177,23**	0,99
Quirera de Arroz	<i>Cru</i>	$y = -0,0174x^2 + 0,3374x - 0,620$	96,14**	0,98
	<i>Peletizado</i>	$y = -0,0060x^3 + 0,1198x^2 - 0,5710x + 0,724$	66,11**	0,97
	<i>Extrusado</i>	$y = -0,0052x^3 + 0,1096x^2 - 0,5526x + 0,732$	62,32**	0,97
Sorgo	<i>Cru</i>	$y = -0,0059x^3 + 0,1020x^2 - 0,3614x + 0,371$	19,20*	0,99
	<i>Peletizado</i>	$y = 0,1268x - 0,296$	456,30**	0,94
	<i>Extrusado</i>	$y = 0,0108x^2 - 0,0033x - 0,043$	12,90*	0,99

¹ – Processamento utilizado nos alimentos.

Os gráficos das equações encontradas para o TTG, para cada tipo de processamento realizado nos produtos estudados, relacionados com a velocidade de passagem do alimento pelo trato gastrointestinal são mostrados na Figura 2.

Analisando a velocidade de passagem das dietas contendo os alimentos energéticos estudados e os seus processamentos, partindo do momento de 6 horas de tempo de trânsito para todos os tratamentos, verificou-se que para a dieta com milho as notas de intensidade de cor das fezes eram de 0,46 para o alimento extrusado, 0,68 peletizado e 0,79 no alimento cru, indicando menor

velocidade de passagem da dieta quando o alimento recebeu tratamento térmico. Esse comportamento dos dados fica ainda mais evidenciado nos demais tratamentos, analisando também o momento de seis horas de tempo de trânsito.

Com 6 horas da ingestão do alimento, a dieta com farelo de trigo apresentou nota 1,0 (100% dos peixes com trânsito gastrintestinal completo), para o alimento cru e nota de 0,75 e 0,50 quando peletizado ou extrusado, respectivamente. As notas para o sorgo foram de 0,54 no alimento cru, 0,43 quando peletizado e 0,32 para o alimento extrusado. Na dieta com quirera de arroz as notas foram de 0,86 no alimento cru, 0,21 peletizado e 0,11 quando extrusado (Figura 2). Os dados mostram acentuada diminuição na velocidade de trânsito dos alimentos processados, sobretudo nas horas iniciais de tempo de trânsito em relação aos alimentos crus, com maior evidência para a quirera de arroz (Figura 2).

Observou-se também que o tempo de trânsito das dietas contendo sorgo ou quirera de arroz, quando peletizadas ou extrusadas, apresentaram as menores velocidades de trânsito nas horas iniciais da passagem do alimento pelo trato gastrintestinal, em relação aos demais tratamentos com os mesmos processamentos.

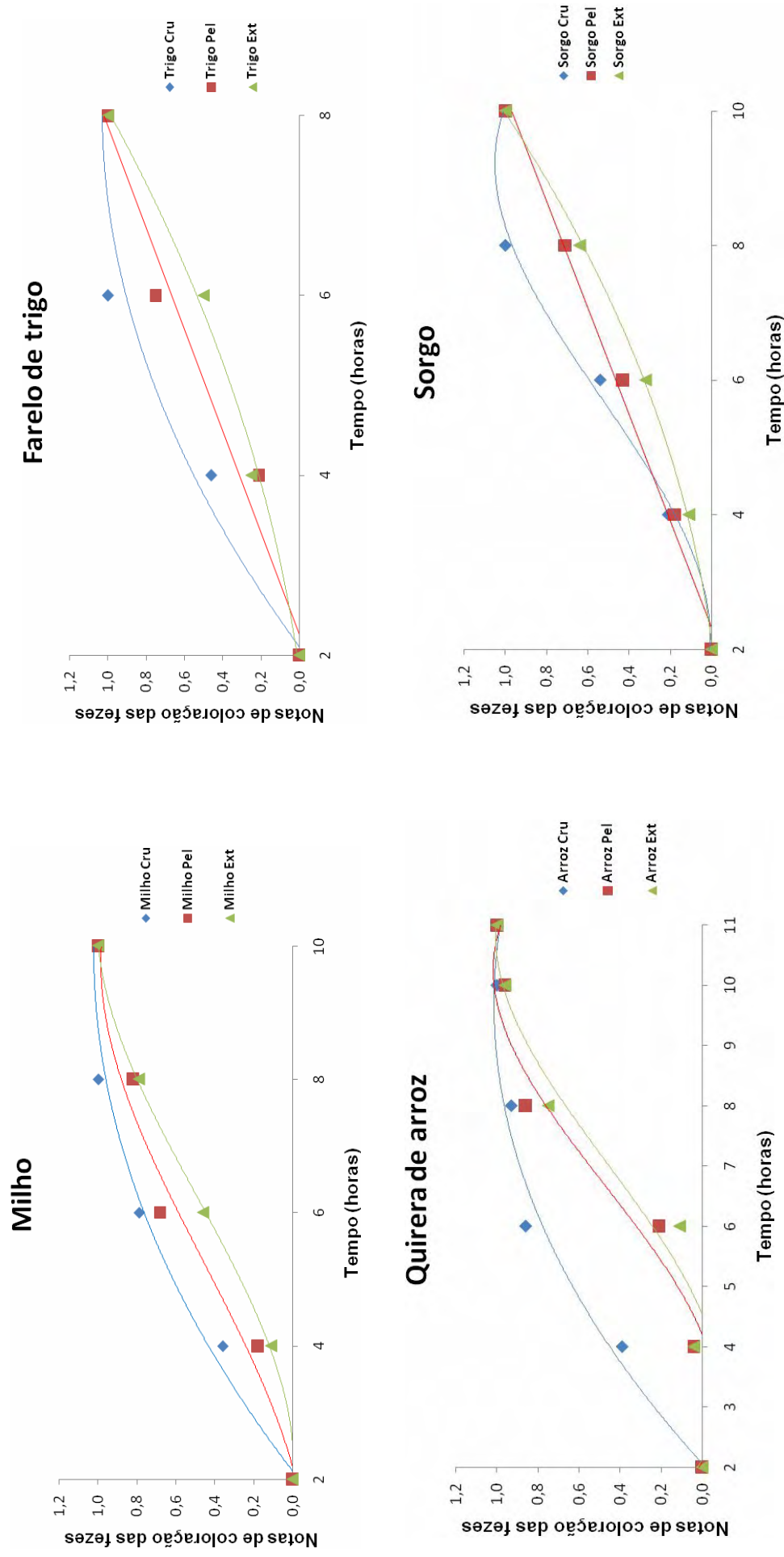


Figura 2. Curvas de TTG, para cada alimento em função do processamento realizado, relacionados com a velocidade de passagem do alimento pelo trato gastrointestinal, observados durante o tempo total de trânsito.

Discussão

Coeficientes de digestibilidade aparente dos alimentos energéticos

As médias dos CDA da proteína e lipídeos dos alimentos energéticos estudados foram relativamente altas (86,35 e 84,74% para o milho; 85,13 e 84,52% para o farelo de trigo; 85,08 e 82,47% para a Q. de arroz e 87,08 e 78,07% para o sorgo, respectivamente). BOSCOLO et al. (2002) também encontraram altos valores médios de CDA da proteína para a tilápia nilótica (93,40% para o milho e 91,0% para o trigo), assim como PEZZATO et al. (2002a), que obtiveram valor médio de 91,66% de CDA da proteína para o milho. Os mesmos autores também encontraram para o milho, CDA do lipídeo de 69,02%, inferior ao obtido nesse estudo. Já TAKEUCHI et al. (1994) encontraram na carpa capim, valor de 87,70% para este nutriente. Analisando o CDA do lipídeo, SALLUM et al. (2002) observaram valor de 47,58% de CDA deste nutriente para o farelo de trigo em juvenis de matrinxã (*Brycon macrocephalus*).

Os distintos valores de digestibilidade observados na literatura para o farelo de trigo podem estar relacionados aos teores de fibra presente neste alimento, que podem ocasionar aumento da velocidade de trânsito do alimento no trato intestinal dos peixes, ou mesmo efeitos nutricionais negativos provenientes das pentosanas e B-glucanas, fatores antinutricionais que estão presentes neste alimento, dificultando a ação das enzimas digestivas (SCHUTTE, 1991). Além dos fatores mencionados, esse alimento apresenta os menores teores de amido em relação aos demais alimentos estudados. Assim, pode-se inferir que o aproveitamento dos nutrientes do farelo de trigo depende

da variedade e da qualidade deste alimento utilizado nas rações comerciais, da porcentagem de inclusão e também da espécie de peixe estudado.

Os valores de digestibilidade aparente da PB encontrados nas dietas com sorgo contrastam com os baixos valores obtidos no estudo de PEZZATO et al. (2002a), que determinaram CDA de 67,83% para este nutriente, em estudo com a tilápia nilótica. Já ABIMORAD e CARNEIRO (2004) e FEDRIZI (2005) determinaram valores similares aos deste estudo (92,93 e 86,84%, respectivamente), ao avaliarem a digestibilidade da PB do sorgo em juvenis de pacu. O mesmo pode ser inferido para o sorgo quanto ao CDA dos lipídeos, que foi elevado nesse estudo (78,07%), quando comparados com o trabalho de PEZZATO et al. (2002b), também com a tilápia nilótica, que determinaram valor de 38,61% para este nutriente.

Os maiores valores de CDA da PB e EE do sorgo encontrados no presente trabalho podem estar relacionados, provavelmente, à menor quantidade de taninos presente nos grãos de sorgo utilizados. MAGALHÃES et al. (2006) mencionaram que algumas variedades de sorgo podem estar livres de taninos, mas não de outros compostos fenólicos, como o ácido fenólico e/ou flavonóides.

Os altos valores dos CDA do amido observados nas dietas processadas por peletização ou extrusão, sem diferença significativa entre as mesmas, mostram a capacidade que a tilápia nilótica possui em aproveitar níveis elevados de carboidratos geleificados (até 45% de CNF nesse estudo) diferentemente das dietas com os alimentos crus, que apresentaram baixa digestibilidade. Todavia, a dieta com farelo de trigo obteve altos valores de digestibilidade, independente do processamento empregado.

SPANNHOF e PLANTIKOW (1983) não recomendaram a inclusão de amido cru nas dietas para truta arco-íris, devido ao possível aumento na velocidade de trânsito do quimo ao longo do trato digestório, reduzindo, portanto, o tempo disponível para absorção.

Nesse estudo, a digestibilidade do amido do farelo de trigo foi alta para ambos os processamentos e, inclusive, para a dieta com esse alimento cru. Esses resultados provavelmente estão relacionados aos menores teores de amido presentes nessas dietas, e que poderiam otimizar a absorção deste nutriente. Contudo, na análise da relação amilose/amilopectina desse alimento, observou-se que o mesmo possui relação de 3/97, enquanto que os demais alimentos entre 20-23/73-80.

RAWLES e LOCHMANN (2003) estudaram a utilização de fontes de carboidratos com diferente relação amilose/amilopectina pelo “sunshine bass” (*Morone chrysops* x *M. saxatilis*). Os autores explicaram que a rápida liberação de glicose a partir da amilopectina é causada pelos seus múltiplos pontos de ramificação, que proporcionam locais para a ação da amilase. Além disso, as cadeias laterais curtas de glicose proporcionam maior área para melhor mobilidade da amilase ao longo delas. Dessa forma, a dieta com o farelo de trigo utilizado nesse estudo, com mais de 96% de amilopectina presente na composição amídica desse alimento, poderia ter sido beneficiada dessa relação durante o processo digestivo na tilápia nilótica.

Os resultados deste trabalho também mostraram que a peletização promoveu, de forma geral, as maiores médias de digestibilidade dos nutrientes estudados, comparados com as médias obtidas por extrusão, com exceção do amido, que alcançou alta digestibilidade nos alimentos peletizados e também

nos extrusados. Da mesma forma, estudando a digestibilidade da matéria seca, proteína e energia de dietas contendo níveis de carboidratos e lipídeos para a tilápia nilótica, TOLEDO (2004) observou que os coeficientes de digestibilidade foram menores nas dietas extrusadas. O autor relatou que os níveis de 6% de lipídeos e 40% de carboidratos foram os melhores para a tilápia nilótica. Em outro estudo, utilizando a mesma espécie, ANTONIO (2004) observou médias de coeficientes de digestibilidade aparente de proteína bruta semelhantes para os milhos peletizado e extrusado (85,3 e 85,1%, respectivamente) enquanto que para algumas dietas extrusadas, a média do CDA dos nutrientes foi inferior ao do alimento peletizado. As observações da autora corroboram o estudo realizado por FEDRIZI (2005) com o pacu, que obteve menores médias de CDA da proteína e do lipídeo para todas as dietas com alimentos extrusados em comparação com alimentos peletizados.

CHENG e HARDY (2003) compararam os coeficientes de digestibilidade de alimentos extrusados e crus em truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) e encontraram que alguns alimentos como a cevada, o glúten de milho e o trigo apresentaram maiores valores médios de coeficientes de digestibilidade da proteína quando não passaram pela extrusão.

As menores médias de CDA dos alimentos extrusados neste estudo podem estar relacionadas ao processamento inadequado dos alimentos estudados quando se utilizou a extrusora, uma vez que apenas os alimentos energéticos foram processados e com isso a regulação do equipamento foi diferente em cada fonte, para que fosse possível obter a expansão do amido no final da matriz. Segundo, Armour et al. (1998); Alonso et al. (1998, 2000), citados por SINGH et al. (2007), durante o processamento de extrusão podem

ocorrer fatores benéficos aos alimentos, devido às altas temperaturas alcançadas, como a destruição de fatores antinutricionais (especialmente os inibidores de tripsinas, hemaglutininas, taninos e fitatos), mas também alterações nutricionalmente negativas, como a reação de Maillard (compostos de carbono) e degradação de Strecker, que são reações químicas responsáveis pela diminuição da digestibilidade de nutrientes da ração.

De acordo com STANLEY (1989), o aumento de calor e baixas umidades aumentam a taxa de formação de complexos estruturais de moléculas com alto peso molecular, pela interação com os produtos da reação de Maillard, acreditando-se ser este um dos fatores de perda do valor nutricional da proteína.

No mesmo sentido, OLIVA-TELES et al. (1994) relataram que a digestibilidade pode variar em função do processamento, especialmente com relação à temperatura utilizada na obtenção do produto. Este fato também foi confirmado por PIKE et al. (1990), quando citaram que o processamento inadequado pode implicar em menor digestibilidade dos nutrientes ao se utilizar a extrusora, uma vez que sua regulação é específica para a mistura que compõe a ração.

De maneira geral, os resultados deste estudo demonstraram bom aproveitamento das frações protéicas, lipídicas e amido dos alimentos energéticos utilizados pela tilápia. Ainda que esses alimentos apresentem baixos valores de PB e EE na sua composição, são alimentos amplamente utilizados nas rações para peixes, com altas porcentagens de inclusão nas mesmas e, dessa maneira, é importante obter maiores taxas de digestibilidade dos nutrientes que compõe os mesmos.

Tempo de trânsito gastrintestinal

O tempo de trânsito das dietas com alimentos peletizados ou extrusados variou de 8 a 11 horas de tempo total. Nas dietas com alimentos crus, os tempos foram de 6 a 10 horas. LANNA et al. (2004) observaram, em estudo com a tilápia nilótica, tempos que variaram em função da porcentagem de fibra bruta da dieta, com valores de 2,5; 5; 7,5; 10 e 12,5% de FB. Os tempos obtidos foram de 13:32; 12:45; 11:49; 11:22 e 9:56 horas, respectivamente.

Os teores de fibra utilizados no presente estudo foram de 9 até 22% aproximadamente, considerando a fibra total (FDN – Fibra em detergente neutro), uma vez que essa análise não subestima a fração hemicelulose indigestível das dietas.

Os elevados teores de fibra observados nas dietas com farelo de trigo provavelmente resultaram em TTG mais rápido nas tilápias alimentadas com essas dietas. ESQUIVEL et al. (1998), trabalhando com alevinos de piracanjuba alimentados com rações com níveis variáveis de fibra bruta (5; 7; 8 e 9%), concluíram que o nível de 9% de fibra bruta em dietas práticas diminuiu o tempo médio de passagem, interferindo no aproveitamento dos nutrientes e diminuindo a digestibilidade aparente da proteína bruta.

As maiores médias de tempo de trânsito das dietas com alimentos peletizados ou extrusados, provavelmente proporcionou maior tempo de exposição dos alimentos às enzimas digestivas, influenciando positivamente os coeficientes de digestibilidade do amido dos alimentos submetidos a estes processamentos, evidenciado nos resultados de digestibilidade aparente deste estudo.

O tempo de permanência do alimento no sistema digestório está diretamente ligado a digestibilidade. É importante conhecer o tempo de esvaziamento do trato digestório nos peixes, pois ele determinará quando o peixe irá se alimentar novamente. Peixes que esvaziam mais rapidamente o intestino apresentam maior apetite, ou seja, precisam ser alimentados com maior frequência (ROTTA, 2003).

As dietas com quirera de arroz foram as que promoveram os maiores tempos de trânsito registrados (10 horas cru e 11 horas com processamento), em relação aos demais tratamentos. Esse maior tempo pode estar relacionado ao fato das dietas apresentarem maior quantidade de carboidratos e amido na sua composição, e também menor quantidade de fibra. Segundo BALDISSEROTTO (2009), os movimentos peristálticos no intestino são regulados por fatores hormonais e nervosos, dessa forma, a peristalse é dependente da disponibilidade de nutrientes no intestino. Sugere-se que mais nutrientes em contato com as vilosidades intestinais, proporcionariam redução dos movimentos peristálticos, para otimizar a absorção dos nutrientes mais disponíveis. Este comportamento provavelmente não teria ocorrido com os alimentos crus.

A velocidade de trânsito mais lenta nas horas iniciais da passagem do alimento pelo trato gastrintestinal pode estar relacionada ao fato da maior parte da digestão ocorrer no intestino anterior e médio (CARNEIRO, 1990).

PEREIRA-FILHO e VERARDINO (1984), em trabalho de revisão realizado com outras espécies, constataram que o intestino médio geralmente é a porção do trato digestório onde ocorre o maior aproveitamento dos nutrientes em peixes. Pode-se ainda sugerir que a velocidade de trânsito mais

lenta nas horas iniciais da digestão possa estar relacionada ao processamento dos alimentos por peletização e extrusão, disponibilizando mais nutrientes ao ataque enzimático devido à geleificação do amido, o que aumentaria a exposição dos sítios para ação enzimática.

Nas dietas com farelo de trigo, apesar de conterem teores mais elevados de fibras presentes e dos tempos de trânsito mais rápidos, os valores de CDA do amido foram elevados, independente do processamento. Provavelmente essa alta digestibilidade possa estar relacionada, principalmente, a menor quantidade de carboidratos e amido dessas dietas, ou ainda às relações amilose/amilopectina deste alimento, facilitando a ação enzimática e maximizando o aproveitamento desse nutriente.

O processamento térmico de alimentos energéticos por peletização mostrou que a geleificação incrementa a digestibilidade dos nutrientes em comparação à ingestão de alimentos energéticos crus. O processamento térmico, tanto a peletização quanto a extrusão promovem redução do tempo de trânsito gastrointestinal na tilápia do Nilo.

Referências

ABIMORAD, E. G.; CARNEIRO, D. J. Métodos de coletas de fezes e determinação dos coeficientes de digestibilidade da fração protéica e da energia dos alimentos para o pacu, *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 5, p. 1101-1109, 2004.

ANTONIO, C. **Efeito da extrusão e da peletização sobre a digestibilidade da fração protéica e da energia de alimentos para juvenis de tilápia do Nilo**. 2004. Monografia (graduação em Zootecnia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Jaboticabal, 2004.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALITICAL CHEMISTS. AOAC. **Official methods of analysis**, 17 ed. Gaithersburg, v. 2, 2000.

BALDISSEROTTO, B. **Fisiologia de peixes aplicada à piscicultura**. Santa Maria. Ed: UFSM, 2009.

BERGOT, F. Carbohydrates in rainbow trout diets: effects of the level and source of carbohydrates and the number of meals on growth and body composition. **Aquaculture**, v. 18, p. 157–167, 1979.

BERGOT, F.; BREQUE, J. Digestibility of starch by rainbow trout: Effects of the physical state of starch and of the intake level. **Aquaculture**, v. 34, p. 203-212, 1983.

BOSCOLO, W. R.; HAYASHI, C.; MEURER, F. Digestibilidade aparente da energia e nutrientes de alimentos convencionais para a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 2, p. 539-545, 2002.

CARNEIRO, D. J. **Efeito da temperatura na exigência de proteína e energia em dietas para alevinos de pacu *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887)**. 1990. Tese (Doutorado em Ecologia e recursos naturais) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1990.

CARRATORE, C. R.; URBINATI, E. C.; PEZZATO, L. E. Desempenho produtivo e digestibilidade aparente de juvenis de pintado (*Pseudoplatystoma coruscans*), alimentados com níveis crescentes de amido de milho. In: XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AQUICULTURA, 2002, Goiânia. **Anais...** Goiânia, 2002.

CHENG, Z. J.; HARDY, R. W. Effects of extrusion processing of feed ingredients on apparent digestibility coefficients of nutrients for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture Nutrition**, Oxford, v. 9, n. 2, p. 77-83, 2003.

CHO, C. Y.; SLINGER, S. J.; BAYLEY, H. S. Bioenergetics of salmonid fishes: energy intake, expenditure and productivity. **Comparative Biochemistry Physiology**, v. 73B, p. 25-41, 1982.

EL-SAYED, A. F. M. **Tilapia culture**. 1.ed. Cambridge: CABI Publishing, 2006. 277p.

ESQUIVEL, J. G. Ação da fibra bruta sobre a digestibilidade aparente da proteína e trânsito gastrointestinal da piracanjuba (*Brycon orbignyanus*). **Boletim técnico CEPTA**, v. 11, p. 59-69, 1998.

FEDRIZI, L. F. B. **Efeito do processamento de alimentos energéticos sobre o tempo de trânsito gastrointestinal e a digestibilidade de nutrientes e energia em juvenis de pacu, *Piaractus mesopotamicus***. 2005. 50f. Dissertação - (Mestrado em Aquicultura) – Centro de Aquicultura da Unesp, Jaboticabal, 2005.

FORNERIS, G.; BOCCIGNONE, M.; PALMEGIANO, G.B.; QUAGLINO, G.; ROAGNA, L. Digestibility of maize and rice in carp (*Cyprinus carpio*) feed processed with starch gelation. **Journal of Aquaculture in the Tropics**, v. 8, p. 1–8, 1993.

FURUKAWA, A.; TSUKAHARA, H. On the acid digestion method for the determination of Chromic Oxide as an index substance in the study of digestibility of fish feed. **Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries**, v. 32, n. 6, p. 502-506, 1976.

GONÇALVES, E. G.; CARNEIRO, D. J. Coeficientes de Digestibilidade Aparente da Proteína e Energia de Alguns Ingredientes Utilizados em Dietas para o Pintado (*Pseudoplatystoma coruscans*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 779 – 786, 2003.

HENDRIX, D. L. Rapid extration and analysis of nonstrutuctural carbohydrates in plant tissues. **Crop Science**, v. 25, p. 1306-1311, 1993.

HEMRE, G. I.; MOMMSEN, T. P.; KROGDAHL, A. Carbohydrates in fish nutrition: effects on growth, glucose metabolism and hepatic enzymes. **Aquaculture Nutrition**, v. 8, p. 175-194, 2002.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Norme Internationale: riz détermination de la teneur en amylose. Suisse, 1987. 5 p. (IOS 6647).

KAUSHIK, S. J.; OLIVA-TELES, A. Effect of digestible energy on nitrogen and energy balance in rainbow trout. **Aquaculture**, v. 50, p. 89– 101, 1985.

KARKALAS, J. J. An improved enzymatic method for the determination of native and modified starch. **Journal of Science Food Agriculture**, v. 36, p. 1016, 1985.

KITAMIKADO, M.; TACHINO, S. Studies on the diges-tive enzymes of rainbow trout. I. Carbohydrases. **Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries**, Tokyo, v. 26, p. 679-84, 1960.

KUBITZA, F. **Tilápia: tecnologia e planejamento na produção comercial**. Jundiaí, 2000. 285p.

LANNA, E. A. T. Digestibilidade aparente e trânsito gastrointestinal em tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus*), em função da fibra bruta da dieta. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 2186-2192, 2004.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; RODRIGUES, J. A. V. **EMBRAPA Milho e sorgo - Tanino no grão de sorgo 2003**. Disponível em <<http://www.portaldoagronegocio.com.br/artigos>>. Acesso em 14 de setembro de 2006.

McGOOGAN, B. B.; REIGH, R. C. Apparent digestibility of selected ingredients in red drum (*Sciaenops ocellatus*) diets. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 141, p. 233-244, 1996.

NOSE, T. Recent advances in the study of fish digestion in Japan. In: SYMPOSIUM ON FEEDING TROUT AND SALMON CULTURE, SC II-7., 1966, Belgrade. **Proceedings**. Belgrade: EIFAC, 1966. p.17.

NRC (National Research Council), **Nutrient requirement of fish**. National Academy Press, Washington, DC. 1993. 114p.

OLIVA-TELES, A.; GOUVEIA, A. J.; GOMES, E.; REMA, P. The effect of different processing treatment on soybean meal utilization by rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. **Aquaculture**, Amsterdam, v.124, p. 343-349, 1994.

PEREIRA-FILHO, M.; VERARDINO, M. **Digestão em peixes**. Jaboticabal, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária da UNESP, 1984. 17p.

PEZZATO, L. E.; MIRANDA, E. C.; BARROS, M. M.; QUINTERO-PINTO, L. G.; FURUYA, W. M.; PEZZATO, A. C. Digestibilidade aparente de ingredientes pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 1595-1604, 2002a.

PEZZATO, L. E.; MIRANDA, E. C.; FURUYA, W. M.; QUINTERO-PINTO, L. G.; ROSA, G. J. M. Diâmetro do ingrediente e a digestibilidade aparente de rações por duas espécies de peixes tropicais. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 4, p. 901-907, 2002b.

PIKE, I. H.; DORSÓTTIR, G.; MUNDHEIM, H. The role of fish meal in diets for salmonids. **Inst. Assoc. Fish Meal Manufacturers**, UK, v. 24, 35p. 1990.

PODOSKINA, T. A.; PODOSKIN, A. G.; BEKINA, E. N. Efficiency of utilization of some starch modifications by rainbow trout (*O. mykiss*). **Aquaculture**, v. 152, p. 235–248, 1997.

RAWLES, S.; LOCHMANN, R. Effects of amylopectin/amylase starch ratio on growth, body composition and glycemic response of sunshine bass *Morone chrysops* x *M. saxatilis*). **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 34, p. 278-288, 2003.

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

SALLUM, W. B.; BERTECHINI, A. G.; CANTELMO, O. A.; PEZZATO, L. E.; LOGATO, P. R. V. Coeficiente de digestibilidade aparente da matéria seca, proteína bruta e extrato etéreo de ingredientes de ração para o matrinxã (*Brycon cephalus*, Gunther 1869) (TELEOSTEI, CHARACIDAE). **Ciências Agrotécnicas**, Lavras, v. 26, n. 1, p. 174 – 181, 2002.

SCHUTTE, J. B. **Nutritional value and physiological effects of D-xylose and L-arabinose in poultry and pigs**. Wageningen: Wageningen Agricultural University, 173p. 1991. Thesis (Doctor) - Wageningen Agricultural University, 1991.

SHIAU, S. Y. Utilization of carbohydrates in warm water fish- with particular reference to tilapia, *Oreochromis niloticus* X *O. aureus*. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 151, p. 79-96, 1997.

SINGH, S.; GAMLATH, S.; WAKELING, L. Nutritional aspects of food extrusion: a review. **International Journal of food science and technology**, Chester, v. 42, p. 916- 929, 2007.

SPANNHOF, L.; PLANTIKOW, H. Studies on carbohydrate digestion in rainbow trout. **Aquaculture**, v.30, p. 95-108, 1983.

STANLEY, D. W. Protein reactions during extrusion processing. In: MERCIER, C.; LINKO, P.; HARPER, J. M. Extrusion cooking. **American Association of Cereal Chemists**, St. Paul, p. 247-319, 1989.

STOREBAKKEN, T. The apparent digestibility of diets containing fish meal, soybean meal or bacterial meal fed to Atlantic salmon, *Salmo salar*: evaluation of different faecal collection methods. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 169, p. 195-210, 1998.

TAKEUCHI, T. T.; HERNÁNDEZ, M.; WATANABE, T. Nutritive value of gelatinized corn meal a carbohydrate source to glass carp and hibrid tilapia. **Fisheries Science**, v. 60, n. 5, p. 573-577, 1994.

TH, J. Residence time distributions in twin-screw cooking extruders. In: SPIESS, W. E. L.; SCHUBERT, H. ENGINEERING AND FOOD ADVANCED PROCESS, 1990, New York. **Anais...** New York: Elsevier Applied Science, 1990. p. 290-297.

TOLEDO, M. P. **Processamentos de dietas práticas com diferentes fontes de energia para o crescimento e a digestibilidade da tilápia do Nilo**. 2004. 33 f. Tese (Doutorado em Aquicultura) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2004.

VAN SOEST, P. J. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. In: SYMPOSIUM CARBOHYDRATE METODOLOGY, METABOLISM, AND NUTRITIONAL IMPLICATIONS IN DAIRY CATTLE. **Journal of Dairy Science**, Savoy, v. 74, n.10, p. 3583-3597, 1994.

VRANJES, M. V.; PFIRTER, H. P.; WENK, C. Influence of processing on dietary enzyme effect and nutritive value of diets for laying hens. **Canadian Journal of Animal Science**, Canada, v. 75, p. 453-460, 1995.

WILSON, R. P. Utilization of dietary carbohydrate by fish. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 124, p. 67-80, 1994.

Capítulo 4

Alimentos energéticos peletizados, extrusados ou crus para
tilápia do Nilo: desempenho produtivo e composição
corporal

Resumo

O presente estudo avaliou o efeito da utilização de fontes de carboidratos, submetidos ou não a tratamento térmico em dietas práticas no crescimento, composição corporal e eficiência de utilização de nutrientes em juvenis de tilápia do Nilo. Um delineamento inteiramente casualizado foi utilizado para o ensaio de desempenho produtivo, com 12 tratamentos em esquema fatorial 4 X 3 correspondendo a quatro alimentos energéticos (milho, farelo de trigo, quirera de arroz e sorgo) e três processamentos (cru, peletizado e extrusado), com três repetições e 15 peixes por repetição. Peixes ($38,4 \pm 6,9\text{g}$) foram distribuídos ao acaso em 36 caixas com capacidade de 400L e alimentados com 12 dietas-teste durante 60 dias. Para todos os parâmetros estudados foram encontradas diferenças significativas, sendo: fontes ou processamentos ou ainda interação entre os mesmos. Peixes alimentados com alimento extrusado, de forma geral, obtiveram pior desempenho produtivo, apresentando as menores médias de ganho em peso diário (GPD), taxa de crescimento específico (TCE), taxa de eficiência protéica (TEP), consumo alimentar diário (CAD) e fator de condição. Já as dietas com os alimentos energéticos peletizados proporcionaram as maiores médias de GPD, TCE, TEP e a melhor conversão alimentar. O melhor desempenho geral foi observado com as dietas com o alimento sorgo, seguido do milho, enquanto que a quirera de arroz aumentou o teor de gordura na carcaça das tilápias. Nos peixes alimentados com farelo de trigo foi verificado menor GPD e TCE, entretanto, havia maior acúmulo de proteína bruta na carcaça, assim como obtiveram maior ganho em peso relacionado com a proteína bruta consumida, além de apresentar o menor teor de gordura depositada.

Palavras chave: tilápia; crescimento; composição corporal; alimento energético; processamento; amido.

Abstract

The present study evaluated the effect of the use of carbohydrate sources, submitted or not to thermal treatment in practical diets in the growth, body composition and the efficiency of the utilization of nutrients in Nile tilapias juveniles. It was used a casualized delineament for the assay of the productive performance, with twelve treatment in a 4 x 3 factorial design, corresponding to four energetic sources (corn, wheat meal, broken rice or sorghum) and three processings (raw, pelletized, extruded), with three replicates and fifteen fish per repetition. Fish ($38.4 \pm 6.9\text{g}$) were distributed at random in thirty-six boxes with capacity for 400L and they were fed with twelve test-diets during sixty days. In all the studied aspects were found significant differences, as: sources or processings and also the interaction between them. Fish fed with extruded sources, in general, had the worst productive performance. They showed the smallest indexes of increase in the daily weight gain (DWG); in the specific growth rate (SGR); in the protein efficiency rate (PER); in the daily feed consumption (DFC) and in the factor of condition. However, the diets with pelletized energetic sources showed the highest indexes of DWG, SGR, PER and the better apparent feed conversion. The best general performance was observed in the diets with sorghum, following the corn, while broken rice had an increase of the fat content in the carcass. In the fish fed with wheat meal was verified a smaller DWG and SGR, however, there was a higher accumulation of the crude protein in the carcass, as well as, they obtained a higher increase in the weight, relating with the crude protein which was consumed. Moreover, they presented the smallest content of the deposit fat.

Key words: tilapia; growth; body composition; energetic source; starch.

Introdução

Os peixes, de forma geral, não apresentam exigência específica de carboidratos na dieta. Porém, algumas espécies exibem redução moderada na taxa de crescimento quando alimentadas com dietas livres de carboidratos. Os peixes carnívoros como o salmão e a truta não digerem eficientemente as fontes de carboidratos. Peixes onívoros como o bagre do canal (*Ictalurus punctatus*) e a carpa (*Cyprinus carpio*) aproveitam melhor os carboidratos, que podem ser adicionados em níveis mais elevados na ração. Em geral, os peixes aproveitam nutricionalmente melhor os carboidratos complexos, como o amido, do que os açúcares simples (NEW, 1987). TUNG e SHIAU (1991), em estudo com híbrido de tilápia (*Oreochromis niloticus* x *O. aureus*), observaram melhor crescimento quando os peixes foram alimentados com dietas contendo amido em relação a dietas com glicose pura.

WANG et al. (2005) também estudaram juvenis do mesmo híbrido de tilápia, alimentado com níveis crescentes de amido de milho (6; 14; 22; 30; 38 e 46%), e observaram que os níveis de 22 até 46% de amido foram melhores para as variáveis de desempenho em relação às dietas com 6 e 14% de inclusão, e não diferiram estatisticamente entre si. Entretanto, o conteúdo lipídico na carcaça foi maior com o aumento dos níveis de amido na dieta.

Os amidos dos cereais são os principais carboidratos digestíveis encontrados nas rações comerciais para peixes (RAWLES e LOCHMANN 2003). Diversas fontes de carboidratos têm demonstrado distintas taxa de crescimento em diferentes espécies de peixes (BERGOT e BREQUE, 1983; HILTON et al., 1987; HUNG, 1991; HEMRE e HANSEN, 1998).

MUÑOZ-RAMÍREZ (2005) utilizou 40% de carboidratos com diferentes graus de complexidade em dietas para o pacu (*Piaractus mesopotamicus*) e observou os melhores resultados de desempenho com o uso de dietas com amido de milho ou fécula de mandioca geleificado, embora esta última tenha promovido aumento nos teores de gordura corporal.

Entre os processamentos de ração mais utilizados na aquicultura, estão a extrusão e a peletização, os quais propiciam modificações no amido cru, melhorando, assim, o aproveitamento nutricional das rações pelos peixes (JAYARAM e SHETTY, 1981). O melhor aproveitamento de carboidratos em rações contendo ingredientes extrusados é devido ao aumento da taxa de amido geleificado nas rações. Isso foi observado por TAKEUCHI et al. (1990) que compararam alevinos de truta (*Orncorhynchus mykiss*) e carpa, para observar a disponibilidade de ingredientes com fontes de carboidrato (amido de batata, amido de milho, farinha de trigo, milho e centeio) extrusados ou não. Observaram que, em ambas as espécies, o crescimento e as taxas de eficiência alimentar e eficiência protéica foram maiores nos peixes alimentados com rações contendo ingredientes extrusados, quando comparadas com rações que continham ingredientes não extrusados. Porém, rações formuladas com farinha de trigo, quando submetidas aos dois tratamentos, não mostraram diferença no desempenho dos peixes.

No caso específico da tilápia, a utilização quantitativa e qualitativa das fontes de energia é fundamental, pois segundo TOLEDO (2004), é comum encontrar peixes em cultivo intensivo, apresentando hipertrofia do fígado, descoloração hepática, e também acúmulo de gordura visceral. Uma hipótese para este fato é que os produtos, depois de processados, podem disponibilizar

mais energia de alguns ingredientes, ou resultar na perda de valor nutricional de nutrientes por degradação, provocando dessa maneira desequilíbrio nas relações entre os nutrientes.

Este estudo teve como objetivo avaliar o desempenho produtivo e a retenção de nutrientes em juvenis de tilápias do Nilo, alimentadas com quatro fontes de carboidratos (milho, farelo de trigo, quirera de arroz e sorgo) crus ou processados por peletização ou extrusão.

Material e Métodos

O ensaio experimental foi conduzido na Universidade Estadual Paulista (UNESP), no Centro de Aquicultura (CAUNESP), no Laboratório de Nutrição de Organismos Aquáticos (LANOA), localizado na cidade de Jaboticabal, estado de São Paulo.

Processamento dos alimentos energéticos

Os alimentos energéticos estudados, milho, farelo de trigo, quirera de arroz e sorgo (Tabela 1), foram moídos em moinho martelo, JF Nogueira modelo H5-F3, com peneira de porosidade 0,5mm de diâmetro. Posteriormente, cada alimento foi processado por peletização ou extrusão, pré-seco ao sol, sendo em seguida levado para a secagem definitiva em estufa à 55°C, durante um período de 24 horas. Depois foi realizada novamente a moagem dos alimentos, seguido do ensacamento e armazenamento a -20°C para posterior inclusão nas dietas-teste.

Tabela 1- Composição analisada dos alimentos energéticos crus, peletizados e extrusados

Alimento	Process. ¹	MS ² (%)	PB ³ (%)	EE ⁴ (%)	FDN ⁵ (%)	MM ⁶ (%)	CNF ⁷ (%)	AMIDO (%)	AML ⁸ (%)	AMP ⁹ (%)	EB ¹⁰ (kcal.kg ⁻¹)
Milho	<i>Cru</i>	90,4	9,6	5,1	6,4	1,3	68,0	62,0	21,5	78,1	3926
	<i>Peletizado</i>	91,2	9,3	4,8	6,5	1,2	69,4	62,4	27,3	72,7	3945
	<i>Extrusado</i>	90,9	8,9	4,4	6,9	1,2	69,5	62,2	21,2	78,5	3931
Farelo de Trigo	<i>Cru</i>	92,7	15,9	5,6	26,7	4,6	39,9	25,3	3,0	97,0	4053
	<i>Peletizado</i>	91,5	15,7	5,2	26,2	4,9	39,5	25,3	2,9	97,1	4031
	<i>Extrusado</i>	92,8	14,1	4,2	10,4	3,8	60,3	25,1	3,6	96,4	3953
Quirera de Arroz	<i>Cru</i>	88,0	8,4	1,3	0,5	0,6	77,2	76,5	27,7	72,3	3646
	<i>Peletizado</i>	89,7	8,5	1,4	0,4	0,7	78,7	76,3	27,5	72,5	3610
	<i>Extrusado</i>	89,8	8,1	1,4	0,4	0,7	79,2	76,2	24,3	75,8	3622
Sorgo	<i>Cru</i>	89,7	11,1	3,7	9,3	3,3	62,3	56,1	23,2	76,8	3798
	<i>Peletizado</i>	91,4	11,2	3,4	9,6	3,3	63,9	56,6	19,7	80,3	3816
	<i>Extrusado</i>	91,0	10,8	3,2	9,4	3,7	63,9	56,4	19,6	80,4	3782

¹ – Processamento térmico; ² – Matéria seca; ³ – Proteína bruta; ⁴ – Extrato etéreo; ⁵ – Fibra em detergente neutro; ⁶ – Matéria mineral; ⁷ – Carboidratos não fibrosos MS- (PB + EE + FDN+MM); ⁸ – Amilose; ⁹ – Amilopectina; ¹⁰ – Energia bruta.

A extrusão dos alimentos foi realizada em extrusora Extrudercenter, modelo MAB 400S, com canhão de rosca simples, injeção de vapor de água no condicionador e alta pressão, atingindo temperatura média de 120°C. Cada alimento exigiu temperatura e pressão específica para garantir, aparentemente, o mesmo grau de geleificação do amido e sua extrusão. A temperatura média dos péletes na saída da extrusora foi de 94,5°C.

A peletização foi feita em peletizadora Calibrás, com adição de vapor e água e capacidade de processamento de 300 a 500 kg.hora⁻¹. A temperatura média dos péletes, na saída da matriz, foi de 67,5°C.

Dietas experimentais

Doze dietas-teste (Tabela 2) foram formuladas para serem isoprotéicas (28% PB). As mesmas foram elaboradas com composição básica de ingredientes e com 50% de inclusão de cada uma das quatro fontes de carboidratos (milho, farelo de trigo, quirera de arroz e sorgo), crus (não processados), ou previamente peletizados ou extrusados, conforme descrito no item anterior. As dietas-teste foram umedecidas a 50% com água e processadas em moedor de carne C.A.F. modelo 22S, para formação dos péletes, os quais foram secos em estufa com circulação forçada de ar à 55°C, por 20 horas. Após atingirem a temperatura ambiente, foram acondicionadas em sacos plásticos e armazenadas a -20°C.

Tabela 2- Composição percentual das dietas-teste

INGREDIENTES (%)	MILHO	FARELO DE TRIGO	QUIRERA DE ARROZ	SORGO
Farinha de peixe (56%PB)	27,0	27,0	27,0	27,0
Farelo de Soja (46%PB)	18,0	12,5	19,0	16,5
Milho	50,0	-	-	-
Farelo de Trigo	-	50,0	-	-
Quirera de Arroz	-	-	50,0	-
Sorgo	-	-	-	50,0
Óleo de Soja	1,5	1,5	2,5	2,5
Fosfato bicálcico	0,5	0,5	0,5	0,5
Caulim (Inerte)	2,0	7,5	-	2,5
Suplemento mineral e vitamínico ¹	1,0	1,0	1,0	1,0

¹ Suplemento mineral e vitamínico Polinutri, níveis de garantia por kg de produto: Vitamina A 860.000 UI; Vitamina D3 240.000 UI; Vitamina E 10.500 UI; Vitamina K3 1400 mg; vitamina B1 2100 mg; Vitamina B2 2150 mg; Vitamina B6 2100 mg; Vitamina B12 2200 mcg; Niacina 10.000 mg; Pantotenato de Cálcio 5600 mg; Ácido fólico 580 mg; Biotina 17 mg; Vitamina C 18000 mg; Metionina 100.000 mg; Colina 60.000 mg; Cobre 1800 mg; Manganês 5000 mg; Zinco 8000 mg; Iodo 90 mg; Cobalto 55 mg; Selênio 30 mg; Antioxidante 10000 mg.

A composição analisada das 12 dietas-teste, com os alimentos crus ou processados por peletização ou extrusão encontram-se na Tabela 3.

Peixes e condições experimentais

Foram utilizados 540 juvenis de tilápia do Nilo, revertidos sexualmente e com peso médio inicial de $38,4 \pm 6,9$ g. Os peixes foram distribuídos ao acaso em 36 caixas de fibrocimento com 400L de capacidade, em densidade de 15 peixes/caixa. As caixas eram abastecidas continuamente de água proveniente de poço artesiano com aeração constante, por meio de assoprador central. A qualidade da água foi monitorada uma vez por semana, sempre às 15h00, medindo-se as seguintes variáveis limnológicas: temperatura, pH e oxigênio dissolvido, utilizando-se peagômetro da marca *Corning* pH-30 e um oxímetro YSI 55. A cada cinco dias, as caixas foram sifonadas para a retirada de material decantado.

Tabela 3- Composição analisada das dietas-teste

Dietas com:	Processamento	MS ¹ (%)	PB ² (%)	EE ³ (%)	FDN ⁴ (%)	MM ⁵ (%)	CNF ⁶ (%)	AMIDO (%)	EB ⁷ (kcal.kg ⁻¹)
Milho	<i>Cru</i>	91,70	28,30	6,8	7,1	10,7	38,80	31,2	4150
	<i>Peletizado</i>	91,38	28,10	7,0	7,2	10,7	38,38	31,2	4187
	<i>Extrusado</i>	91,40	28,00	6,6	7,4	11,0	38,40	31,2	4145
Farelo de Trigo	<i>Cru</i>	92,65	28,70	6,8	16,5	16,7	23,95	12,6	3989
	<i>Peletizado</i>	92,05	28,50	7,1	16,2	16,9	23,35	12,6	3955
	<i>Extrusado</i>	91,00	27,92	6,0	8,3	16,3	32,48	12,6	3921
Quirera de Arroz	<i>Cru</i>	89,70	28,20	5,5	4,3	8,6	43,10	38,2	4275
	<i>Peletizado</i>	90,10	28,11	5,6	4,3	8,8	43,29	38,2	4282
	<i>Extrusado</i>	89,40	28,10	5,3	4,2	8,3	43,50	38,2	4212
Sorgo	<i>Cru</i>	91,60	28,26	6,9	8,4	12,1	35,94	28,2	4071
	<i>Peletizado</i>	91,10	28,00	7,3	8,5	12,1	35,20	28,2	4055
	<i>Extrusado</i>	91,44	28,11	6,8	8,4	12,3	35,83	28,2	4067

¹ – Matéria seca; ² – Proteína bruta; ³ – Extrato etéreo; ⁴ – Fibra em detergente neutro; ⁵ – Matéria mineral; ⁶ – Carboidratos não fibrosos MS- (PB + EE + FDN+MM); ⁷ – Energia bruta.

Procedimento experimental – desempenho produtivo

Inicialmente, os peixes passaram pelo período de dez dias de adaptação às condições experimentais do laboratório. Nesse período foram alimentados com ração comercial extrusada contendo 28% de proteína bruta, duas vezes ao dia. Posteriormente, o arraçoamento foi realizado até a saciedade aparente, durante 60 dias, três vezes ao dia, às 9h00, 13h00 e 17h00, evitando-se sobras, de forma que a quantidade oferecida pudesse ser considerada como consumida.

O desempenho produtivo dos juvenis de tilápia foi analisado por meio do ganho em peso diário (GPD), consumo alimentar diário (CAD), conversão alimentar aparente (CAA), taxas de crescimento específico (TCE) e de eficiência protéica (TEP), índice de consumo (IC) e fator de condição (FC). Para o cálculo das variáveis de crescimento foram utilizadas as seguintes fórmulas:

Ganho em peso diário (g dia^{-1}) = (peso final - peso inicial) / tempo

Consumo diário (g dia^{-1}) = consumo de alimento / tempo

Conversão alimentar = consumo de alimento / ganho em peso total

Taxa de crescimento específico ($\% \text{ dia}^{-1}$) = $(\ln \text{ peso final} - \ln \text{ peso inicial}) \times 100 / \text{tempo}$

Taxa de eficiência protéica = ganho em peso vivo / proteína bruta consumida

Índice de consumo ($\% \text{ peso vivo dia}^{-1}$) = cons. médio dia $\times 100 / \text{peso vivo médio período}$

Fator de condição = $(\text{peso final} / (\text{comprimento final})^{3,2})$

No início do período experimental, 20 peixes da mesma população usada no estudo foram sacrificados para posterior determinação da composição corporal inicial da carcaça. Da mesma forma, ao final do experimento, cinco peixes de cada uma das parcelas também foram sacrificados para a

determinação da composição corporal final da carcaça. Antes de serem sacrificados, os peixes permaneceram em jejum por 24 horas para o esvaziamento do trato gastrintestinal. Em seguida, foram anestesiados em solução concentrada de benzocaína (2g/10L de água), e abatidos por imersão em gelo e em seguida armazenados a -20°C. As carcaças de cada repetição foram moídas em moinho elétrico, secas à 55°C em estufa com circulação de ar durante 72 horas, para posterior realização das análises de composição corporal. As médias da composição corporal inicial e final dos peixes foram usadas no cálculo das seguintes variáveis de eficiência nutricional: eficiência de retenção de proteína bruta (ERP_B), proporções de proteína no ganho em peso (PBGP) e de extrato etéreo no ganho em peso (EEGP), utilizando-se as seguintes fórmulas:

$$\text{Eficiência de retenção de proteína bruta (\%)} = (PB_f \times Pf) - (PB_i \times Pi) \times 100 / CPB$$

$$\text{Proporção da proteína bruta no ganho em peso (\%)} = (PB_f \times Pf) - (PB_i \times Pi) \times 100 / (Pf - Pi)$$

$$\text{Proporção do extrato etéreo no ganho em peso (\%)} = (EE_f \times Pf) - (EE_i \times Pi) \times 100 / (Pf - Pi)$$

Sendo,

PB_f, EE_f: proteína bruta ou extrato etéreo final na carcaça

PB_i, EE_i: proteína bruta ou extrato etéreo inicial na carcaça

CPB: consumo de proteína bruta

Pi, Pf: peso vivo inicial ou peso vivo final

Procedimentos analíticos

As análises dos nutrientes e energia dos alimentos e rações foram realizadas de acordo com as metodologias descritas pela Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2000). Todas as análises foram realizadas na UNESP, Câmpus de Jaboticabal. No Laboratório de Nutrição de Organismos Aquáticos do CAUNESP foram realizadas as análises de proteína e lipídeos.

As análises de matéria mineral, fibra em detergente neutro e energia foram realizadas no Laboratório de Análise de Alimentos (LANA), e as análises de amido no Laboratório de Morfologia e Fisiologia Animal.

A análise de extrato etéreo (EE) foi realizada utilizando-se éter de petróleo como solvente e utilizando o aparelho de extração Soxhlet, com refluxo contínuo pela da amostra por seis horas, para amostras cruas. Nas amostras extrusadas e peletizadas, utilizou-se primeiramente hidrólise ácida (HCl) e, posteriormente, a extração da gordura com mistura de éteres de petróleo e etílico (1:1).

A análise de fibra em detergente neutro (FDN) foi realizada de acordo com a metodologia proposta por VAN SOEST et al. (1994a), com a realização de tratamento prévio das amostras pela da adição de amilase termoestável, para a remoção do amido.

A análise de amido seguiu a metodologia de HENDRIX (1993), modificada pela utilização do método glicose-oxidase (KARKALAS, 1985).

O teor de carboidratos não fibrosos (CNF) foi obtido subtraindo da matéria seca o total de nutrientes analisados, incluindo a fibra em detergente neutro.

A análise de amilose/amilpectina foi realizada pela determinação do teor de amilose, que representa o conteúdo total de um dos polissacarídeos constituintes da molécula de amido, segundo o INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (1987). Essas análises foram realizadas no Centro de Raízes e Amidos Tropicais - CERAT. Fazenda Experimental Lageado, UNESP – Câmpus de Botucatu.

Delineamento experimental e análises estatísticas

Para avaliação dos resultados de desempenho produtivo, foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado (DIC), constituído por 12 tratamentos em esquema fatorial 4x3, correspondente aos quatro alimentos energéticos estudados e aos três processamentos a que foram submetidos, com três repetições e 15 peixes por repetição.

Na análise de composição corporal foram utilizados cinco peixes por parcela, totalizando 15 réplicas por tratamento.

Os dados foram analisados pelo programa Statistical Analysis System SAS® v.9 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA), por meio de análise de variância (ANOVA). Quando houve significância estatística, foi aplicado o teste de Tukey ($P < 0,05$), para comparação das médias. Todas as variáveis foram avaliadas quanto à normalidade (Cramer-von Mises) e homocedasticidade das variâncias (Levene's).

Resultados

Condições ambientais

As médias observadas para as variáveis físico-químicas da água nas caixas durante todo o período experimental foram: temperatura de $27,8 \pm 1,32^{\circ}\text{C}$; pH de $7,12 \pm 0,38$ e oxigênio dissolvido de $5,04 \pm 1,08$ mg/L. Segundo EL-SAYED (2006), a tilápia suporta níveis baixos de oxigênio dissolvido. A faixa de temperatura entre 20 a 35°C é considerada pelo autor, normal para o desenvolvimento da tilápia. Porém, segundo KUBITZA (2000), a temperatura de conforto para o cultivo da tilápia deve estar entre 27 e 32°C e a faixa de pH

considerada adequada está entre 6,0 e 8,5. Desta forma, os valores médios de temperatura, oxigênio dissolvido e pH estiveram dentro das recomendações para o cultivo da tilápia.

Desempenho produtivo

A taxa de sobrevivência das tilápias durante o experimento foi de 100% em todos os tratamentos. Os resultados de crescimento e desempenho produtivo dos juvenis de tilápia são apresentados na Tabela 4. Diferenças significativas foram observadas para todas as variáveis estudadas. De forma geral, o processamento térmico por extrusão realizado nos alimentos energéticos proporcionou resultados inferiores nas variáveis de desempenho produtivo da tilápia. Esse comportamento fica mais evidenciado quando se avalia o fator de condição, que apresentou diferença significativa ($P < 0,05$), apenas nas dietas com alimentos extrusados.

Com relação à conversão alimentar, os peixes alimentados das dietas com farelo de trigo apresentaram as piores taxas de conversão ($P < 0,05$) em relação às demais dietas, que não diferiram estatisticamente entre si ($P > 0,05$). A peletização melhorou esta variável ($P < 0,01$), enquanto que as dietas com os alimentos crus ou extrusados não apresentaram diferença estatística ($P > 0,05$).

Os resultados das interações dos alimentos energéticos e dos processamentos, observados nas demais variáveis de desempenho produtivo, são apresentados na Tabelas 5, 6, 7, 8 e 9.

Tabela 4. Valores de F e médias das variáveis de desempenho produtivo de juvenis de tilápia do Nilo

Estatística	Valores de F						
	Ganho em peso diário <i>g dia⁻¹</i>	Consumo diário <i>g dia⁻¹</i>	Conversão alimentar	TCE ¹ <i>% dia⁻¹</i>	TEP ²	Índice de consumo <i>%pv dia⁻¹</i>	Fator de Condição
Efeito do Alimento (A)	96,68**	122,47**	7,98*	80,66**	101,16**	21,83**	0,55 ^{ns}
Efeito do Processamento (P)	259,54**	190,13**	40,71**	220,87**	251,42**	27,94**	4,28*
Efeito da interação (AxP)	17,49**	30,71**	0,98 ^{ns}	12,85**	18,87**	7,64*	0,66 ^{ns}
CV (%)	4,22	3,07	4,61	2,78	4,24	3,03	3,77
Médias para os alimentos:							
Milho	1,31	1,58	1,21 ^a	1,85	2,80	2,02	1,03
Farelo de Trigo	1,01	1,32	1,31 ^b	1,58	2,15	1,92	1,04
Quirera de Arroz	1,21	1,41	1,18 ^a	1,76	2,58	1,85	1,05
Sorgo	1,42	1,70	1,22 ^a	1,92	3,02	2,09	1,03
Médias para os processamentos:							
Cru	1,26	1,58	1,27 ^b	1,80	2,66	2,08	1,05 ^a
Peletizado	1,47	1,63	1,11 ^a	1,97	3,14	1,96	1,05 ^a
Extrusado	0,99	1,29	1,31 ^b	1,55	2,11	1,85	1,01 ^b

Médias seguidas com a mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05).

* - significativo ao nível de 5% de probabilidade; ** - significativo ao nível de 1% de probabilidade; ^{ns} – não significativo.

¹ Taxa de crescimento específico; ² Taxa de eficiência protéica.

Os peixes que consumiram dietas contendo sorgo cru ou peletizado obtiveram as melhores médias de ganho em peso diário (Tabela 5 e Figura 1), em relação aos demais tratamentos, enquanto que as dietas com farelo de trigo proporcionaram as menores médias. O ganho em peso foi menor nos peixes alimentados das dietas com alimentos extrusados e essas não diferiram entre os alimentos energéticos ($P>0,05$).

Tabela 5. Médias de ganho em peso diário (g. dia^{-1}) na interação observada entre os efeitos das fontes e dos processamentos dos alimentos.

Processamentos	Alimentos energéticos			
	Milho	F. de trigo	Q. de arroz	Sorgo
Cru	1,31 ^{Bb}	1,01 ^{ABc}	1,23 ^{Bb}	1,48 ^{Ba}
Peletizado	1,56 ^{Ab}	1,10 ^{Ac}	1,45 ^{Ab}	1,77 ^{Aa}
Extrusado	1,06 ^{Ca}	0,94 ^{Ba}	0,95 ^{Ca}	1,00 ^{Ca}

Médias com mesmas letras (maiúsculas na coluna e minúsculas na linha) não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P>0,05$)

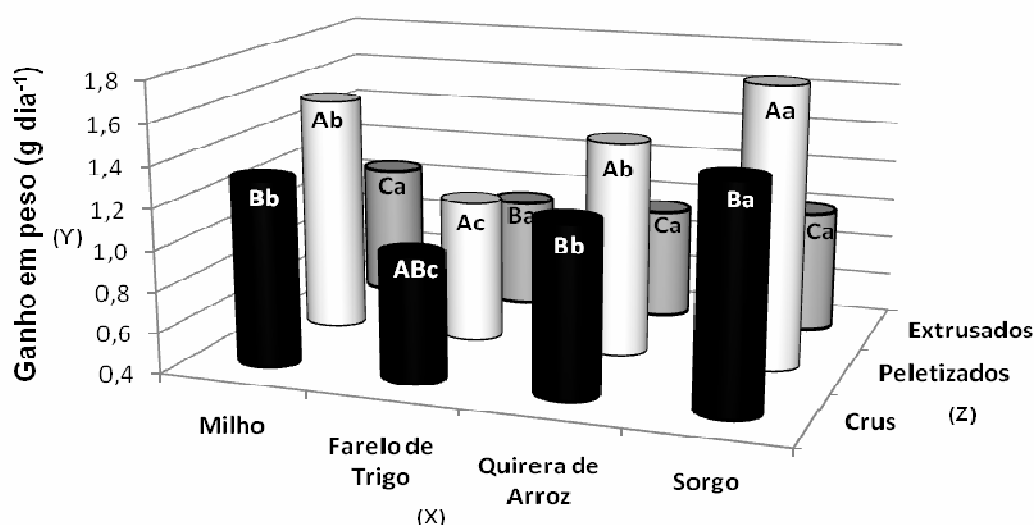


Figura 1. Médias de ganho em peso (Y), no estudo da interação de alimentos energéticos (X) e processamentos (Z) de juvenis de tilápia. Médias com mesma letra (minúsculas no eixo X e maiúsculas no eixo Z) não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P>0,05$).

As médias de consumo diário das dietas-teste (Tabela 6 e Figura 2) foram bastante reduzidas em todas as dietas com alimentos energéticos extrusados, mas não diferindo entre si. Os peixes que consumiram as

dietas com farelo de trigo ou quirera de arroz, crus ou peletizados, apresentaram as menores médias de consumo em relação ao milho e sorgo com os mesmos processamentos. A maior média de consumo diário de ração para os alimentos crus ou peletizados foi notado nas dietas com sorgo. Adicionalmente, os peixes alimentados da dieta com esse alimento peletizado obtiveram o mais alto consumo médio entre todos os demais tratamentos.

Tabela 6. Médias de consumo diário (g. dia⁻¹) na interação observada entre os efeitos das fontes e dos processamentos dos alimentos.

Processamentos	Alimentos energéticos			
	Milho	F. de trigo	Q. de arroz	Sorgo
Cru	1,66 ^{Ab}	1,36 ^{Ad}	1,50 ^{Ac}	1,82 ^{Ba}
Peletizado	1,75 ^{Ab}	1,29 ^{Ad}	1,51 ^{Ac}	1,97 ^{Aa}
Extrusado	1,32 ^{Ba}	1,32 ^{Aa}	1,22 ^{Ba}	1,31 ^{Ca}

Médias com mesmas letras (maiúsculas na coluna e minúsculas na linha) não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05)

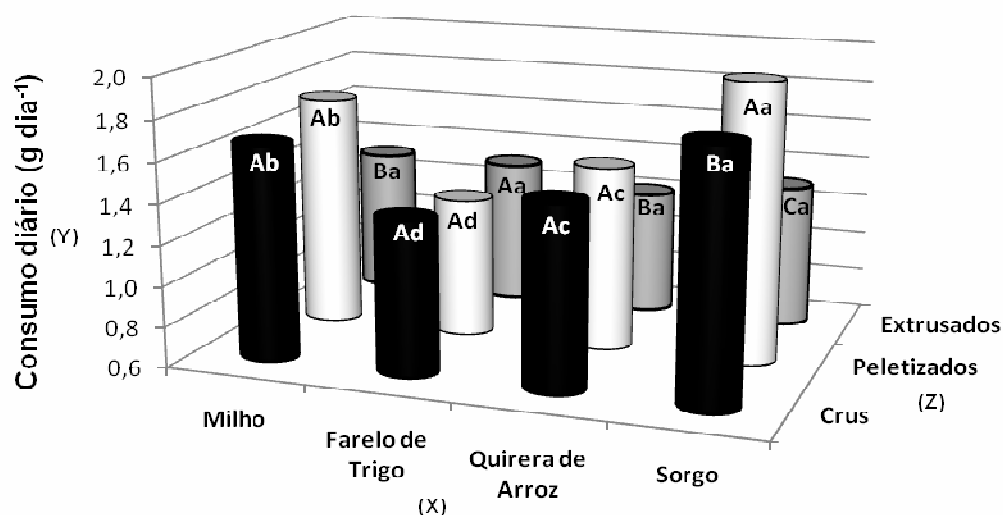


Figura 2. Médias de consumo diário (Y), no estudo da interação de alimentos energéticos (X) e processamentos (Z) de juvenis de tilápia. Médias com mesma letra (minúsculas no eixo X e maiúsculas no eixo Z) não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05).

O perfil de consumo pela tilápia, das diferentes dietas estudadas fica mais claro quando se analisa o índice de consumo (Tabela 7 e Figura 3),

que é o consumo da dieta em relação à biomassa. Os resultados também mostram que as dietas com alimentos extrusados apresentaram os menores índices médios de consumo, com exceção para a dieta com farelo de trigo, que não apresentou diferença em relação ao processamento. Além disso, também corroborando os resultados de consumo diário, as dietas com farelo de trigo ou quirera de arroz, cruas ou peletizadas, obtiveram menores índices, quando comparadas com o sorgo, e este não diferiu das dietas com milho nas mesmas condições de processamento.

Tabela 7. Médias de índices de consumo (%pv dia⁻¹) na interação observada entre os efeitos das fontes e dos processamentos dos alimentos.

Processamentos	Alimentos energéticos			
	Milho	F. de trigo	Q. de arroz	Sorgo
Cru	2,13 ^{Aab}	1,98 ^{Ab}	1,99 ^{Ab}	2,20 ^{Aa}
Peletizado	2,06 ^{Aa}	1,80 ^{Ab}	1,84 ^{Ab}	2,15 ^{Aa}
Extrusado	1,88 ^{Ba}	1,97 ^{Aa}	1,73 ^{ABa}	1,91 ^{Ba}

Médias com mesmas letras (maiúsculas na coluna e minúsculas na linha) não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05)

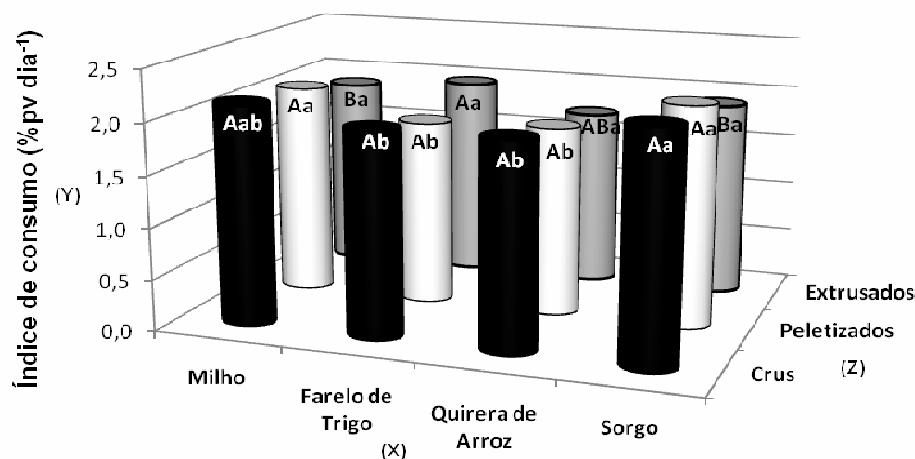


Figura 3. Médias do índice de consumo (Y), no estudo da interação de alimentos energéticos (X) e processamentos (Z) de juvenis de tilápia. Médias com mesma letra (minúsculas no eixo X e maiúsculas no eixo Z) não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05).

As médias mais altas da taxa de crescimento específico - TCE (Tabela 8 e Figura 4) foram verificadas nas tilápias alimentadas com as dietas contendo alimentos peletizados e, principalmente, para o sorgo.

As dietas com milho ou quirera de arroz, tanto crus quanto peletizados, não diferiram entre si ($P>0,05$), entretanto as tilápias alimentadas com milho cru apresentaram alta média de TCE, não diferindo da dieta com sorgo nas mesmas condições de processamento.

As dietas com farelo de trigo e todas as dietas com alimentos extrusados resultaram em baixas taxas médias de crescimento.

Tabela 8. Médias de TCE (% dia⁻¹) na interação observada entre os efeitos das fontes e dos processamentos dos alimentos.

Processamentos	Alimentos energéticos			
	Milho	F. de trigo	Q. de arroz	Sorgo
Cru	1,86 ^{Bab}	1,57 ^{ABc}	1,79 ^{Bb}	1,99 ^{Ba}
Peletizado	2,05 ^{Ab}	1,67 ^{Ac}	1,97 ^{Ab}	2,21 ^{Aa}
Extrusado	1,63 ^{Ca}	1,50 ^{Ba}	1,51 ^{Ca}	1,57 ^{Ca}

Médias com mesmas letras (maiúsculas na coluna e minúsculas na linha) não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P>0,05$)

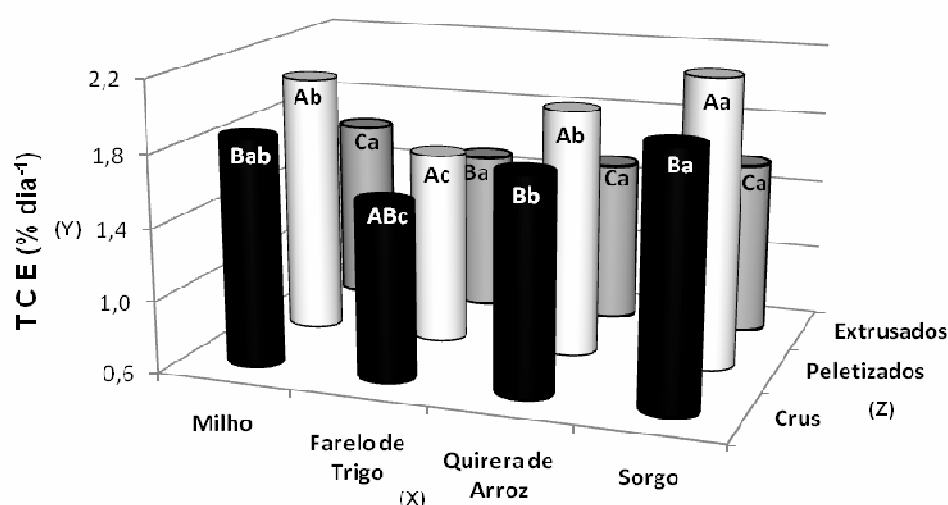


Figura 4. Médias das taxas de crescimento específicas (Y), no estudo da interação de alimentos energéticos (X) e processamentos (Z) de juvenis de tilápia. Médias com mesma letra (minúsculas no eixo X e maiúsculas no eixo Z) não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P>0,05$).

A Tabela 9 e a Figura 5 mostram as interações verificadas para a taxa de eficiência protéica (TEP). Nota-se que, assim como verificado em outras variáveis de desempenho nesse estudo, as dietas com alimentos

extrusados apresentaram os menores valores médios. A dieta com farelo de trigo não diferiu entre os processamentos ($P>0,05$).

A melhor utilização da proteína para ganho em peso foi observada na dieta com sorgo peletizado, seguido da dieta com milho peletizado e quirera de arroz peletizada, essas últimas não diferindo entre si. ($P>0,05$).

Tabela 9. Médias de TEP na interação observada entre os efeitos das fontes e dos processamentos dos alimentos.

Processamentos	Alimentos energéticos			
	Milho	F. de trigo	Q. de arroz	Sorgo
Cru	2,79 ^{Bb}	2,10 ^{Ac}	2,62 ^{Bb}	3,13 ^{Ba}
Peletizado	3,33 ^{Ab}	2,33 ^{Ac}	3,10 ^{Ab}	3,80 ^{Aa}
Extrusado	2,27 ^{Ca}	2,01 ^{Aa}	2,03 ^{Ca}	2,15 ^{Ca}

Médias com mesmas letras (maiúsculas na coluna e minúsculas na linha) não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P>0,05$)

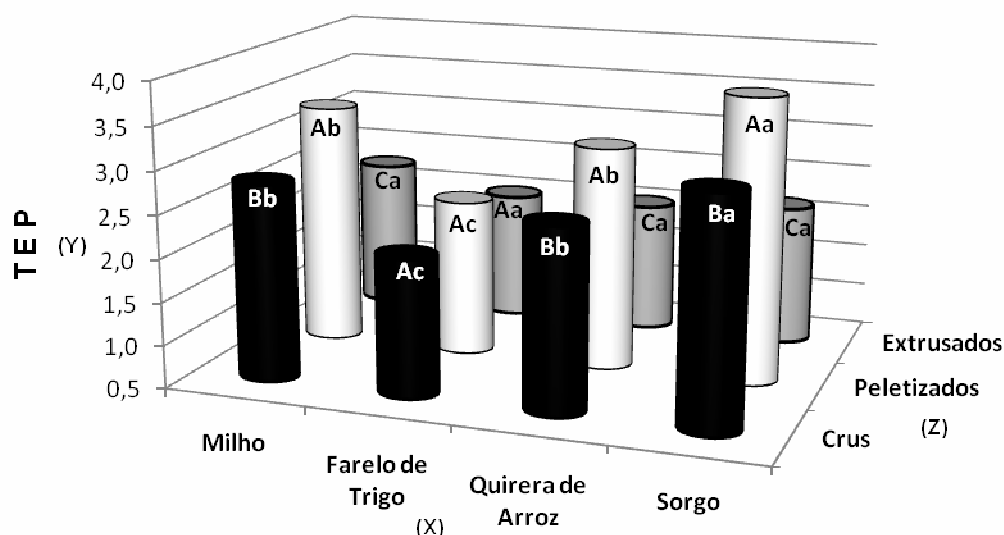


Figura 5. Médias das taxas de eficiência protéica (Y), no estudo da interação de alimentos energéticos (X) e processamentos (Z) de juvenis de tilápia. Médias com mesma letra (minúsculas no eixo X e maiúsculas no eixo Z) não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P>0,05$).

Os resultados das análises estatísticas e médias para as variáveis de composição corporal são apresentados na Tabela 10.

Observou-se que as tilápias alimentadas com as dietas contendo alimentos crus ou peletizados apresentaram maior acúmulo protéico na carcaça em relação às dietas com alimentos extrusados.

Os peixes alimentados com dietas contendo quirera de arroz e dietas com alimentos peletizados tiveram níveis mais altos de gordura na carcaça, enquanto as dietas contendo farelo de trigo proporcionaram o menor acúmulo de gordura. Não houve efeito dos tratamentos nas proporções de matéria seca ($P>0,05$).

Tabela 10. Valores de F e médias das variáveis de composição corporal de juvenis de tilápia do Nilo

Estatística	Valores de F		
	PB ¹	EE ²	MS ³
Efeito do Alimento (A)	5,98 ^{ns}	35,85**	1,49 ^{ns}
Efeito do Processamento (P)	8,88*	9,82*	0,15 ^{ns}
Efeito da interação (A x P)	1,40 ^{ns}	0,87 ^{ns}	0,51 ^{ns}
CV (%)	3,32	13,11	1,96
Médias para os alimentos (%):			
Milho	52,45	22,13 ^{ab}	39,06
Farelo de Trigo	54,21	15,17 ^c	39,25
Quirera de Arroz	52,23	23,88 ^a	38,69
Sorgo	53,37	20,20 ^b	39,41
Médias para processamentos (%):			
Cru	55,00 ^a	20,02 ^b	39,01
Peletizado	54,80 ^a	22,19 ^a	39,17
Extrusado	53,01 ^b	18,83 ^b	39,13

Médias seguidas com a mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P>0,05$).

** - significativo ao nível de 1% de probabilidade; ^{ns} – não significativo.

¹ Proteína bruta; ² Extrato etéreo; ³ Matéria seca.

Os resultados da análise estatística da influência dos alimentos energéticos, com ou sem tratamento térmico, sobre as médias das variáveis de eficiência de retenção de nutrientes são apresentados na Tabela 11. Foi verificado que o processamento, assim como os alimentos estudados, não afetaram a proteína bruta no ganho em peso (PBGP).

Em relação aos lipídeos no ganho em peso (EEGP), as dietas contendo quirera de arroz obtiveram a maior proporção média, resultado também observado nas dietas com alimentos peletizados.

As dietas com farelo de trigo apresentaram os menores índices de lipídeos no ganho em peso.

Tabela 11. Valores de F e médias das variáveis de eficiência nutricional de juvenis de tilápia do Nilo

Estatística	Valores de F		
	ERP ¹	PBGP ²	EEGP ³
Efeito do Alimento (A)	16,51**	3,16 ^{ns}	14,95**
Efeito do Processamento (P)	86,93**	0,09 ^{ns}	4,64*
Efeito da interação (A x P)	3,78*	1,07 ^{ns}	0,85 ^{ns}
CV (%)	8,01	4,32	13,52
Médias			
para os alimentos (%):			
Milho	55,17	55,01	31,95 ^{ab}
Farelo de Trigo	37,33	53,95	22,43 ^c
Quirera de Arroz	41,67	53,93	33,88 ^a
Sorgo	63,44	54,03	27,91 ^b
Médias			
para processamentos (%):			
Cru	51,00	56,81	27,93 ^{ab}
Peletizado	72,52	56,49	31,84 ^a
Extrusado	24,69	56,89	27,35 ^b

Médias seguidas com a mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05).

** - significativo ao nível de 1% de probabilidade; ^{ns} – não significativo.

¹ Eficiência de retenção de proteína bruta; ² Proporção de proteína bruta no ganho em peso;

³ Proporção de extrato etéreo no ganho em peso.

Foi verificado que quando os peixes foram alimentados com dietas contendo sorgo ou milho, crus ou peletizados, apresentaram melhores valores médios de eficiência de retenção de proteína bruta (Tabela 12 e Figura 6).

Os alimentos peletizados resultaram nos maiores valores para esta variável; entretanto, as dietas com sorgo também proporcionaram alta eficiência de retenção de proteína quando este alimento estava cru.

Tabela 12. Médias de ERPB (%) na interação observada entre os efeitos das fontes e dos processamentos dos alimentos.

Processamentos	Alimentos energéticos			
	Milho	F. de trigo	Q. de arroz	Sorgo
Cru	58,62 ^{Ba}	36,22 ^{ABb}	37,57 ^{Bb}	71,73 ^{Aa}
Peletizado	79,34 ^{Aab}	50,54 ^{Ac}	67,02 ^{Abc}	93,34 ^{Aa}
Extrusado	27,61 ^{Ca}	25,21 ^{Ba}	20,53 ^{Ba}	25,41 ^{Ba}

Médias com mesmas letras (maiúsculas na coluna e minúsculas na linha) não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P>0,05$)

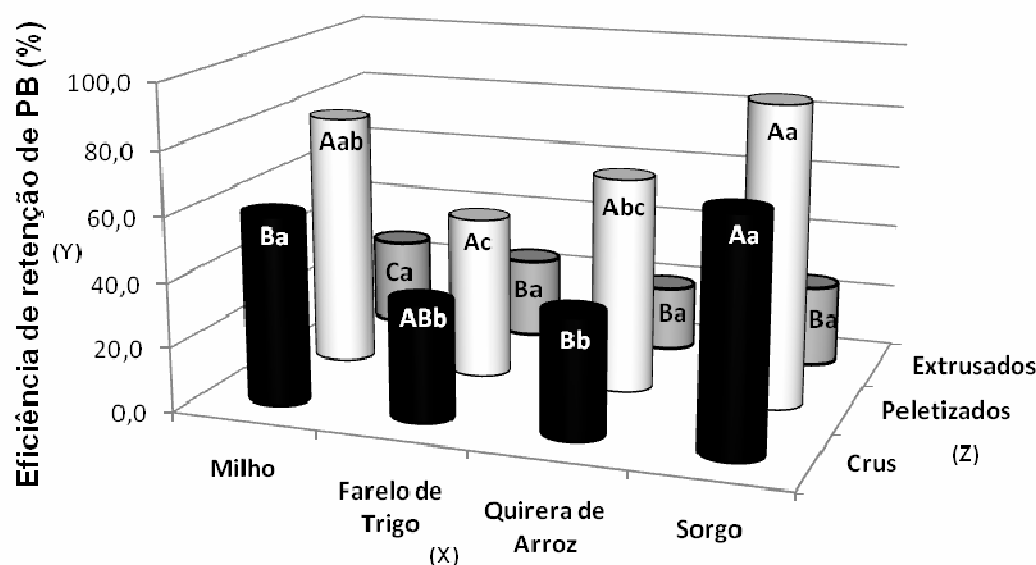


Figura 6. Médias de eficiência de retenção de proteína (Y), no estudo da interação de alimentos energéticos (X) e processamentos (Z) de juvenis de tilápia. Médias com mesma letra (minúsculas no eixo X e maiúsculas no eixo Z) não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P>0,05$).

Discussão

Neste estudo, as respostas das variáveis de desempenho produtivo para os efeitos dos processamentos a que os alimentos energéticos foram submetidos, mostram que a extrusão não proporcionou boas médias, como pode ser evidenciado pelo menor resultado do fator de condição nos peixes alimentados com as dietas constituídas por alimentos extrusados.

Além disso, nos resultados de consumo diário de ração, bem como para os índices de consumo, verificou-se médias expressivamente menores nas dietas com alimentos extrusados. Sugere-se que o menor consumo para essas dietas, pode ser um dos fatores que resultaram nas menores médias de GPD, TCE e TEP observados nas dietas com alimentos submetidos a esse processamento.

Diversos trabalhos anteriores realizados com diferentes espécies de peixes, como robalo europeu *Dicentrarchus labrax* (PERES e OLIVA-TELES, 2002), truta arco-íris (KAUSHIK e OLIVA-TELES, 1985) e “cod” (*Gadus morhua*) (HEMRE et al., 1989) mostraram decréscimos significativos no consumo de alimento com amidos geleificados em sua composição.

Dessa maneira, existem distintas inferências para explicar a redução na ingestão alimentar em dietas com amidos geleificados. Segundo ARNESEN (1993) e VENOU et al. (2003), a melhor digestibilidade de amidos geleificados pode aumentar a energia disponível e conseqüentemente reduzir a ingestão alimentar, ou ainda, ocorrer aumento do tempo de trânsito gastrintestinal, diminuindo a ingestão do alimento e o desempenho do animal.

No presente trabalho observou-se que as dietas com farelo de trigo, possuíam maiores teores de fibra quando comparadas com os outros tratamentos. O maior teor de fibra poderia reduzir a palatabilidade do alimento proporcionando menor consumo do mesmo, ou ainda, provocando saciação com menor ingestão de alimento devido ao maior volume do bolo alimentar provocado pelos altos teores de fibras desse alimento.

Nas dietas com quirera de arroz os tempos de passagem do alimento pelo trato gastrintestinal foram mais lentos (Capítulo III), e esse maior tempo pode

ter ocasionado menor ingestão alimentar. Além disso, as dietas com quirera de arroz apresentaram os maiores níveis de carboidratos em sua composição, disponibilizando mais energia e conseqüentemente maior tempo de saciação dos peixes alimentados com essas dietas.

Essas observações corroboram ZIMMERMANN e JOST (1998), que relataram que a dieta com alta velocidade de passagem pelo trato digestório pode resultar em baixo aproveitamento do alimento, pois permanece tempo insuficiente no trato para sofrer os processos de digestão e absorção. Por outro lado, o tempo excessivo de permanência do alimento no trato digestório levaria ao menor desempenho do animal, pelo fato de ocupar o espaço que poderia ser de um novo alimento.

Os baixos consumos das dietas com alimentos extrusados também podem estar associados à maior disponibilização de glicose proveniente desses alimentos, que seria facilitada pela ação enzimática no amido geleificado, liberando mais rapidamente a glicose para absorção e, conseqüentemente, disponibilizando energia suficiente ao organismo do peixe, atingindo mais rapidamente o ponto de saciedade. Resultado semelhante foi observado por FURUCHI e YONE (1982), avaliando a utilização de carboidratos pela carpa e “red sea bream” (*Pagrus major*). Os autores notaram que a rápida absorção de glicose restringiu a utilização de carboidratos altamente disponíveis, resultando em baixa ingestão da ração.

Em relação à conversão alimentar aparente (CAA), pode-se observar que as médias obtidas foram muito próximas de 1,0 (entre 1,11 – 1,31), superiores aos CAA de diversos trabalhos realizados com a tilápia: TOLEDO (2004), SOARES et al. (2001) e FURUYA et al. (1997).

As respostas obtidas para o ganho em peso diário (GPD), taxa de crescimento específico (TCE) e taxa de eficiência protéica (TEP) das dietas foram superiores com o uso de alimentos peletizados. TOLEDO (2004) avaliou os processamentos de dietas por extrusão ou peletização com níveis de energia para a tilápia nilótica, e também observou que as melhores médias de ganho em peso (GP) e TCE ocorreram com dietas peletizadas, assim como HILTON et al. (1981), que verificaram os efeitos dos processamentos de extrusão e peletização com vapor sobre o desempenho da truta arco-íris e concluíram que o ganho em peso com a dieta peletizada a vapor, foi superior ao da extrusada.

Resultado semelhante foi obtido por SIGNOR et al. (2008), que trabalharam com os processamentos de dietas por extrusão, peletização ou na forma farelada para tilápia do Nilo, e observaram que as médias de GPD dos peixes alimentados com as dietas extrusadas ou peletizadas não diferiram, mas foram superiores ao da dieta farelada. As dietas peletizadas ou extrusadas também apresentaram médias de CAA melhores que as dietas fareladas, (1,15 na peletizada e 1,02 na extrusada) e pequeno incremento para efeito de extrusão.

Diversos trabalhos demonstraram que o melhor aproveitamento de carboidratos em rações contendo ingredientes extrusados ocorreu pelo aumento da taxa de amido geleificado nas rações. Isso foi observado por TAKEUCHI et al. (1990), quando compararam os desempenhos de alevinos de truta (*Orncorhynchus mykiss*) e carpa (*Cyprinus carpio*) para a disponibilidade de ingredientes energéticos (amido de batata, amido de milho, farinha de trigo, milho e centeio) extrusados ou não. Os autores observaram que em ambas as

espécies, as médias de TCE, CAA e TEP foram maiores quando os peixes eram alimentados com rações contendo ingredientes extrusados, em comparação com rações que continham ingredientes crus. Nesse mesmo estudo, os autores também observaram que as rações formuladas com farinha de trigo, quando submetidas aos dois tratamentos, não promoveram diferença no desempenho dos peixes.

FURUYA et al. (1998) avaliaram os efeitos do processamento de dietas por peletização ou extrusão para a tilápia do Nilo na fase de terminação e não observaram influência nas médias de CAA, mas as médias de GPD (3,29 peletizada e 3,65 extrusada) e TEP (1,72 peletizada e 1,93 extrusada) foram melhores com a dieta extrusada. Os autores relataram que, mesmo com as melhores médias de GPD e TEP para as dietas extrusadas, o custo de ração por kg de peixe produzido foi o pior, e concluíram que a melhora no desempenho dos peixes com a dieta extrusada não foi suficiente para se obter desempenho econômico semelhante ou superior ao da dieta peletizada.

Ao se avaliar os efeitos dos alimentos energéticos utilizados neste estudo, pode-se observar que os melhores resultados de GPD, TCE e TEP foram obtidos nos peixes alimentados com as dietas contendo sorgo, independente do processamento. A eficiente utilização do sorgo pela tilápia remete aos bons CDAs obtidos com esse alimento cru, peletizado ou extrusado (Capítulo III) e, provavelmente pela maior palatabilidade dessas dietas, uma vez que, no presente estudo, os peixes apresentavam comportamento alimentar bastante ativo quando foram arraçoados com as dietas contendo sorgo. Esta observação também pode ser evidenciada pelas maiores médias de consumo dessas dietas, diferenciando significativamente dos demais tratamentos.

De acordo com as observações de PEREIRA-SILVA e PEZZATO (2000), em trabalho com a tilápia nilótica, os quais avaliaram a atratividade e palatabilidade de ingredientes utilizados na alimentação de peixes, as respostas comportamentais da tilápia apresentam-se diferenciadas, em função do grau de atrato-palatabilidade dos alimentos utilizados na composição das dietas.

No que se refere às dietas com milho ou quirera de arroz, os resultados médios de GPD, TCE e TEP não diferiram entre as mesmas, apresentando tendência de aumento nos valores das dietas com milho. Adicionalmente, as dietas com quirera de arroz podem ter inibido maior ingestão alimentar pelas tilápias, devido a elevação do teor de carboidratos na composição das mesmas, como pode-se observar nos menores valores de consumo alimentar dessa dieta em relação às dietas com milho ou sorgo.

As menores médias de desempenho das tilápias alimentadas com as dietas contendo farelo de trigo na sua composição podem estar caracterizadas principalmente nos baixos valores médios de consumo alimentar, e também nos reduzidos teores de amido (17,3%) e altos teores de fibra bruta (até 22% de fibra) na sua composição.

A utilização de níveis de fibra em dietas para a tilápia tem provocado resultados de pesquisa contraditórios. SHIAU et al. (1988), ao incorporarem níveis crescentes de carboximetilcelulose (CMC) (2; 6; 10 e 14%) em rações para híbridos de tilápia (*O. niloticus* e *O. aureus*), verificaram que para teores acima de 6%, o desempenho foi prejudicado. Em outro estudo, EL SAYED (1991) verificou que híbridos de tilápia (*O. niloticus* e *Tilapia zilli*) alimentados com dietas com alto nível de fibra bruta (22%), utilizando bagaço de cana cru

ou cozido, não determinaram diferença significativa em crescimento, CAA, ERPB e FC.

As análises estatísticas realizadas com os resultados de composição corporal para PB e MS na carcaça revelaram que os alimentos energéticos não modificaram as proporções de umidade e PB da carcaça. Os resultados de PBGP também seguiram o mesmo comportamento, não apresentando diferença entre os tratamentos. Apenas os peixes alimentados com as dietas com os alimentos extrusados apresentaram menor teor de PB na carcaça, provavelmente devido ao menor consumo, que resultou em menor ingestão de proteína.

Quando se avaliam os resultados de ERPB, pode-se observar que os melhores valores médios desta variável ocorrem nas dietas com alimentos peletizados. As médias observadas com dietas contendo sorgo não diferiram quando eram cruas ou peletizadas, apresentando bons índices de utilização da proteína da dieta. Esses resultados indicam que as alterações ocasionadas pelos processos de modificação e geleificação na estrutura original dos amidos e também da desnaturação protéica disponibilizaram, mais eficientemente, as moléculas para ação enzimática e melhoraram a digestão, com maior eficiência de utilização da proteína. Resultados inferiores foram obtidos por TUNG e SHIAU (1991) com a tilápia híbrida (*O. niloticus* e *O. aureus*), que apresentaram valores médios de ERPB variando entre 31,31 até 43,75% para diferentes frequências de arraçãoamento e fontes de carboidratos.

Para os resultados de níveis de gordura na carcaça e de EEGP, as maiores médias observadas no presente estudo nas dietas com quirera de arroz e dietas peletizada podem ser decorrentes da alta taxa de consumo pelas

tilápias alimentadas com dietas contendo alimentos peletizados e, também, dos maiores teores de amido apresentados pelas dietas com quirera de arroz. De acordo com MUÑOZ-RAMÍREZ (2005), a liberação constante de carboidratos no organismo pode aumentar a oferta de energia para manutenção e crescimento, sendo o excesso estocado em forma de gordura corporal, corroborando as afirmações de McGOOGAN e REIGH (1996) e MUKHOPADHYAY e RAY (1997), de que a elevada disponibilidade de energia nas rações pode ocasionar deposição de gorduras visceral e corporal, em várias espécies de peixes.

Dessa maneira, observou-se neste trabalho que os menores teores de gordura depositada foram das tilápias que consumiram dietas com alimentos extrusados ou crus, que foram consumidas em menor quantidade, e também nas dietas contendo farelo de trigo, que além de baixas médias de consumo, possuem menor teor de amido em sua composição. Assim, acredita-se que essas dietas podem ter proporcionado menor quantidade de proteína e energia para crescimento, sendo utilizados prioritariamente para manutenção das funções do metabolismo basal. Essas inferências podem ser evidenciadas por menores GPD observados nas dietas com farelo de trigo e também para todas as dietas com alimentos extrusados.

A literatura apresenta resultados distintos quando se avalia a complexidade molecular dos carboidratos e o processamento de dietas por peletização ou extrusão no desempenho dos peixes. Os diversos estudos demonstraram que vários fatores podem influenciar, positivamente ou negativamente, o aproveitamento eficiente dos nutrientes das dietas que passam por esses processamentos térmicos.

Durante a extrusão, o alimento processado é submetido a condições de alta temperatura e pressão, ocorrendo diversas transformações na sua estrutura molecular, como desnaturação protéica, formação de complexo entre amilose e lipídios, além de reações de degradação de vitaminas (ILO et al., 1999) e reação de Maillard (STANLEY, 1989). Dessa maneira, os benefícios da extrusão dependerão das variáveis inerentes no processo, tais como a velocidade da rosca do canhão, quantidade de água injetada, limites de temperatura e, também, das características intrínsecas da matéria-prima, tais como a relação de amilose/amilopectina, teores de fibra, lipídios e proteínas (CAIRNS et al., 1997).

No processo de geleificação do amido pode ainda ocorrer a recristalização ou retrogradação, quando as cadeias de amilose agregam-se formando duplas hélices cristalinas estabilizadas por pontes de hidrogênio, levando a formação de amidos resistentes à degradação por amilases. A amilose é especialmente sensível a retrogradação, já que a amilopectina, por conter cadeia mais complexa, apresenta limitada capacidade de reassociação de sua estrutura química (VAN SOEST, 1994b).

É sabido por meio de vários estudos, que a utilização de amido geleificado proporciona efeitos benéficos superiores no crescimento e na eficiência alimentar de diversas espécies de peixes, quando comparados com os amidos crus (JEONG et al., 1992, KAUSHIK e MEDALE, 1994). Por outro lado, de acordo com PERES e OLIVA-TELES (2002), o desempenho do robalo europeu foi melhor com a mistura de 12,5% de amido cru + 12,5% de amido geleificado, do que somente amido geleificado (25%) ou apenas amido cru (25%). De acordo com as observações desses autores, e com os resultados

obtidos no presente estudo, sugere-se que a mistura de amidos; crus, extrusados (alta taxa de geleificação) e peletizados (parcialmente geleificados) possam maximizar o desempenho das tilápias em cultivo, uma vez que o excesso de amido geleificado nas dietas pode disponibilizar rapidamente a glicose, gerando sobrecarga glicêmica nos peixes.

Outro parâmetro a ser considerado é a complexidade molecular dos carboidratos, uma vez que a maior parte dos amidos é composta por 70 a 80% de amilopectina e de 20 a 30% de amilose (GALLANT et al., 1992), mas existem outras classes de amidos com proporções amilopectina/amilose alteradas (ex. amido ceroso ou “waxy” - 99% de amilopectina). PFEFFER et al. (1991) observaram melhor desempenho em trutas alimentadas com amido de milho “waxy” comparado ao amido de milho normal. Entretanto, RAWLES e LOCHMANN (2003) estudaram os efeitos da relação amilopectina/amilose do milho no crescimento, composição corporal e resposta glicêmica em alevinos híbridos de “sunshine bass” (*Morone chrysops* x *M. saxatilis*) e observaram que o uso de dietas com 30% amilopectina / 70% amilose aumentou a eficiência de utilização dos carboidratos, com maior ganho em peso, baixo acúmulo de gordura visceral e sem afetar a composição corporal.

As proporções de amilose/amilopectina presentes nos alimentos deste estudo demonstraram que a tilápia apresenta bom aproveitamento de alimentos com proporções entre 19 e 23% de amilose e 76 a 80% de amilopectina. Entretanto os coeficientes de digestibilidade aparente do amido para o farelo de trigo foram acima de 90,0% (Capítulo III) e os mesmos possuem amidos constituídos por de 3% amilose / 97% de amilopectina, sugerindo bom aproveitamento da amilopectina pela tilápia.

De acordo com os resultados observados neste estudo, pode-se concluir que a utilização de dietas com alimentos energéticos peletizados pode melhorar o desempenho e a eficiência nutricional de dietas para a tilápia do Nilo, quando comparada à utilização de dietas com alimentos energéticos crus ou extrusados.

O sorgo utilizado nesse estudo mostrou-se excelente fonte energética no desempenho dessa espécie.

Sugere-se que tenha ocorrido no presente estudo, modificações nutricionais negativas nos alimentos submetidos ao processo de extrusão, devido a prováveis temperaturas mais elevadas durante a passagem do alimento pelo canhão da extrusora, resultando em alterações na estrutura molecular dos grãos, de forma que sua biodisponibilidade foi prejudicada.

Estudos posteriores sobre a utilização das fontes de carboidratos extrusados são recomendados para melhorar os resultados, avaliando-se proporções da sua inclusão, e as melhores proporções de amidos geleificados pela extrusão, peletização e amidos crus na composição das dietas, permitindo a recomendação do melhor balanceamento nas dietas para a criação da tilápia nilótica.

Referências

ARNESEN, P.; KROGDAHL, A. Crude and pre-extruded products of wheat as nutrient sources in extruded diets for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) grown in sea water. **Aquaculture**, v. 118, p. 105–117, 1993.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALITICAL CHEMISTS. AOAC. **Official methods of analysis**, 17 ed. Gaithersburg, v. 2, 2000.

BALDAN, A. P.; **Avaliação da tolerância do pacu *Piaractus mesopotamicus* a carboidratos**. 2008. 119f. Tese – (Doutorado em Aquicultura) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.

BERGOT, F.; BREQUE, J. Digestibility of starch by rainbow trout: Effects of the physical state of starch and of the intake level. **Aquaculture**, v. 34, p. 203-212, 1983.

CAIRNS, P. X-ray diffraction studies on extruded maize grits. **Journal of Cereal Science**, v. 26, p. 223-227, 1997.

EL-SAYED, A. F. M. Evaluation of sugarcane bagasse as a feed ingredient for the tilapias, *Oreochromis niloticus* and *tilapia Zilli*. **Asian Fisheries Science**, v.4, p.53-60, 1991.

EL-SAYED, A. F. M. **Tilapia culture**. 1.ed. Cambridge: CABI Publishing, 2006. 277p.

FURUICHI, M.; YONE, Y. Availability of carbohydrate in nutrition of carp and red sea bream. **Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries**, v. 48, p. 945–948, 1982.

FURUYA, W. M. Desempenho de tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*), submetidas a dietas farelada, peletizada e extrusada, na terminação *In*: REUNIÃO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 1997, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora, 1997.

FURUYA, W. M.; SOUZA, S. R.; FURUYA V. R. B.; HAYASHI, C.; RIBEIRO, R. P. Dietas extrusadas e peletizadas para machos revertidos de tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*), na fase de terminação. **Ciência Rural**, v. 28, n.3, p. 483-487, 1998.

GALLANT, D. J.; BOUCHET, B.; BUELON, A.; PEREZ, S. Physical characteristics of starch granules and susceptible to enzymatic degradation. **European Journal Clin. Nutrition**, v. 46, n. 2, p. 3-16, 1992.

HENDRIX, D.L. Rapid extration and analysis of nonstrutuctural carbohydrates in plant tissues. **Crop Science**, v. 25, p. 1306-1311, 1993.

HEMRE, G. I.; HANSEN, T. Utilization of different dietary starch sources and tolerance to glucose loading in Atlantic salmon during parr - smolt transformation. **Aquaculture**, v. 161, p. 145-157, 1998.

HEMRE, G. I.; LIE, O.; LIED, E.; LAMBERTSEN, G. Starch as an energy source in feed for cod (*Gadus morhua*): digestibility and retention. **Aquaculture**, v. 80, p. 261– 270, 1989.

HILTON, J.W. Effect of extrusion processing and steam pelleting diets on pellet durability, pellet water absorption, and the physiological response of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). **Aquaculture**, Amsterdam, v. 25, p. 185–194, 1981.

HILTON, J.W.; PLISETSKAYA, E. M.; LEATHERLAND, J. F. Does oral 3,5,3'. triiodo-Lthyronine affect dietary glucose utilisation and plasma insulin levels in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) **Fish Physiology and Biochemistry**, v. 4, p. 113-120, 1987.

HUNG, S. S. O. Carbohydrate utilization by white sturgeon as assessed by oral administration tests. **Journal of Nutrition**, v. 121, p. 1600-1605, 1991.

ILO, S.; LIU, Y.; BERGHOFER, E. Extrusion Cooking of Rice Flour and Amaranth Blends. **Lebensm-Wiss u-Technology**, v. 32, p.79-88, 1999.

JAYARAM, M. G.; SHETTY, H. P. C. Formulation, processing and water stability of two new pelleted fish feeds. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 23, p. 355-359, 1981.

JEONG, K.S., TAKEUCHI, T., OKAMOTO, N., WATANABE, T. The effects of dietary gelatinized ratios at different dietary energy on growth and characteristic of blood in rainbow trout fingerlings. **Nippon Siusan Gakkaishi**, v. 58, p. 937-944, 1992.

KARKALAS, J. J. An improved enzymatic method for the determination of native and modified starch. **Journal of Science Food Agriculture**, v. 36, p. 1016, 1985.

KAUSHIK, S. J., MÉDALE, F. 1994. Energy requirements, utilization and dietary supply to salmonids. **Aquaculture**, v. 124, p. 81-97.

KAUSHIK, S. J.; OLIVA-TELES, A. Effect of digestible energy on nitrogen and energy balance in rainbow trout. **Aquaculture**, v. 50, p. 89– 101, 1985.

KUBITZA, F. **Tilápia: tecnologia e planejamento na produção comercial**. Jundiaí, 2000. 285p.

McGOOGAN, B. B.; REIGH, R. C. Apparent digestibility of selected ingredients in red drum (*Sciaenops ocellatus*) diets. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 141, p. 233-244, 1996.

MUKHOPADHYAY, N.; RAY, A. K. The apparent total and nutrient digestibility of sai seed (*Shorea robusta*) meal in rohu, Labeo rohita (Hamilton), fingerlings. **Aquaculture Research**, v.28, p.683-689, 1997.

MUÑOZ-RAMÍREZ, A.P.; **Utilização de carboidratos digestíveis em dietas para pacu, *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887)**. 2005. 123f. Tese (Doutorado em Aquicultura) – Centro de Aquicultura da Unesp, Jaboticabal, 2005.

NEW, M. B. **Feed and feeding of fish and shrimp**. Rome, 1987, 275p.

PEREIRA-DA-SILVA, E. M.; PEZZATO, L. E. Respostas da Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) à Atratividade e Palatabilidade de Ingredientes Utilizados na Alimentação de Peixes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 29 n. 5, 2000.

PÉRES, H.; OLIVA-TELES, A. Utilization of raw and gelatinized starch by European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. **Aquaculture**, v. 205, p. 287–299, 2002.

PFEFFER, E.; BECKMANN-TOUSSAINT, J.; HENRICHFREISE, B.; JANSEN, H.D. Effect of extrusion on efficiency of utilization of maize starch by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, v. 96, p. 293 – 303, 1991.

RAWLES, S.; LOCHMANN, R. Effects of amylopectin/amylase starch ratio on growth, body composition and glycemic response of sunshine bass *Morone chrysops* x *M. saxatilis*). **Journal of the World Aquaculture Society**. V. 34, p. 278-288, 2003.

SHIAU, S. Y.; YU, H. L.; HWA, S.; CHEN, S. Y.; HSU, S. I. The influence of carboxymethylcellulose on growth, digestion, gastric emptying time and body composition of tilapia. **Aquaculture**, v. 70, p. 345-354, 1988.

SIGNOR, A. A.; BOSCOLO, W. R.; FEIDEN, A. **Processamento de ração e utilização de complexo multienzimático na produção de juvenis de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)**. 2008. 49f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2008.

SOARES, C. M.; HAYASHI, C.; FARIA, A. C. E. A.; FURUYA, W. M. substituição da Proteína do Farelo de Soja pela Proteína do Farelo de Canola em Dietas para a Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) na Fase de Crescimento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 30 n. 4, 2001.

STANLEY, D. W. Protein reactions during extrusion processing. In: MERCIER, C.; LINKO, P.; HARPER, J. M. Extrusion cooking. **American Association of Cereal Chemists**, St. Paul, p. 247-319, 1989.

TAKEUCHI, T.; JEONG, K. S.; WATANABE, T. Availability of extruded carbohydrate ingredients to rainbow trout *oncorhynchus mykiss* and carp *cyprinus carpio*. **Bulletin Japanese Society Science Fish**, Tokio, v. 56, n. 11, p. 1839-1845, 1990.

TOLEDO, M. P. **Processamentos de dietas práticas com diferentes fontes de energia para o crescimento e a digestibilidade da tilápia do Nilo**. 2004. 33 f. Tese (Doutorado em Aquicultura) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2004.

TUNG P. H.; SHIAU S. Y. Effects os meal frequency on growth performance of hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* x *O. aureus*, fed different carbohydrate diets. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 92, p. 343-350, 1991.

VAN SOEST, P. J. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. In: SYMPOSIUM CARBOHYDRATE METODOLOGY, METABOLISM, AND NUTRITIONAL IMPLICATIONS IN DAIRY CATTLE. **Journal of Dairy Science**, Savoy, v. 74, n. 10, p. 3583-3597, 1994a.

VAN SOEST, P.J. Nutritional ecology of ruminant: ruminant metabolism, nutritional strategies, the celullolytic fermentation and the chemistry of forages and plant fiber. Ithaca: **Cornell University Press**, 1994b.

VENOU, B.; ALÉXIS, M. N.; FOUNTOULAKI, E.; NENGAS, I.; APOSTOLOPOULOU, M.; CASTRITSI-CATHARIOU, I. Effect of extrusion of wheat and corn on gilthead sea bream (*Sparus aurata*) growth, nutrient utilization efficiency, rates of gastric evacuation and digestive enzyme activities. **Aquaculture** v. 225, p. 207-223, 2003.

WANG, Y. Effects of dietary carbohydrate level on growth and body composition of juvenile tilapia, *Oreochromis niloticus* x *O. aureus*. **Aquaculture Res.**, Oxford, v. 36, p. 1408-1413, 2005.

ZIMMERMANN, S.; JOST, H.C. Recentes avanços na nutrição de peixes: a nutrição por fases em piscicultura Intensiva. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E NUTRIÇÃO DE PEIXES, 1998, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Conselho Brasileiro de Nutrição Animal, 1998. p. 123-162.

Capítulo 5

Variáveis metabólicas e atividade da amilase em tilápias do Nilo alimentadas com fontes de carboidratos peletizados, extrusados ou crus

Resumo

Foram estudados o metabolismo intermediário e a atividade da amilase de juvenis de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), com peso médio inicial de $38,4 \pm 6,9\text{g}$, alimentadas durante 60 dias com dietas isoprotéicas, constituídas de composição básica de ingredientes e com a inclusão de 50% de um dos quatro alimentos energéticos estudados (milho, farelo de trigo, quirera de arroz ou sorgo) crus ou processados por peletização ou extrusão. Um delineamento inteiramente casualizado foi utilizado, com 12 tratamentos em esquema fatorial 4×3 correspondendo aos quatro alimentos energéticos e os três processamentos, com três repetições e 15 peixes por repetição. Durante o período experimental, os peixes foram distribuídos ao acaso em 36 caixas com capacidade de 400L. Foram avaliados os índices hepatossomático (IHS) e gorduro-viscerossomático (IGVS), e intermediários metabólicos. Os ensaios de atividade amilásica foram realizados no estômago e intestino. As dietas com alimentos peletizados provocaram maiores concentrações de glicose plasmática (116mg dL^{-1}) enquanto que as dietas com alimentos crus as menores (93mg dL^{-1}). Para os peixes que consumiram as dietas com alimentos extrusados, os níveis de triglicerídeos séricos foram bastante elevados (357mg dL^{-1}), assim como os teores de lipídeos hepáticos e gordura visceral. Os níveis de glicogênio hepático foram maiores para os peixes que foram alimentados de dietas com quirera de arroz ou sorgo peletizados, (14,26 e 12,69%, respectivamente). De forma geral, os peixes que consumiram as dietas com quirera de arroz apresentaram maior acúmulo de gordura visceral, evidenciado pelos altos IGVS observados. Os valores de atividade amilásica foram maiores no intestino e nos tratamentos das dietas com sorgo. No estômago, a atividade enzimática da amilase foi maior nos peixes alimentados com dietas contendo farelo de trigo ou sorgo.

Palavras chave: tilápia; metabolismo; amilase; alimento energético; processamento; amido.

Abstract

The intermediate metabolism and the amylase activity of the Nile Tilapia juvenile (*Oreochromis niloticus*) were studied, with initial average weight of $38.4 \pm 6.9\text{g}$, and they were fed during sixty days with isoproteic diets. These diets are made of a basic composition of ingredients and with the added of 50% of one of the four studied energetic sources (corn, wheat meal, broken rice or sorghum) which were raw or processed by pelletization or extrusion. It was used a casualized delineament, with twelve treatment in a 4×3 factorial design, corresponding to the four energetic sources and to the three processings, with three replicates and 15 fish per repetition. During the experimental period, the fish were distributed at random in thirty-six boxes with a capacity for 400L. The hepatosomatic, visceralsomatic fat indexes and metabolic mediators were evaluated. The amylase activity assays were determined in the stomach and in the intestine. Pelletized sources diets caused higher concentration of plasmatic glucose (116mg dL^{-1}), however the raw sources diets caused the smaller ones (93mg dL^{-1}). For the fish that were fed the diets with foods extruded, the levels of triglycerides were very high (357mg dL^{-1}), as well as the levels of hepatic and visceral fat. The levels of hepatic glycogen were higher to the fish that were fed the diets with pelletized broken rice or sorghum (14.26 and 12.69%). In general, the fish that were fed the diets with broken rice showed the highest accumulation of visceral fat, proving it by the high visceralsomatic fat indexes observed. The amylase activity values were highest in the intestine and also in the treatment of the diets with sorghum. In the stomach, the enzymatic activity of the amylase was highest of the fish which were fed with diets containing wheat meal or sorghum.

Key words: tilapia; metabolism; amylase; energetic source; processing; starch.

Introdução

O metabolismo de carboidratos tem como uma das principais funções fornecer a energia necessária para os processos vitais e atender o desenvolvimento e crescimento do organismo.

Quando ingeridos, os carboidratos são convertidos principalmente em glicose, que é prontamente absorvida (HEPHER, 1988). Contudo, em estudo realizado com nove espécies de peixes com hábitos alimentares onívoros, carnívoros e herbívoros, foi observado que as taxas de transporte da glicose variaram 200 vezes entre as espécies, sendo a mais baixa em carnívoros como a truta arco-íris *Oncorhynchus mykiss*, média em onívoros como o bagre do canal *Ictalurus punctatus*, e alta em herbívoros como a carpa capim *Ctenopharyngodon idella* (HALVER, 1988).

Segundo TACON (1989), os peixes não têm exigência definida de carboidratos porque são capazes de sintetizar glicose a partir de proteína e lipídeos, num processo denominado gliconeogênese, como forma de manter os níveis circulantes de glicose e transferir energia aos neurônios a partir de aminoácidos e triglicerídeos. COWEY (1994) encontrou a maior taxa de gliconeogênese em trutas arco-íris com dieta contendo alto nível de proteína e também com truta submetida a prolongado jejum. Menores taxas de gliconeogênese foram encontradas em trutas que receberam dietas com altos níveis de carboidratos e baixos níveis de proteína.

Segundo SHIAU e CHUANG (1995), peixes onívoros são relativamente eficientes na utilização dos carboidratos da dieta e produzem as enzimas digestivas associadas à degradação e metabolismo de pós-absorção dos açúcares.

Nas tilápias, as carboidrases possuem atividade maior que as proteases; já, as lipases são as enzimas com menor atividade (OPUSZYNSKI e SHIREMAN, 1995). Ao iniciar a alimentação exógena (por volta do sexto dia após a eclosão do ovo), todas as enzimas já estão presentes no intestino das larvas de tilápia (TENGJAROENKUL et al., 2000).

A tilápia é um modelo interessante para o estudo do metabolismo de carboidratos, pois embora sejam fitoplanctófagas, podem alimentar-se de grande variedade de alimentos naturais, incluindo invertebrados aquáticos, larvas de peixes, detritos, matéria orgânica em decomposição e apresenta capacidade de aceitar alimentação artificial, seja na forma farelada, peletizada ou extrusada, sugerindo que a espécie possua mecanismos enzimáticos bem desenvolvidos para utilização de carboidratos (LOVSHIN e CYRINO, 1998).

Uma forma de melhorar a utilização dos amidos das dietas pelos peixes são os processos tecnológicos, por meio de tratamentos térmicos. Entre os processamentos de ração mais utilizados na aquicultura estão a extrusão e a peletização, os quais propiciam modificações benéficas ao amido cru, melhorando o aproveitamento nutricional das rações pelos peixes (JAYARAM e SHETTY, 1981).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a utilização de carboidratos de quatro alimentos energéticos (milho, farelo de trigo, quirera de arroz e sorgo) crus ou processados por peletização ou extrusão, pela observação dos intermediários metabólicos sanguíneos (glicose, triglicerídeos, colesterol e proteína), teciduais (glicogênio hepático, lipídeo hepático e lipídeo muscular), pelos índices biométricos (índice hepato-somático - IHS e índice gorduro-víscerosomático –

IGVS), e pela atividade da amilase no trato gastrintestinal de tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*).

Material e Métodos

O ensaio experimental foi conduzido na Universidade Estadual Paulista (UNESP), no Centro de Aquicultura (CAUNESP), localizado na cidade de Jaboticabal, estado de São Paulo.

Processamento dos alimentos energéticos

Os alimentos energéticos estudados, milho, farelo de trigo, quirera de arroz e sorgo, (Tabela 1), foram moídos em moinho martelo, JF Nogueira modelo H5-F3, com peneira de porosidade 0,5mm de diâmetro. Posteriormente, cada alimento foi processado por peletização ou extrusão, pré-seco ao sol e em seguida em estufa à 55°C por 24 horas. Depois foi realizada novamente a moagem dos alimentos, seguido do ensacamento e armazenamento a -20°C para posterior inclusão nas dietas-teste.

A extrusão dos alimentos foi realizada em extrusora Extruder, modelo MAB 400S, com canhão de rosca simples, injeção de vapor de água no condicionador e alta pressão, atingindo temperatura média de 120°C. Cada alimento exigiu temperatura e pressão específica para garantir, aparentemente, o mesmo grau de geleificação do amido e sua extrusão. A temperatura média dos péletes na saída da extrusora foi de 94,5°C. A peletização foi feita em peletizadora Calibrás, com adição de vapor e água e capacidade de processamento de 300 a 500 kg.hora⁻¹. A temperatura média dos péletes, na saída da matriz, foi de 67,5°C.

Tabela 1- Composição analisada dos alimentos energéticos crus, peletizados e extrusados

Alimento	Process. ¹	MS ² (%)	PB ³ (%)	EE ⁴ (%)	FDN ⁵ (%)	MM ⁶ (%)	CNF ⁷ (%)	AMIDO (%)	AML ⁸ (%)	AMP ⁹ (%)	EB ¹⁰ (kcal.kg ⁻¹)
Milho	<i>Cru</i>	90,4	9,6	5,1	6,4	1,3	68,0	62,0	21,5	78,1	3926
	<i>Peletizado</i>	91,2	9,3	4,8	6,5	1,2	69,4	62,4	27,3	72,7	3945
	<i>Extrusado</i>	90,9	8,9	4,4	6,9	1,2	69,5	62,2	21,2	78,5	3931
Farelo de Trigo	<i>Cru</i>	92,7	15,9	5,6	26,7	4,6	39,9	25,3	3,0	97,0	4053
	<i>Peletizado</i>	91,5	15,7	5,2	26,2	4,9	39,5	25,3	2,9	97,1	4031
	<i>Extrusado</i>	92,8	14,1	4,2	10,4	3,8	60,3	25,1	3,6	96,4	3953
Quirera de Arroz	<i>Cru</i>	88,0	8,4	1,3	0,5	0,6	77,2	76,5	27,7	72,3	3646
	<i>Peletizado</i>	89,7	8,5	1,4	0,4	0,7	78,7	76,3	27,5	72,5	3610
	<i>Extrusado</i>	89,8	8,1	1,4	0,4	0,7	79,2	76,2	24,3	75,8	3622
Sorgo	<i>Cru</i>	89,7	11,1	3,7	9,3	3,3	62,3	56,1	23,2	76,8	3798
	<i>Peletizado</i>	91,4	11,2	3,4	9,6	3,3	63,9	56,6	19,7	80,3	3816
	<i>Extrusado</i>	91,0	10,8	3,2	9,4	3,7	63,9	56,4	19,6	80,4	3782

¹ – Processamento térmico; ² – Matéria seca; ³ – Proteína bruta; ⁴ – Extrato etéreo; ⁵ – Fibra em detergente neutro; ⁶ – Matéria mineral; ⁷ – Carboidratos não fibrosos MS- (PB + EE + FDN+MM); ⁸ – Amilose; ⁹ – Amilopectina; ¹⁰ – Energia bruta.

Dietas experimentais

Doze dietas-teste (Tabelas 2 e 3) foram formuladas contendo 28% de PB. Elas foram elaboradas com composição básica de ingredientes e com 50% de inclusão de cada uma das quatro fontes de carboidratos (milho, farelo de trigo, quirera de arroz e sorgo), crus (não processados), ou previamente peletizados ou extrusados, conforme descrito no item anterior. As dietas-teste foram umedecidas a 50% com água e processadas em moedor de carne C.A.F. modelo 22S, para formação dos péletes, os quais foram secos em estufa com circulação forçada de ar à 55°C, por 20 horas. Após atingirem a temperatura ambiente, foram acondicionadas em sacos plásticos e armazenadas a -20°C.

Tabela 2- Composição percentual das dietas-teste

INGREDIENTES (%)	MILHO	FARELO DE TRIGO	QUIRERA DE ARROZ	SORGO
Farinha de peixe (56%PB)	27,0	27,0	27,0	27,0
Farelo de Soja (46%PB)	18,0	12,5	19,0	16,5
Milho	50,0	-	-	-
Farelo de Trigo	-	50,0	-	-
Quirera de Arroz	-	-	50,0	-
Sorgo	-	-	-	50,0
Óleo de Soja	1,5	1,5	2,5	2,5
Fosfato bicálcico	0,5	0,5	0,5	0,5
Caulim (Inerte)	2,0	7,5	-	2,5
Suplemento mineral e vitamínico ¹	1,0	1,0	1,0	1,0

¹ Suplemento mineral e vitamínico Polinutri, níveis de garantia por kg de produto: Vitamina A 860.000 UI; Vitamina D3 240.000 UI; Vitamina E 10.500 UI; Vitamina K3 1400 mg; vitamina B1 2100 mg; Vitamina B2 2150 mg; Vitamina B6 2100 mg; Vitamina B12 2200 mcg; Niacina 10.000 mg; Pantotenato de Cálcio 5600 mg; Ácido fólico 580 mg; Biotina 17 mg; Vitamina C 18000 mg; Metionina 100.000 mg; Colina 60.000 mg; Cobre 1800 mg; Manganês 5000 mg; Zinco 8000 mg; Iodo 90 mg; Cobalto 55 mg; Selênio 30 mg; Antioxidante 10000 mg.

Tabela 3- Composição analisada das dietas-teste

Dietas com:	Processamento	MS ¹ (%)	PB ² (%)	EE ³ (%)	FDN ⁴ (%)	MM ⁵ (%)	CNF ⁶ (%)	AMIDO (%)	EB ⁷ (kcal.kg ⁻¹)
Milho	<i>Cru</i>	91,70	28,30	6,8	7,1	10,7	38,80	31,2	4150
	<i>Peletizado</i>	91,38	28,10	7,0	7,2	10,7	38,38	31,2	4187
	<i>Extrusado</i>	91,40	28,00	6,6	7,4	11,0	38,40	31,2	4145
Farelo de Trigo	<i>Cru</i>	92,65	28,70	6,8	16,5	16,7	23,95	12,6	3989
	<i>Peletizado</i>	92,05	28,50	7,1	16,2	16,9	23,35	12,6	3955
	<i>Extrusado</i>	91,00	27,92	6,0	8,3	16,3	32,48	12,6	3921
Quirera de Arroz	<i>Cru</i>	89,70	28,20	5,5	4,3	8,6	43,10	38,2	4275
	<i>Peletizado</i>	90,10	28,11	5,6	4,3	8,8	43,29	38,2	4282
	<i>Extrusado</i>	89,40	28,10	5,3	4,2	8,3	43,50	38,2	4212
Sorgo	<i>Cru</i>	91,60	28,26	6,9	8,4	12,1	35,94	28,2	4071
	<i>Peletizado</i>	91,10	28,00	7,3	8,5	12,1	35,20	28,2	4055
	<i>Extrusado</i>	91,44	28,11	6,8	8,4	12,3	35,83	28,2	4067

¹ – Matéria seca; ² – Proteína bruta; ³ – Extrato etéreo; ⁴ – Fibra em detergente neutro; ⁵ – Matéria mineral; ⁶ – Carboidratos não fibrosos MS- (PB + EE + FDN+MM); ⁷ – Energia bruta.

Peixes e condições experimentais

Foram utilizados 540 juvenis de tilápia do Nilo, revertidos sexualmente e com peso médio inicial de $38,4 \pm 6,9\text{g}$. Os peixes foram distribuídos ao acaso em 36 caixas de fibrocimento com 400L de capacidade, em densidade de 15 peixes por caixa, que eram abastecidas continuamente de água proveniente de poço artesiano com aeração constante, por meio de assoprador central.

A qualidade da água foi monitorada uma vez por semana, sempre às 15h00, medindo as seguintes variáveis limnológicas: temperatura, pH e oxigênio dissolvido, utilizando-se peagômetro da marca *Corning* pH-30 e oxímetro YSI 55. A cada cinco dias, as caixas foram sifonadas para a retirada de material decantado.

Procedimento experimental – variáveis metabólicas e atividade amilásica

Inicialmente, os peixes passaram pelo período de dez dias de adaptação às condições experimentais do laboratório; nesse período foram alimentados com ração comercial extrusada contendo 28% de proteína bruta, duas vezes ao dia até próximo a saciedade. Com o início do experimento, o arraçoamento foi realizado até a saciedade aparente, durante 60 dias, três vezes ao dia, às 9h00, 13h00 e 17h00, evitando-se sobras, de forma que a quantidade oferecida pudesse ser considerada como consumida.

A avaliação de consumo alimentar diário (CAD) foi realizada por meio da seguinte fórmula: consumo diário (g dia^{-1}) = consumo de alimento / tempo.

Ao final do período de alimentação, os peixes passaram por jejum de 24 horas para coleta do material biológico. Nove peixes de cada tratamento (três de cada parcela) foram anestesiados em solução de benzocaína (1g/10L de água) e amostrados imediatamente para coleta de sangue por punção da veia

caudal, utilizando EDTA fluoretado para extração do plasma (determinação de glicemia), centrifugado a 4°C e a 3000rpm, durante 10min. Do restante do sangue, foi retirado soro, estocado a -20°C para posterior determinação da concentração de triglicerídeos, colesterol e proteína total. Posteriormente, os peixes foram pesados, medidos e sacrificados por secção medular para retirada do fígado, músculo branco e gordura visceral. Os tecidos foram imediatamente congelados em nitrogênio líquido e mantidos a -196°C, para a determinação de intermediários metabólicos.

A gordura visceral e o fígado foram pesados para o cálculo do índice gorduro-víscero-somático [IGVS (%) = (peso da gordura visceral / peso corporal) x 100] e índice hepato-somático [IHS (%) = (peso do tecido hepático/ peso corporal) x 100]. O trato digestório foi dissecado e dividido em estômago e intestino, que foram imediatamente lavados com solução salina e congelados em nitrogênio líquido, a -196°C e mantidos a -20°C para os ensaios de atividade amilásica.

Procedimentos analíticos

As análises dos nutrientes e energia dos alimentos e rações foram realizadas de acordo com as metodologias descritas pela Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2000). As análises foram realizadas na UNESP, Câmpus de Jaboticabal. As análises de proteína e lipídeos foram realizadas no Laboratório de Nutrição de Organismos Aquáticos do CAUNESP. As análises de matéria mineral, fibra em detergente neutro e energia foram realizadas no Laboratório de Análise de Alimentos (LANA), e as análises de amido no Laboratório de Morfologia e Fisiologia Animal.

A análise de extrato etéreo (EE) foi realizada utilizando-se éter de petróleo como solvente e utilizando o aparelho de extração Soxhlet, com refluxo contínuo pela da amostra por seis horas, para amostras cruas. Nas amostras extrusadas ou peletizadas, utilizou-se primeiramente hidrólise ácida (HCl) e, posteriormente, a extração da gordura com mistura de éteres de petróleo e etílico (1:1).

A análise de fibra em detergente neutro (FDN) foi realizada de acordo com a metodologia proposta por VAN SOEST et al. (1994), com a realização de tratamento prévio das amostras pela da adição de amilase termoestável, para a remoção do amido.

A análise de amido seguiu a metodologia de HENDRIX (1993), modificada pela utilização do método glicose-oxidase (KARKALAS, 1985).

O teor de carboidratos não fibrosos (CNF) foi obtido subtraindo da matéria seca o total de nutrientes analisados, incluindo a fibra em detergente neutro.

A análise de amilose / amilopectina foi realizada pela determinação do teor de amilose, que representa o conteúdo total de um dos polissacarídeos constituintes da molécula de amido, segundo o INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (1987). Essas análises foram realizadas no Centro de Raízes e Amidos Tropicais - CERAT. Fazenda Experimental Lageado, UNESP – Câmpus de Botucatu.

As análises dos intermediários metabólicos (glicose, triglicerídeos, colesterol, proteínas totais, glicogênio e lipídeos totais) foram realizadas no Laboratório de Morfologia e Fisiologia Animal, enquanto as análises de atividade da amilase foram realizadas no Laboratório de Bioquímica Adaptativa,

do Departamento de Bioquímica da UFSCar - Universidade Federal de São Carlos.

- *Glicose plasmática*

Amostras de plasma foram utilizadas para determinar a concentração de glicose seguindo metodologia enzimática (glicose-oxidase) com a reação de Trinder descrita por BLAEDEL e UHL (1975). Para a quantificação foi utilizado o kit Glicose PAP Liquiform® Labtest Diagnóstica, e leitura em espectrofotômetro a 505nm.

- *Triglicerídeos séricos*

A concentração de triglicerídeos séricos foi determinada a partir de metodologia enzimática (glicerol fosfato oxidase) com reação de Trinder descrita por BUCOLO e DAVID (1973). A quantificação dos triglicerídeos foi feita por meio do kit Triglicérides GPO-ANA® Labtest Diagnóstica, em amostras de soro com reação de ponto final e leitura em espectrofotômetro a 505nm.

- *Colesterol sérico*

A determinação do colesterol sérico foi realizada seguindo metodologia enzimática (colesterol oxidase) com reação de Trinder descrita por ALLAIN et al. (1974). A determinação quantitativa do colesterol foi realizada utilizando kit Colesterol Liquiform® Labtest Diagnóstica, em amostras de soro com reação de ponto final e leitura em espectrofotômetro a 500nm.

- *Proteína total sérica*

A determinação da proteína total sérica foi realizada segundo metodologia de biureto descrita por WEICHSELBAUM (1946), utilizando-se kit Proteínas

totais® Labtest Diagnóstica, em amostras de soro com reação de ponto final e leitura em espectrofotômetro de 545nm.

- *Glicogênio tecidual*

A determinação de glicogênio foi realizada como descrito por MOON et al. (1989). Amostras de fígado e músculo branco de cada exemplar foram transferidas para tubo de ensaio na proporção de 100 mg mL⁻¹ HClO₄ 6%, sobre gelo e homogeneizado imediatamente. Após homogeneização foram neutralizados pela adição de 206µl de K₂CO₃ 3M e centrifugados a 4000 rpm por 15 minutos a 10°C. O sobrenadante foi transferido para tubos Eppendorf e em seguida, retirou-se 100µl do homogenado neutralizado, passando para pequenos tubos de ensaio, acrescentado de 200µl de amiloglicosidase e incubado por 1 hora. Terminada a incubação, adicionou-se 300µl de HClO₄ 6%, agitou-se e neutralizou pela adição de 72,5µl de K₂CO₃ 2,5M, sendo os tubos novamente agitados. A seguir, centrifugou-se a 3000rpm por 10 minutos, a 10°C, e então foi pipetado 20µl do sobrenadante neutralizado em tubos de ensaio limpos, adicionando-se 1,0ml do meio de análise de glicose (Glicose PAP Liquiform® Labtest Diagnóstica). As amostras permaneceram em incubação por 15 minutos, a 37°C, em banho-maria. Após esse período foi realizada leitura em espectrofotômetro a 505nm.

- *Lipídeo total tecidual*

A determinação de lipídeo total no fígado e músculo branco foi realizada pelo método gravimétrico descrito por BLIGH e DYER, (1959). Amostras de fígado ou músculo branco de cada exemplar foram pesadas (50mg) e transferidas para tubo de ensaio, acrescidos de 3,0ml de solução de

clorofórmio e metanol (2:1) e homogeneizadas. Posteriormente, foram transferidos para tubos graduados (15,0ml:0,1ml) e o volume foi completado para 5,0ml com a solução de clorofórmio:metanol. Esse volume foi então filtrado para outro tubo volumétrico limpo, seguido por centrifugação à 3000rpm por três minutos. Depois de centrifugado, o volume do filtrado foi anotado (volume inicial), em seguida adicionou-se ao volume filtrado água destilada na proporção de 2ml de água para cada 10ml de filtrado. Os tubos foram então centrifugados a 1500rpm por cinco minutos e o volume da fase inferior (clorofórmio:gordura) foi anotado, sendo este o volume final. A água da fase superior foi removida com pipeta Pasteur. Depois de retirada a água, o conteúdo dos tubos foi transferido para placas de Petri previamente pesadas. As placas foram transferidas para estufa a 100°C por 1h e depois pesadas.

- *Atividade amilásica*

Amostras do estômago e intestino foram colocadas sobre superfície gelada e resfriadas constantemente com adição de nitrogênio líquido durante todo processo de pesagem e maceração, utilizando para esse último, pistilo e cadinho de porcelana. No preparo dos tecidos para o ensaio da atividade amilásica foi mantida a proporção de 50 mg de tecido mL⁻¹ de tampão de homogeneização (0,02 M Tris/fosfato de sódio 0,01 M, pH 7,0 em glicerol 50%). Os tecidos foram homogeneizados com pistilo de Teflon em homogeneizador mecânico tipo Potter-Elvehjem a 1.000rpm m⁻¹, em dois tempos de 30s, sob banho de gelo. Após a homogeneização, os extratos foram centrifugados a 11.000rpm em centrífuga clínica refrigerada por três minutos e os sobrenadantes foram utilizados como fonte enzimática.

A atividade amilásica no estômago e intestino foi estimada segundo o método proposto por BERNFELD (1955) modificado. Na mistura de reação contendo 1,0mL de solução de amido 5% em tampão citrato/fosfato 0,2M (pH 7,0) e 0,5mL de solução de NaCl 0,5% como cofator enzimático, foi adicionado volume adequado de homogeneizado celular. A reação foi incubada a 25°C por 30min e interrompida com 1,0mL de solução 5% ZnSO_4 : Ba(OH)_2 0,3 N. Um controle livre de substrato e outro livre de homogeneizado celular foram analisados simultaneamente. Posteriormente, a mistura de reação foi centrifugada a 14.000rpm por três minutos e no sobrenadante determinou-se a concentração de glicose livre pelo método colorimétrico de PARK e JOHNSON (1949) a 690nm. Para estabelecer a atividade enzimática específica, a concentração de proteínas dos extratos enzimáticos foi determinada pelo método de LOWRY et al. (1951), utilizando-se albumina bovina como padrão. A atividade específica foi expressa como μmol de açúcares redutores totais $\text{min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ de proteína.

Delineamento experimental e análise estatística

Na análise estatística das variáveis metabólicas, foi utilizado delineamento inteiramente casualizado (DIC) com 12 tratamentos em esquema fatorial 4x3, correspondendo a quatro alimentos energéticos e três processamentos, com três repetições por tratamento. A atividade amilásica foi analisada em DIC constituído por 24 tratamentos em esquema fatorial 4x3x2, correspondendo a quatro alimentos, três processamentos e duas regiões do trato gastrointestinal, também com três repetições. Os valores individuais dos peixes foram utilizados como repetição, sendo coletados três peixes por parcela, totalizando nove repetições. Os dados foram analisados pelo programa Statistical Analysis

System SAS® v.9 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA), por meio de análise de variância (ANOVA). Quando houve significância estatística entre tratamentos ($P < 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. Todas as variáveis foram avaliadas quanto à normalidade (Cramer-von Mises) e homocedasticidade das variâncias (Levene's).

Resultados

Condições ambientais

As médias observadas para as variáveis físico-químicas da água nas caixas experimentais foram: temperatura de $27,8 \pm 1,32^{\circ}\text{C}$; pH de $7,12 \pm 0,38$ e oxigênio dissolvido de $5,04 \pm 1,08$ mg/L. De acordo com KUBITZA (2000), a temperatura de conforto para o cultivo da tilápia deve estar entre 27 e 32°C e a faixa de pH considerada adequada está entre 6,0 e 8,5. Desta forma, os valores médios de temperatura, oxigênio dissolvido e pH estiveram dentro das recomendações para o cultivo da tilápia.

As médias das variáveis sanguíneas, teciduais, índices biométricos e consumo alimentar diário, para os efeitos das fontes e dos processamentos estudados são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Valores de F e médias das variáveis sanguíneas, teciduais e índices biométricos de juvenis de tilápia do Nilo

Valores de F											
Estatística	Variáveis sanguíneas					Variáveis teciduais			Índices biométricos		
	Triglic. ¹		Colesterol sérico		Proteína sérica (g dL ⁻¹)	Glicogênio hepático		Lípido hepático	Lípido muscular		Consumo diário (g dia ⁻¹)
	Glicose plasmática (mg dL ⁻¹)	sérico (mg dL ⁻¹)	(mg dL ⁻¹)	(mg dL ⁻¹)		%	%		%	%	
Efeito da Fonte (F)	23,26**	48,30**	9,87**	0,05 ^{ns}	0,05 ^{ns}	42,75**	19,66**	2,21 ^{ns}	23,50**	29,09**	122,47**
Efeito do Process. ⁴ (P)	15,97**	20,39**	0,18 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,03 ^{ns}	20,91**	7,53*	0,04 ^{ns}	12,41**	5,81*	190,13**
Efeito da interação (F x P)	2,09 ^{ns}	2,05 ^{ns}	0,46 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}	3,71*	0,65 ^{ns}	0,06 ^{ns}	1,35 ^{ns}	1,13 ^{ns}	30,71**
CV (%)	16,89	22,65	16,00	8,46	11,49	18,77	23,87	15,34	16,38	3,07	
Médias											
para as fontes:											
Milho	104,23 ^b	293,72 ^b	139,41 ^a	170,06	9,81	9,63 ^b	2,06	2,49 ^b	1,41 ^b	1,58	
Farelo de Trigo	81,46 ^c	203,25 ^c	143,29 ^a	169,87	7,89	5,76 ^c	1,62	1,72 ^c	0,68 ^c	1,32	
Quirera de Arroz	118,33 ^a	421,22 ^a	114,96 ^b	171,28	11,86	11,94 ^a	2,12	3,15 ^a	1,89 ^a	1,41	
Sorgo	113,50 ^{ab}	277,29 ^b	139,27 ^a	170,62	11,50	9,55 ^b	2,07	2,64 ^b	1,77 ^{ab}	1,70	
Médias											
para processamentos:											
Cru	93,03 ^c	268,92 ^b	134,93	170,00	9,29	8,11 ^b	1,95	2,15 ^b	1,29 ^b	1,58	
Peletizado	116,48 ^a	269,98 ^b	135,29	170,79	11,46	8,80 ^b	2,00	2,46 ^b	1,35 ^b	1,63	
Extrusado	103,64 ^b	357,71 ^a	132,48	170,58	10,04	10,75 ^a	1,96	2,89 ^a	1,68 ^a	1,29	

Médias seguidas com a mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05).

* - significativo ao nível de 5% de probabilidade; ** - significativo ao nível de 1% de probabilidade; ^{ns} – não significativo.

¹ Triglicerídeo; ² Índice hepato-somático; ³ Índice gordura-víscerosomático; ⁴Processamento térmico.

Consumo alimentar diário

Os resultados de consumo alimentar diário apresentaram interações dos alimentos energéticos e dos processamentos (Tabela 5). As médias de consumo diário das dietas-teste foram reduzidas em todas as dietas com alimentos energéticos extrusados, mas não diferindo entre si. Os peixes que consumiram as dietas com farelo de trigo ou quirera de arroz, crus ou peletizados, apresentaram as menores médias de consumo em relação ao milho e sorgo com os mesmos processamentos. A maior média de consumo diário de ração nas dietas com os alimentos crus ou peletizados foi notado nas tilápias alimentadas das dietas com sorgo. Adicionalmente, a dieta com esse alimento peletizado promoveu o mais alto consumo médio nos peixes de todos os demais tratamentos.

Tabela 5. Médias de consumo diário (g. dia⁻¹) na interação observada entre os efeitos das fontes e dos processamentos dos alimentos.

Processamentos	Alimentos energéticos			
	Milho	F. de trigo	Q. de arroz	Sorgo
Cru	1,66 ^{Ab}	1,36 ^{Ad}	1,50 ^{Ac}	1,82 ^{Ba}
Peletizado	1,75 ^{Ab}	1,29 ^{Ad}	1,51 ^{Ac}	1,97 ^{Aa}
Extrusado	1,32 ^{Ba}	1,32 ^{Aa}	1,22 ^{Ba}	1,31 ^{Ca}

Médias com mesmas letras (maiúsculas na coluna e minúsculas na linha) não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05)

Variáveis sanguíneas

A concentração de glicose plasmática foi significativamente maior nos peixes alimentados das dietas com alimentos peletizados e menor nos que receberam dietas com alimentos crus e extrusados. Comparando as dietas com alimentos crus ou extrusados, a glicemia mais alta foi observada nos peixes que consumiram as dietas com produtos extrusados. Além disso, os peixes alimentados com quirera de arroz apresentaram maior concentração deste

metabólito, não diferindo das dietas contendo sorgo ($P>0,05$). Os menores níveis de glicose plasmática foram encontrados nos peixes alimentados das dietas com farelo de trigo (Tabela 4).

Com relação às concentrações de triglicerídeos foi observado que as dietas com alimentos energéticos extrusados proporcionaram maior nível de triglicerídeos nos peixes, diferindo dos demais tratamentos. Do mesmo modo, os peixes que consumiram dietas com quirera de arroz apresentaram altos níveis de triglicerídeos em relação aos demais alimentos energéticos estudados. Já as dietas com farelo de trigo determinaram os menores níveis (Tabela 4).

Os valores médios de colesterol sérico foram bastante similares entre os tratamentos, diferindo apenas para os peixes que receberam as dietas com quirera de arroz, que apresentaram as menores concentrações deste metabólito. Para a variável proteína sérica, não foram observadas diferenças significativas entre os alimentos energéticos e também entre os processamentos estudados (Tabela 4).

Variáveis teciduais

A porcentagem de gordura depositada no fígado das tilápias foi expressivamente maior nos peixes que consumiram as dietas com quirera de arroz, em relação a todos os demais tratamentos ($P<0,01$) e, similarmente, as tilápias alimentadas das dietas com alimentos extrusados também apresentaram aumento de gordura no fígado. No entanto, ao avaliar as porcentagens de gordura no músculo branco dos peixes, não foram encontradas diferenças estatísticas para os tratamentos ($P>0,05$) (Tabela 4).

Os resultados da interação entre fonte e processamento, observados para o glicogênio hepático são apresentados na Tabela 6 e Figura 1. Somente as dietas

constituídas de quirera de arroz proporcionaram médias que diferiram entre os processamentos, apresentando as maiores médias quando peletizadas. As dietas com esse alimento peletizado ou extrusado proporcionaram os maiores níveis de glicogênio hepático nas tilápias, em relação aos demais alimentos com os mesmos processamentos, não diferindo apenas das dietas com sorgo ($P>0,05$). As dietas com alimentos crus não diferiram entre si, exceto a dieta com sorgo, que proporcionou maior acúmulo de glicogênio no fígado das tilápias comparado aos peixes alimentados das dietas com farelo de trigo cru.

Tabela 6. Médias de glicogênio hepático (%) na interação observada entre os efeitos das fontes e dos processamentos dos alimentos.

Processamentos	Alimentos energéticos			
	Milho	F. de trigo	Q. de arroz	Sorgo
Cru	9,46 ^{Aab}	7,53 ^{Ab}	9,60 ^{Bab}	10,56 ^{Aa}
Peletizado	10,76 ^{Ab}	8,12 ^{Ac}	14,26 ^{Aa}	12,69 ^{Aab}
Extrusado	9,20 ^{Abc}	8,02 ^{Ac}	11,71 ^{Ba}	11,25 ^{Aab}

Médias com mesmas letras (maiúsculas na coluna e minúsculas na linha) não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P>0,05$)

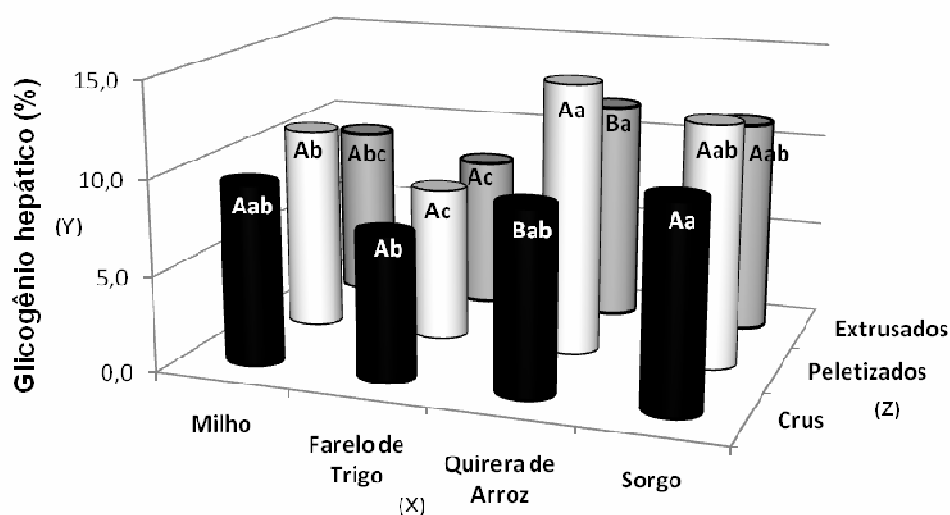


Figura 1. Médias de glicogênio hepático (Y), no estudo da interação de alimentos energéticos (X) e processamentos (Z) de juvenis de tilápia. Médias com mesma letra (minúsculas no eixo X e maiúsculas no eixo Z) não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P>0,05$).

Índices biométricos

Os valores médios dos índices hepato-somático (IHS) e gorduro-víscerosomático (IGVS), apresentados na Tabela 4, foram maiores nos peixes alimentados com as dietas contendo quirera de arroz, sendo que o IGVS desses peixes não diferiu dos índices apresentados nas tilápias que foram alimentadas de dietas com sorgo. Os peixes que consumiram dietas com farelo de trigo apresentaram os menores IHS e IGVS entre os demais tratamentos. Foi observado, também, maior IHS e acúmulo de gordura visceral nos peixes que receberam dietas com alimentos extrusados.

Atividade da amilase

Na Tabela 7 são apresentadas as médias de atividade da amilase, originadas do efeito dos alimentos energéticos, processamento térmico e região do trato gastrintestinal das tilápias, apontando diferenças significativas para o efeito do alimento, processamento e região do trato gastrintestinal, assim como para a interação entre os mesmos, com exceção para a interação entre região do trato e processamento.

Foi observada interação tripla ente os efeitos estudados, entretanto, não foi realizado desdobramento da mesma devido as dificuldades de explicação biológica para tal efeito.

Tabela 7. Valores de F e médias da atividade amilásica do trato gastrointestinal de juvenis de tilápia do Nilo

Estatística	Valores de F Atividade da Amilase
Efeito do Alimento (A)	22,01**
Efeito do Processamento (P)	48,83**
Efeito da Região do trato gastrointestinal (R)	238,53**
Efeito da interação (AxP)	4,02*
Efeito da interação (AxR)	12,46**
Efeito da interação (RxP)	0,65 ^{ns}
Efeito da interação (AxPxR)	5,50**
CV (%)	23,65
Médias para os alimentos (U mg⁻¹ de proteína):	
Milho	52,03
Farelo de Trigo	53,77
Quirera de Arroz	47,46
Sorgo	71,13
Médias para processamentos (U mg⁻¹ de proteína):	
Cru	58,74
Peletizado	67,96
Extrusado	41,60
Médias para região do trato gastrointestinal (U mg⁻¹ de proteína):	
Estômago	39,02
Intestino	73,17

* - significativo ao nível de 5% de probabilidade; ** - significativo ao nível de 1% de probabilidade; ^{ns} – não significativo.

Os resultados da interação entre fonte e processamento, observados para a atividade da amilase são apresentados na Tabela 8 e Figura 2.

Excetuando as dietas com farelo de trigo, que não apresentaram diferenças significativas para os processamentos, as outras dietas promoveram menores atividades amilásicas nas tilápias quando os alimentos estavam extrusados ou crus; contudo, as dietas com sorgo não diferiram quando cruas ou peletizadas. Os peixes alimentados da dieta com sorgo cru foram os que apresentaram maior atividade da amilase quando comparados com os peixes alimentados com as demais dietas também cruas. Este alimento, quando peletizado, também proporcionou maior atividade da enzima nas tilápias, não

diferindo apenas nas tilápias alimentadas das dietas com milho peletizado. Todas as dietas com alimentos energéticos peletizados proporcionaram médias mais elevadas de atividade amilásica nas tilápias.

Tabela 8. Médias de atividade amilásica do trato gastrointestinal (U mg^{-1} de proteína) na interação observada entre os efeitos das fontes e dos processamentos dos alimentos.

Processamentos	Alimentos energéticos			
	Milho	F. de trigo	Q. de arroz	Sorgo
Cru	50,66 ^{Bb}	50,70 ^{Ab}	50,80 ^{Bb}	81,79 ^{Aa}
Peletizado	69,40 ^{Aab}	61,66 ^{Ab}	56,57 ^{Ab}	84,22 ^{Aa}
Extrusado	36,03 ^{Ba}	48,95 ^{Aa}	34,02 ^{Ba}	47,40 ^{Ba}

Médias com mesmas letras (maiúsculas na coluna e minúsculas na linha) não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P>0,05$)

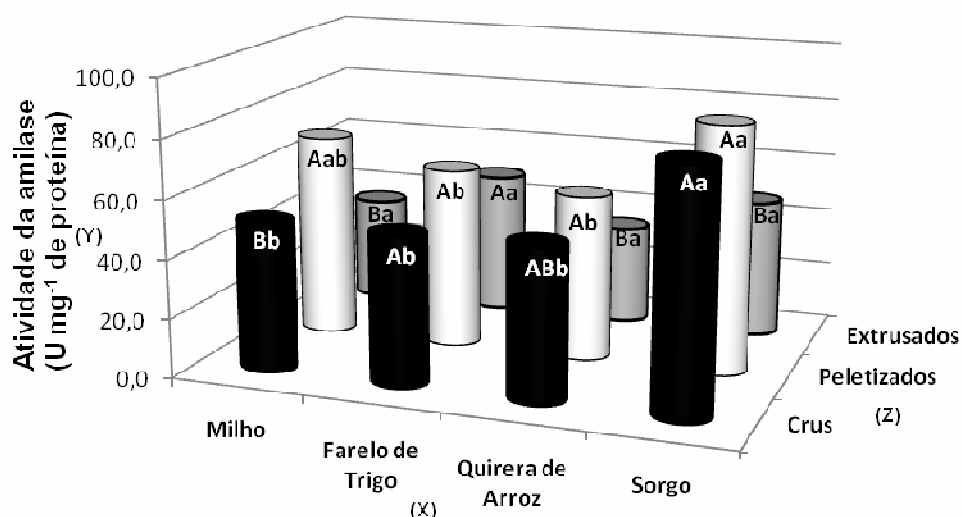


Figura 2. Médias de atividade amilásica (Y), no estudo da interação de alimentos energéticos (X) e processamentos (Z) de juvenis de tilápia. Médias com mesma letra, minúscula no eixo (X) e maiúsculas no eixo (Z) não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P>0,05$).

No estudo dos efeitos dos alimentos energéticos dentro das regiões do trato gastrointestinal (Tabela 9 e Figura 3), pode-se observar que as maiores atividades dessa enzima foram obtidas no intestino das tilápias, diferindo significativamente entre as atividades observadas no estômago ($P<0,01$). No intestino, a dieta contendo sorgo mostrou a mais alta média de atividade em relação aos demais tratamentos, que não diferiram entre si ($P>0,05$). A menor

atividade no estômago foi verificada para a dieta com quirera de arroz, sendo que as demais dietas nessa mesma região não diferiram entre si ($P>0,05$).

Tabela 9. Médias de atividade amilásica do trato gastrointestinal (U mg^{-1} de proteína) na interação observada entre os efeitos das fontes e das regiões do trato gastrointestinal.

Região do trato gastrointestinal	Alimentos energéticos			
	Milho	F. de trigo	Q. de arroz	Sorgo
Estômago	36,30 ^{Bab}	46,56 ^{Ba}	28,04 ^{Bb}	45,22 ^{Ba}
Intestino	67,77 ^{Ab}	60,98 ^{Ab}	66,88 ^{Ab}	97,05 ^{Aa}

Médias com mesmas letras (maiúsculas na coluna e minúsculas na linha) não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P>0,05$)

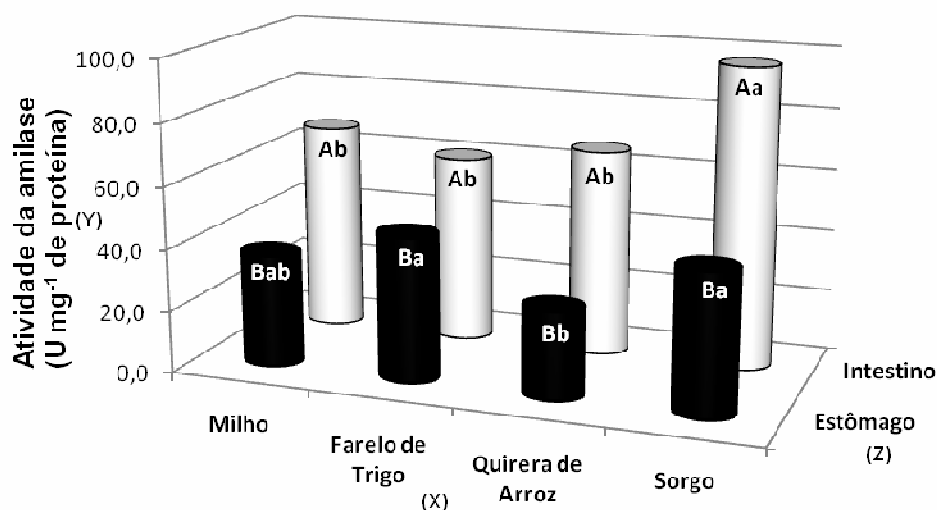


Figura 3. Médias de atividade amilásica (Y), no estudo da interação de alimentos energéticos (X) e região do trato gastrointestinal (Z) de juvenis de tilápia. Médias com mesma letra (minúsculas no eixo X e maiúsculas no eixo Z) não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P>0,05$).

Discussão

O consumo médio diário de ração foi expressivamente menor nas dietas com alimentos extrusados. Esse resultado pode estar associado à maior disponibilização de glicose, que seria facilitada pela ação enzimática no amido geleificado, liberando mais rapidamente a glicose para absorção, e consequentemente, atingindo mais rapidamente o ponto de saciedade. Os níveis de glicemia e da atividade da amilase nos peixes que consumiram as

dietas com produtos extrusados foram menores em relação aos demais tratamentos, entretanto, esses teores são altos quando se compara com o baixo consumo diário nos peixes alimentados das dietas com alimentos extrusados. Resultado semelhante foi observado por FURUCHI e YONE (1982), avaliando a utilização de carboidratos pela carpa e “red sea bream” (*Pagrus major*). Os autores notaram que a rápida absorção de glicose restringiu a utilização de carboidratos altamente disponíveis, resultando em baixa ingestão da ração.

No presente trabalho observou-se que as dietas com farelo de trigo, possuíam maiores teores de fibra quando comparadas com os outros tratamentos. O maior teor de fibra poderia reduzir a palatabilidade do alimento proporcionando menor consumo do mesmo, ou ainda, provocando saciação com menor ingestão de alimento devido ao maior volume do bolo alimentar provocado pelos altos teores de fibras desse alimento. Já as dietas com quirera de arroz apresentaram os maiores níveis de carboidratos em sua composição, disponibilizando mais energia e consequentemente maior tempo de saciação dos peixes alimentados com essas dietas.

A absorção de carboidratos da dieta e distribuição dos metabólitos foi influenciada pelas fontes e processamentos térmicos dos alimentos energéticos. De todas as variáveis estudadas, somente o lipídeo muscular e a proteína total sérica não variaram em função das fontes de carboidratos utilizadas e dos processamentos empregados.

As concentrações de glicose no sangue foram mais altas nas tilápias alimentadas de dietas com alimentos peletizados ($116,38\text{dL}^{-1}$), que coincide com a possível maior disponibilidade de glicose, devido a geleificação do amido

dessas dietas e também com o maior consumo. Contrariamente, as menores concentrações foram obtidas nas tilápias que consumiram dietas sem processamento do alimento ($93,03\text{dL}^{-1}$).

Para os alimentos estudados, as dietas com quirera de arroz resultaram em maiores concentrações de glicose no sangue das tilápias ($118,33\text{dL}^{-1}$), seguidas das dietas com sorgo ($113,50\text{dL}^{-1}$). Os maiores teores médios de amido na composição das dietas com quirera de arroz e o maior consumo alimentar observado nas tilápias alimentadas das dietas com sorgo, podem ter provocado sobrecarga metabólica devido ao excesso de carboidratos ingeridos, que resultou no aumento glicêmico. O oposto foi verificado nas tilápias alimentadas com as dietas compostas por farelo de trigo, que apresentaram menores médias de glicose plasmática ($81,46\text{dL}^{-1}$). Para essas dietas os teores médios de amido na sua composição foram menores que os demais tratamentos, além do menor consumo diário observado.

Os resultados de glicemia encontrados no presente estudo mostram-se superiores ao encontrado por LEONHARDT (1997) em estudo da reversão sexual em tilápia nilótica, que observou valores de glicose plasmática de 51,9 a $68,6\text{dL}^{-1}$ para os peixes alimentados “ad libitum” com ração comercial extrusada. Os altos índices de glicose plasmática observados no presente estudo, foram verificados nos peixes alimentados de dietas com alimentos energéticos constituídos por alto teor de amido (quirera de arroz), dietas com alto consumo alimentar (dietas com sorgo) e alta disponibilidade de glicose decorrente da geleificação do amido, sugerindo sobrecarga metabólica, tal como relatado no trabalho de BALDAN (2008) em estudo com o pacu, que os peixes quando adaptados às dietas apresentavam valores mais baixos de

glicose plasmática. Contudo, a autora descreve que a glicemia é importante indicador de tolerância a carboidratos e quando o mesmo é fornecido em excesso, pode se originar sobrecarga metabólica no peixe. Nesse mesmo sentido, HILTON et al. (1987) descrevem que o nível de carboidratos ótimo na dieta é o que resulta na utilização completa da glicose como substrato oxidativo na produção de energia e composto poupador de proteína.

A extração da glicose da circulação sanguínea é uma das principais funções do fígado, para ser armazenado como glicogênio e lipídeos e, em caso de necessidade, liberá-la posteriormente, mediante a hidrólise do mesmo.

Os níveis elevados de glicogênio hepático encontrados nas tilápias que consumiram dietas com quirera de arroz, dietas com sorgo e dietas com produtos peletizados ou extrusados corroboram os níveis de glicemia observados para os peixes que foram alimentados com essas dietas. Segundo HEPHER (1988), a síntese de glicogênio ocorre logo após o período prandial, quando os teores de glicose sanguínea estão elevados.

SHIAU e LIN (1993) encontraram valores de glicogênio hepático variando de 7,4 a 9,9% com híbridos de tilápia, *Oreochromis niloticus* X *Oreochromis aureus*. As maiores médias de glicogênio hepático observadas no presente estudo foram obtidas para os peixes que receberam dietas com quirera de arroz peletizado (14,26%), ou sorgo também peletizado (12,69%), valores muito superiores aos encontrados por SHIAU e LIN (1993). Acredita-se que o alto teor de amido da quirera de arroz, a maior disponibilidade de glicose proporcionada pela geleificação e o maior consumo nas dietas com sorgo, resultaram em maior quantidade de substrato disponível para hidrólise, com posterior produção de glicose para ser estocada como glicogênio por meio da

glicogênese. Já as menores concentrações de glicogênio foram encontradas no fígado dos peixes que consumiram dietas contendo farelo de trigo. Essa observação pode estar relacionada com a menor ingestão e menores teores de amido para essas dietas, o que limitaria a produção de glicose e, em consequência, o seu armazenamento como glicogênio hepático.

O consumo de dietas com produtos extrusados ou com alimentos ricos em amido pelas tilápias também gerou o maior nível plasmático de triglicerídeos. Nas dietas com alimentos extrusados, os valores foram de $357,71\text{mg dL}^{-1}$, e nas dietas com quirera de arroz, valores de $421,22\text{mg dL}^{-1}$. Já o consumo dessa última originou uma das menores concentrações de colesterol sérico nos peixes ($114,96\text{mg dL}^{-1}$).

O aumento dos triglicerídeos plasmáticos encontrados nas tilápias alimentadas com dietas constituídas por quirera de arroz e produtos extrusados sugere ocorrência de lipogênese pela síntese de triglicerídeos hepáticos, com posterior transporte para o plasma e incorporação final no tecido adiposo desses peixes.

Essas observações podem ser confirmadas quando se analisa os resultados da composição corporal e eficiência nutricional (Capítulo IV) e também os altos níveis de lipídeos hepáticos das tilápias que foram alimentadas com a dieta composta pela quirera de arroz, por meio das maiores médias de lipídeos corporais, lipídeos no ganho em peso e gordura depositada no fígado, quando comparados com os outros tratamentos, corroborando as afirmações de RIBEIRO et al. (2007), de que a disponibilidade de substratos derivados do metabolismo da glicose favorece a síntese dos triglicerídeos que, posteriormente, é envolto em partículas de lipoproteínas de densidade muito

baixa no fígado, e seguem até os tecidos extra-hepáticos, como o tecido adiposo e muscular.

Adicionalmente, BERGOT e BREQUE (1983) e HUNG et al. (1989) relataram que o tempo de aparecimento da glicose e de outros açúcares simples no plasma, oriundos dos alimentos, irá depender de vários fatores como o conteúdo total de carboidratos e de lipídeos na dieta, a forma de processamento, o hábito alimentar da espécie, o histórico nutricional do indivíduo e a temperatura da água. Dessa forma, sugere-se no presente estudo que no caso das dietas com alimentos extrusados, a maior geleificação do amido provocado pela extrusão, permitiu fácil acesso das enzimas causando absorção mais rápida da glicose resultante, que provavelmente implicou em rápido fluxo de glicose para o fígado, possivelmente ocasionando sua metabolização a ácidos graxos, aumentando a concentração de triglicerídeos no plasma. De maneira semelhante, MUNHOZ-RAMÍREZ (2005) encontrou elevações de triglicerídeos plasmáticos em juvenis de pacu alimentados com produtos geleificados, como a fécula de mandioca pré-geleificada e modificada, provocando maior acúmulo de triglicerídeos plasmáticos ($348,64\text{mg dL}^{-1}$), sugerindo também a ocorrência de lipogênese.

Esses resultados também corroboram os do trabalho de BRAUGE et al. (1995) que observaram em *Oncorhynchus mykiss* aumento de triglicerídeos quando as dietas continham altos níveis de carboidratos e lipídeos, contrastando com as observações de DEL CARRATORE (2001) que verificou níveis crescentes de amido na dieta para *Pseudoplatystoma coruscans* e os mesmos não influenciaram as concentrações de triglicerídeos no plasma.

Os teores de lipídeo muscular na tilápia do Nilo não apresentaram diferenças estatísticas no presente estudo; entretanto, apresentaram-se elevados quando comparados com os estudos de BALDAN (2008), que observou tendência na deposição de lipídio nos músculos de pacus, alimentados por 60 dias com as dietas de níveis intermediário (35,25%) e alto (48%) de carboidratos (1,25; 1,58 e 1,59% de lipídeo muscular nas dietas de baixo, intermediário e alto carboidrato, respectivamente).

Os resultados obtidos por FREIRE (2002), em estudo com a tilápia do Nilo, também não apresentaram variação na quantidade de lipídio muscular da tilápia do Nilo alimentada com dietas contendo sorgo variedades alto e baixo tanino.

O fígado é extremamente sensível a qualquer variação na composição da dieta (CARTER e HOULIHAN, 2001). No presente estudo, observou-se que o maior aporte de glicose no fígado das tilápias ocorreu nas dietas com maiores consumos alimentares (dietas com sorgo), dietas com alimentos extrusados e dietas com alimentos de alto teor de amido. Esse excesso de glicose no fígado provavelmente resultou em aumento do metabolismo hepático, promovendo hipertrofia e/ou maior acúmulo de gordura neste órgão, evidenciado pelos maiores níveis de lipídeos hepáticos observados e, conseqüentemente, com o aumento do peso do fígado (IHS) nos animais submetidos aos tratamentos com produtos extrusados, e nas dietas com quirera de arroz (38,2% de amido). Adicionalmente, sugere-se que o aumento do IHS pode também estar relacionado com as maiores médias observadas para o glicogênio hepático nos mesmos tratamentos.

LEE e LEE (2004), estudando a utilização de glicose, dextrina e amido para o crescimento e a composição corporal da solha-estrelada-do-Pacífico *Platichthys stellatus*, também encontraram aumento do IHS com a elevação dos níveis de amido, que esteve diretamente relacionado com a deposição de glicogênio hepático.

Os incrementos no IHS observados no presente estudo, decorrentes do excesso de glicose, corroboram os resultados obtidos para diversas espécies de peixes, que apresentaram maior tamanho do fígado quando alimentados com dietas constituídas por maiores concentrações de carboidratos, como consequência do acúmulo de glicogênio e/ou lipídeo neste órgão (WILSON, 1994; HEMRE et al., 2002; HATLEN et al., 2005).

Os altos valores observados para o IGVS notados nas dietas com sorgo ou quirera de arroz, e igualmente nas dietas com produtos extrusados, confirmaram os resultados observados para o IHS, decorrentes do maior metabolismo hepático, que provavelmente também favoreceu a deposição de lipídeos nos tecidos extra-hepáticos. O aumento do depósito de gordura visceral observado nas tilápias desse estudo, evidencia que os peixes não utilizaram eficientemente os carboidratos das dietas com altos teores de amidos ou ainda elevado grau de geleificação deste nutriente, proporcionado pela extrusão.

No estudo dos efeitos dos alimentos energéticos e dos processamentos para a atividade da amilase no estômago e intestino das tilápias, pode-se observar atividade hidrolítica da amilase nas duas regiões do trato; entretanto o intestino apresentou as maiores médias. Contrariamente, MOREAU et al.

(2001), em estudo com a tilápia nilótica, não encontraram atividade da amilase no estômago, mas sim no intestino, mesentério e no fígado.

Diversos estudos nutricionais que avaliaram a atividade de enzimas digestivas em peixes observaram maior atividade da amilase no intestino e menores no estômago; MORAES e BIDINOTTO (2000) com o pacu, MELO (2004) com jundiá (*Rhamdia quelen*), espécie de hábito alimentar onívoro, LUNSDTEDT et al. (2004) no peixe carnívoro pintado (*Pseudoplatystoma corruscans*) e GIODA et al. (2005) com a piava (*Leporinus obtusidens*), que também é peixe onívoro.

Analisando a atividade da amilase no intestino das tilápias do presente estudo, as maiores médias foram obtidas para os peixes alimentados com as dietas com sorgo (97,05 U mg⁻¹ de proteína), sugerindo que o maior consumo para essas dietas possa ter proporcionado esse aumento. Já no estômago, todas as fontes apresentaram médias semelhantes de atividade amilásica, excetuando-se as tilápias que consumiram dietas com quirera de arroz, que apresentaram atividade média da amilase significativamente menor. Em trabalho com tambaqui, ALMEIDA (2006) encontrou a maior atividade da amilase nos cecos pilóricos (204 U mg⁻¹ de proteína), enquanto que no intestino posterior a maior média foi de (35,8 U mg⁻¹ de proteína) para peixes que receberam dietas com 25% de PB e 11% de EE.

Quando se analisa a correlação entre a atividade amilásica e os processamentos utilizados, verifica-se que, excetuando-se as dietas com farelo de trigo, os produtos extrusados proporcionaram baixa atividade da amilase nas tilápias comparados com os produtos peletizados ou crus. Estes resultados podem estar relacionados ao menor consumo de ração para os produtos

extrusados, que resultaria em menor atividade da enzima; além disso, sugere-se a possibilidade da formação de complexos amilose-lipídeo durante a extrusão (BHATNAGAR e HANNA, 1994), que poderia inibir a ação da amilase nas tilápias submetidas a esses tratamentos, corroborando as afirmações de MIRANDA (1998), que a geleificação do amido decorrente da extrusão pode formar grandes quantidades do complexo amilose-lipídeo, diminuindo o aproveitamento desse nutriente. No caso dos alimentos peletizados, pressupõe-se que os mesmos não sofreram esses efeitos negativos durante o processamento térmico, uma vez que as atividades amilásicas foram melhores quando confrontado com os alimentos extrusados.

As abordagens citadas para a menor atividade da amilase nos produtos extrusado supõem que o consumo alimentar e/ou a formação de complexos entre nutrientes poderia implicar negativamente na atividade dessa enzima, entretanto quando se compara os índices de glicose plasmática observados para os produtos extrusados, nota-se valores médios elevados para essa variável e, dessa forma, pode-se sugerir que a atividade da amilase nos produtos extrusados (entre 34,02 e 48,05 U mg⁻¹ de proteína) promoveram boa capacidade hidrolítica para esses tratamentos, possivelmente pelo aumento da superfície de ação desta enzima no amido geleificado, submetido ao processo de extrusão, uma vez que essa técnica proporcionou maior geleificação em comparação aos amidos peletizados. Com isso, é importante destacar que o amido geleificado geralmente apresenta maior eficiência na digestão do que o amido cru, conforme os relatos de STONE et al. (2003). Eles estudaram a adição de alfa-amilase exógena em dietas com diferentes fontes de carboidratos para perca prateada (*Bidyanus bidyanus*) e encontraram

degradação mais eficiente de amidos geleificados, quando comparados com amidos crus. Os autores explicaram que a maior degradação destes carboidratos foi resultado da maior susceptibilidade da molécula de amido geleificado à ação enzimática, pelo incremento da sua superfície específica.

A atividade amilásica não diferiu entre os processamentos, somente nas tilápias alimentadas com as dietas constituídas de farelo de trigo. De acordo com os resultados desse trabalho, sugere-se que o farelo de trigo foi o alimento que melhor induziu a atividade amilásica na tilápia, uma vez que a inclusão deste, apesar de proporcionar menores teores de amido nas dietas (12,6%) e menores consumos diários, resultou em médias de atividade da amilase semelhantes às das dietas com milho ou quirera de arroz, que foram tratamentos com maiores níveis de amido e com maior consumo pelas tilápias, em relação às dietas com farelo de trigo. Essa observação evidencia-se quando se analisa também os excelentes resultados de CDA do amido para o farelo de trigo, sendo o único alimento que apresentou alta digestibilidade quando cru (Capítulo III).

Adicionalmente, as dietas com farelo de trigo podem ter sido beneficiadas pela relação amilose/amilopectina (3,17%/96,83%) desse alimento. De acordo com RAWLES e LOCHMANN (2003), sobre a utilização de fontes de carboidratos com diferente relação amilose/amilopectina para “sunshine bass” (*Morone chrysops* x *M. saxatilis*), a rápida liberação de glicose a partir da amilopectina é causada pelos seus múltiplos pontos de ramificação, que proporcionam mais locais para a ação da amilase. Além disso, as cadeias laterais curtas de glicose na amilopectina proporcionam maior área para melhor

mobilidade da amilase ao longo delas, resultando assim em digestão mais rápida e eficiente.

Comparando-se as médias de atividade amilásica entre os animais alimentados com milho ou quirera de arroz, observa-se padrão similar de atividade. Estes dois alimentos determinaram melhores resultados quando as fontes estavam peletizadas, não diferindo entre si.

No que se refere às dietas com sorgo, as médias observadas para atividade da amilase foram as maiores dentre todos os tratamentos. Esse resultado corrobora as altas médias de CDA do amido obtidas com esse alimento (Capítulo III) e também com os maiores consumos diários, promovendo o melhor desempenho geral das tilápias alimentadas com o mesmo.

De acordo com os resultados do presente estudo, conclui-se que as respostas metabólicas da tilápia foram dependentes dos alimentos energéticos e dos processamentos utilizados. A espécie apresenta sinais de limitação ao uso de fontes energéticas com alto teor de amido, como a quirera de arroz, determinando seu uso em menores quantidades na dieta. O processo de geleificação do amido resultante da extrusão deve ser melhor estudado para que se possa atingir adequado controle da homeostase glicêmica, e da utilização da glicose nesta espécie.

Referências

ALLAIN, C. C.; POON, L.S.; CHAN, C.S.; RICHMOND, W.; FU, P. C. Enzymatic determination of total serum cholesterol. **Clinical Chemistry**, v. 20, p. 470 – 475, 1974.

ALMEIDA L. C. **Perfil digestivo e metabólico de juvenis de tambaqui, *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818), alimentados com diferentes teores de proteína e lipídio.** 2006. 77f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2006.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALITICAL CHEMISTS. AOAC. **Official methods of analysis**, 17 ed. Gaithersburg, v. 2, 2000.

BALDAN, A. P.; **Avaliação da tolerância do pacu *Piaractus mesopotamicus* a carboidratos.** 2008. 119f. Tese – (Doutorado em Aquicultura) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.

BERGOT, F.; BREQUE, J. Digestibility of starch by rainbow trout: Effects of the physical state of starch and of the intake level. **Aquaculture**, v. 34, p. 203-212, 1983.

BERNFELD, P. Amylases: colorimetric assay method. In: **Methods in Enzymology** (Colowich, S.P. & Kaplan, N.O. eds.), Vol. 1, p. 149-154. Academic Press Inc., New York, NY, USA, 1955.

BHATNAGAR, S.; HANNA, M. A. Amylose-lipid complex formation during single-screw extrusion of various corn starches. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 71, n. 6, p. 582-587, 1994.

BLAEDEL, W. J.; UHL, J. M. Nature of materials in serum that interfere in the glucose oxidase- peroxidase-O-dianisidine method for glucose, and their mode of action. **Clinical Chemistry**, v. 21, p. 119-124, 1975.

BLIGH, E.G.; DYER, W.J. Rapid method of total lipid extraction and purification. **Can. J. Biochem. Physiol.** v. 37, p. 911-917, 1959.

BRAUGE, C.; CORRAZE, G.; MÉDALE, F. Effects of dietary level of carbohydrate and lipid on glucose oxidation and lipogenesis from glucose in

rainbow trout, *oncorhynchus mykiss*, reared in freshwater or in sea water. **Comp. Biochemyst Physiol.** 111 A: p. 117-124, 1995.

BUCOLO, G.; DAVID, H. Quantitative determination of serum triglycerides by the use of enzymes. **Clinical Chemistry**, v. 19, p. 476-482, 1973.

CARTER, C. G.; HOULIHAN, D. F. Protein Syntesis. In: P. WRIGHT, ANDERSON, P (Ed.) **Nitrogen Excretion Fish Physiology Series**. Boca Raton – NY: Academic Press, v. 20, p. 31-75, 2001

COWEY, C. B. Amino acid requirements of fish: a critical appraisal of present values. **Aquaculture**, Amsterdan, v. 124 p. 1-11, 1994.

DEL CARRATORE, C. R. **Desempenho produtivo, digestibilidade e metabolismo energético de juvenis de pintado (*Pseudoplatystoma coruscans*) alimentados com níveis crescentes de amido**. 60f. Tese (Doutorado) – Centro de Aquicultura, Jaboticabal, 2001.

EL-SAYED, A. F. M. **Tilapia culture**. 1.ed. Cambridge: CABI Publishing, 2006. 277p.

FREIRE, E. D. **Avaliação biológica de sorgo alto e baixo tanino por meio do desempenho e digestibilidade em tilápia do Nilo**. 2002. 65 f. Dissertação (Mestrado em Nutrição e Produção Animal) – UNESP - Botucatu, 2002.

FURUICHI, M.; YONE, Y. Availability of carbohydate in nutrition of carp and red sea bream. **Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries**, v. 48, p. 945–948, 1982.

GIODA, C.R.; SCHETINGER, M. R.; SALBEGO, J.; VIEIRA, V. Digestive enzyme activity in freshwater fishes with different feeding habits. **Aquaculture Nutrition**, 2005

HALVER, J. E. (Ed.). **Fish nutrition**. 2 ed. London: Academic Press, 798 p., 1988.

HATLEN, B. Growth, feed utilization and body composition in two size groups of Atlantic halibut *Hippoglossus hippoglossus* fed diets differing in protein and carbohydrate content. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 249, p. 401-408, 2005.

HEMRE, G.I.; MOMMSEN, T.P.; KROGDAHL, A.; Carbohydrates in fish nutrition: effects on growth, glucose metabolism and hepatic enzymes. **Aquaculture Nutrition** v. 8, p. 175-194, 2002.

HENDRIX, D.L. Rapid extration and analysis of nonstrutuctural carbohydrates in plant tissues. **Crop Sci.**, v.25, p.1306-1311, 1993.

HEPHER, B. **Nutrition of pond fishes**. Cambridge. Cambridge University Press, 1988.

HILTON, J. W.; PLISETSKAYA, E. M.; LEATHERLAND, J. F. Does oral 3,5,3'-triiodo-L-thyronine affect dietary glucose utilization and plasma insulin levels in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). **Fish Physiol. Biochem.** v. 4, p. 113-120, 1987.

HUNG, S. S. O.; FYNN-AIKINS F. K.; LUTES P.B.; XU R.P. Ability of juvenile white sturgeon (*Acipenser transmontanus*) to utilize different carbohydrate sources. **Journal of Nutrition**, v. 119, p. 727-733, 1989.

JAYARAM, M. G.; SHETTY, H. P. C. Formulation, processing and water stability of two new pelleted fish feeds. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 23, p. 355-359, 1981.

JENKINS, D. J. A.; WOLEVER, T. M. S.; TAYLOR, R. H. Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrate exchange. **Am. J. Clin. Nutr.**, v. 34, p. 362-366, 1981.

KARKALAS, J. J. An improved enzymatic method for the determination of native and modified starch. **J. Sci. Food Agric.** 36, 1016 p., 1985.

KUBITZA, F. **Tilápia: tecnologia e planejamento na produção comercial**. Jundiaí, 285p, 2000.

LEE, S.; LEE, J. Effect of dietary glucose, dextrin and starch on growth and body composition of juvenile starry flounder *Platichthys stellatus*. **Fisheries Science**, v. 70, p. 53-58, 2004.

LEONHARDT, J.H. **Efeito da reversão sexual em tilápia do Nilo, Oreochromis niloticus (Linnaeus, 1757)**. 1997. 128f. Tese (Doutorado em Aquicultura) – Centro de Aquicultura – UNESP, Jaboticabal, 1997.

LOVSHIN, L. L.; CYRINO, J. E. P. Status of commercial fresh water fish culture in Brazil. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E NUTRIÇÃO DE PEIXES, 2., 1998, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: CBNA, 1998. p.1-20.

LOWRY et al. *J. Biol. Chem.* 193: 265-275p., 1951.

LUNDSTEDT, L.M.; MELO, J.F.B.; MORAES, G. Digestive enzymes and metabolic profile of *Pseudoplatystoma corruscans* (Teleostei: Siluriformes) in response to diet composition. **Comparative Biochemistry and Physiology**, v. 137B, p. 331-339, 2004.

MELO, J. F. B. **Digestão e metabolismo de jundiá *Rhamdia quelen* submetido a diferentes regimes alimentares.** 2004. 100f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

MIRANDA, M. Z. de. **Efeito do tempo de germinação do trigo e das variáveis de extrusão na qualidade tecnológica e nutricional de farinha integral.** 1998. 216f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas, 1998.

MOON, T.W. FOSTER, G.D., PLISETSKAYA E.M. Changes in peptide hormones and liver enzymes in the rainbow trout deprived of food for 6 weeks. **Can. J. Zool.**, Ottawa, v. 67, p. 2189-93, 1989.

MORAES, G., BIDINOTTO, P.M., Induced changes in the amylohydrolitic profile of the gut of *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1885) fed different contents of soluble carbohydrate; its correlation with metabolic aspects. **Revista de Ictiologia**, Argentina, v. 8 (1/2), p. 47–51, 2000.

MOREAU, Y.; DESSEAU, V.; KOUKIEKOLOB, R.; MARCHIS-MOURENB, G.; SANTIMONEB, M. Starch digestion in tropical fishes: isolation, structural studies and inhibition kinetics of α -amylases from two tilapias *Oreochromis niloticus* and *Sarotherodon melanotheron*. **Comparative Biochemistry and Physiology**, v. 128 p. 543-552, 2001.

MUÑOZ-RAMÍREZ, A. P. **Utilização de carboidratos digestíveis em dietas para pacu, *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887).** 2005. 123f. Tese (Doutorado em Aquicultura) – Centro de Aquicultura da Unesp, Jaboticabal, 2005.

OPUSZYNSKI, K.; SHIREMAN, I. V. Digestive mechanisms. In: Opuszynski, K., Shireman, J. V. (Ed.). **Herbivorous fishes: culture and use for weed management**. Boca Raton, FL: CRC Press, p. 21-31, 1995.

PARK, J.T.; JOHNSON, M. J. A submicro determination of glucose. **The Journal of Biological Chemistry**, v. 181, p. 140-151p., 1949.

PERAGÓN, J.; BARROSO, J. B.; GARCÍA-SALGUERO, L.; HIGUERA, M.; LUPIÁÑEZ, J. A. Carbohydrates affect protein turnover rates, growth, and nucleic acid content in the white muscle of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, v. 179, p. 425–437p., 1999.

RAWLES, S.; LOCHMANN, R. Effects of amylopectin/amylase starch ratio on growth, body composition and glycemic response of sunshine bass *Morone chrysops* x *M. saxatilis*). **Journal of the World Aquaculture Society**. V. 34, p. 278-288, 2003.

SHIAU, S.Y.; CHUANG, J. C. Utilization of disaccharides by juvenile tilapia *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus*. **Aquaculture**, v. 133, p. 249-256p., 1995.

SHIAU, S. Y.; LIN, S. F. Effect of supplemental dietary chromium and vanadium on the utilization of different carbohydrates in tilapia, *Oreochromis niloticus* X *Oreochromis aureus*. **Aquaculture**, v. 110, p. 321 - 330, 1993.

STONE, D. A. J.; ALLAN, G. L.; ANDERSON, A. J. Carbohydrate utilization by juvenile silver perch, *Bidyanus bidyanus* (Mitchell). IV. Can dietary enzymes increase digestible energy from wheat starch, wheat and dehulled lupin?. **Aquaculture research**, v. 34, p. 135-147, 2003.

RIBEIRO, P.A.P., BRESSAN, M.C., LOGATO, P.V.R., GONÇALVES, A.C.S. Nutrição Lipídica para peixes. **Revista Eletrônica Nutritime** v. 4 (2), p. 426-445, 2007.

TACON, A. G. J. **Nutrición y alimentación de peces y camarones cultivados. Manual de capacitación**. Brasília: FAO, 1989.

TENGJAROENKUL, B.; SMITH, B. J.; CACECI, T.; SMITH, S. A. Distribution of intestinal enzyme activities along the intestinal tract of cultured Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L. **Aquaculture**, v. 182: p. 317-327, 2000.

VAN SOEST, P. J. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. In: SYMPOSIUM CARBOHYDRATE METODOLOGY, METABOLISM, AND NUTRITIONAL IMPLICATIONS IN DAIRY CATTLE. **J. Dairy Sci.**, Savoy, v.74, n.10, p. 3583-3597p., 1994.

WEICHSELBAUM, T.E. An accurate and rapid method for the determination of proteins in small amounts of blood serum and plasma. **The American Journal of Pathology**, v. 16, 40p., 1946.

WILSON, R.P., Utilization of dietary carbohydrate by fish. **Aquaculture** v. 124, p. 67-80, 1994.

Capítulo 6

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerações finais

É provável que a composição de alimentos utilizados na formulação de rações para a aquicultura sofra mudanças consideráveis no futuro, com aumento da inclusão dos alimentos de origem vegetal nas dietas, portanto, aumentando sua importância econômica no setor.

Maiores cuidados devem ser tomados para a extrusão, como a execução de análises de seus efeitos nos alimentos pós-processamento, uma vez que este e vários outros trabalhos indicam efeitos negativos, em distintos nutrientes de alimentos processados com essa técnica.

Com o balanceamento adequado de ingredientes energéticos, o desenvolvimento de tilápias em cultivo deve ser favorecido, uma vez que foi possível observar em cada alimento energético utilizado neste estudo alguma característica benéfica para esta espécie, dessa forma, novos estudos visando a inclusão de ingredientes energéticos em diferentes níveis, e também de outras fontes de carboidratos nas dietas, permitirão a formulação de rações mais eficientes para a referida espécie.

Propõe-se que a mistura de amidos parcialmente geleificados (peletização), com maior grau de geleificação (extrusão) e amidos crus, possam melhorar o desempenho das tilápias em cultivo, uma vez que o excesso de amido geleificado nas dietas pode disponibilizar muito rapidamente a glicose, gerando uma sobrecarga glicêmica nesses peixes.

Os resultados deste trabalho demonstraram que a resposta da tilápia para utilização do amido das dietas pode ser influenciada por diversos fatores e, assim, sugere-se que a adequada inclusão de carboidratos na dieta deve ser estudada, para proporcionar melhores resultados na criação, prevenindo os depósitos de gordura nas vísceras, fígado e músculos, que incide negativamente na qualidade da produção desse peixe.