

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
CENTRO DE AQUICULTURA DA UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**FONTES DE FIBRA NA ALIMENTAÇÃO DE JUVENIS DE PACU  
(*Piaractus mesopotamicus*)**

**Thiago El Hadi Perez Fabregat  
Zootecnista**

**Tese apresentada ao Centro de  
Aqüicultura da UNESP, como parte  
das exigências para obtenção do Título  
de Doutor em Aqüicultura.**

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

F123f Fabregat, Thiago El Hadi Perez  
Fontes de fibra na alimentação de juvenis de pacu *Piaractus mesopotamicus*. / Thiago El Hadi Perez Fabregat. – – Jaboticabal, 2009  
x, 60 f. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Centro de Aqüicultura, 2009  
Orientador: João Batista Kochenborger Fernandes  
Banca examinadora: Elisabeth Criscuolo Urbinati, Maria Cristina Thomaz, Teresa Cristina R. Dias Koberstein, Antonio Cleber da Silva Camargo  
Bibliografia

1. Pacu - fibras alimentares. 2. Pacu - alimentação. 3. Nutrição de peixes I. Título. II. Jaboticabal-Centro de Aqüicultura.

CDU 639:636.085

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

### CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO:** FONTES DE FIBRA NA ALIMENTAÇÃO DE JUVENIS DE PACU (*Piaractus mesopotamicus*)

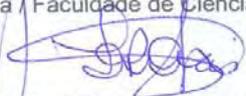
**AUTOR:** THIAGO EL HADI PEREZ FABREGAT  
**ORIENTADOR:** Prof. Dr. JOAO BATISTA KOCHENBORGER FERNANDES

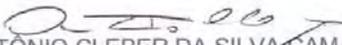
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR em AQUICULTURA ,  
pela Comissão Examinadora:

  
Prof. Dr. JOAO BATISTA KOCHENBORGER FERNANDES  
CENTRO DE AQUICULTURA DA UNESP - CAUNESP

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

  
Profa. Dra. MARIA CRISTINA THOMAZ  
Departamento de Zootecnia / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

  
Profa. Dra. TERESA CRISTINA RIBEIRO DIAS KOBERSTEIN  
CENTRO DE AQUICULTURA DA UNESP - CAUNESP

  
Prof. Dr. ANTÔNIO CLEBER DA SILVA CAMARGO  
NÚCLEO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS/UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS/ MONTES CLAROS - MG

Data da realização: 21 de agosto de 2009.

## AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. João Batista Kochenborger Fernandes, pela dedicação, confiança e também por todas as oportunidades oferecidas para meu desenvolvimento intelectual e profissional;

Aos Professores Dra. Elisabeth Criscuolo Urbinati, Dra. Maria Cristina Thomaz, Dra. Teresa Cristina Ribeiro Dias Koberstein e Dr. Antonio Cleber da Siva Camargo pela participação na banca examinadora da defesa, disponibilidade e valiosa contribuição para conclusão deste trabalho.

À Professora Dra. Marta Verardino de Stefani pela participação na banca de qualificação;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ), pelo apoio financeiro;

Ao amigo Laurindo Rodrigues pelo companheirismo e parceria ao longo destes anos;

Aos companheiros e amigos do CAUNESP: Strumi, Tilão, Leo, Rodrigo Cabeçudo, Pudim, Julian, Pastor, Haluko, Sussu, Mari, Casé, Valdecir, etc. pelos dias de cumplicidade e convívio;

A todos os colegas, funcionários, estagiários e professores do CAUNESP, pela ótima convivência, aprendizado e trocas de experiências;

À minha namorada Flavia, pela dedicação e confiança, Te Amo;

À minha cachorra Shanti, pela alegria e amizade incondicional;

Ao meu cachorro Tião (in memoriam), pela parceria e amizade verdadeira;

A toda minha família que sempre me apoiou e deu o suporte suficiente para seguir enfrente nesta jornada;

A todos aqueles que direta ou indiretamente auxiliaram na condução deste que trabalho.

## SUMÁRIO

|   | <b>Página</b> |
|---|---------------|
| <b>Resumo geral</b> .....   | 1             |
| <b>General Abstract</b> .....   | 2             |
| <br>  |               |
| <b>Capítulo 1. Considerações iniciais</b> .....   | 3             |
| 1.1. Conceito de fibra alimentar.....   | 4             |
| 1.2. Fibra na alimentação de peixes.....  | 6             |
| 1.3. Pacu ( <i>Piaractus mesopotamicus</i> ).....   | 9             |
| 1.4. Ingredientes fibrosos.....   | 9             |
| 1.4.1. Farelo de soja.....  | 9             |
| 1.4.2. Casca de soja.....   | 10            |
| 1.4.3. Farelo de girassol.....  | 11            |
| 1.4.4. Polpa cítrica.....   | 11            |
| 1.5. Objetivos.....   | 12            |
| 1.6. Referências.....   | 12            |
| <br>  |               |
| <b>Capítulo 2. Tempo de trânsito gastrointestinal e digestibilidade da proteína e da energia em juvenis de pacu (<i>Piaractus mesopotamicus</i>) alimentados com diferentes fontes de fibra</b> ..... | 17            |
| 2.1. Resumo.....  | 18            |
| 2.2. Abstract.....  | 19            |
| 2.3. Introdução.....  | 20            |
| 2.4. Material e métodos.....  | 21            |
| 2.4.1. Animais e instalações.....   | 21            |
| 2.4.2. Dietas experimentais.....  | 22            |
| 2.4.3. Tempo de trânsito gastrintestinal.....   | 24            |
| 2.4.4. Digestibilidade de nutrientes.....   | 24            |
| 2.4.5. Delineamento experimental.....   | 25            |
| 2.4.6. Análises estatísticas.....   | 26            |
| 2.5. Resultados e discussão.....  | 26            |

|   |    |
|---|----|
| 2.5.1. Tempo de trânsito gastrintestinal..... | 26 |
| 2.5.2. Digestibilidade de nutrientes.....     | 29 |
| 2.6. Conclusões.....                          | 31 |
| 2.7. Referências.....                         | 31 |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Capítulo 3. Desempenho, composição corporal, parâmetros bioquímicos, índices organométricos e morfometria intestinal de juvenis de pacu (<i>Piaractus mesopotamicus</i>) alimentados com diferentes fontes de fibra.....</b> | <b>35</b> |
| 3.1. Resumo.....  | 36        |
| 3.2. Abstract.....  | 37        |
| 3.3. Introdução.....  | 38        |
| 3.4. Material e métodos.....  | 39        |
| 3.4.1. Animais e instalações.....   | 39        |
| 3.4.2. Dietas experimentais.....  | 40        |
| 3.4.3. Ensaio de desempenho.....  | 41        |
| 3.4.4. Composição corporal.....   | 42        |
| 3.4.5. Parâmetros bioquímicos.....  | 42        |
| 3.4.6. Índices organométricos.....  | 43        |
| 3.4.7. Avaliações morfométricas intestinais.....  | 43        |
| 3.4.8. Delineamento experimental.....   | 44        |
| 3.4.9. Análises estatísticas.....   | 44        |
| 3.5. Resultados e discussão.....  | 44        |
| 3.5.1. Ensaio de desempenho.....  | 44        |
| 3.5.2. Composição corporal.....   | 47        |
| 3.5.3. Parâmetros bioquímicos.....  | 49        |
| 3.5.4 Índices organométricos.....   | 52        |
| 3.5.5 Avaliações morfométricas intestinais.....   | 53        |
| 3.6. Conclusões.....  | 55        |
| 3.7. Referências.....   | 55        |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Capítulo 4. Considerações finais e Implicações.....</b> | <b>59</b> |
|--|-----------|

**LISTA DE TABELAS**

|  | <b>Página</b> |
|--|---------------|
| <b>Capítulo 2.</b>   |               |
| Tabela 1. Ingredientes e composição das dietas experimentais.....  | 23            |
| Tabela 2. Notas atribuídas para a coloração das fezes de juvenis de pacu alimentados com diferentes fontes de fibra..... | 27            |
| <b>Capítulo 3.</b>   |               |
| Tabela 1. Ingredientes e composição das dietas experimentais.....  | 40            |
| Tabela 2. Dados de desempenho com 84 dias de experimento.....  | 45            |
| Tabela 3. Dados de composição corporal com 84 dias de experimento.....   | 48            |
| Tabela 4. Dados de fisiologia sanguínea e tecidual dos peixes aos 84 dias de experimento.....                            | 49            |
| Tabela 5. Dados de índices organométricos dos peixes aos 84 dias de experimento.....                                     | 52            |
| Tabela 6. Dados de morfometria intestinal dos peixes aos 84 dias de experimento.....                                     | 53            |

**LISTA DE FIGURAS**

|  | <b>Página</b> |
|--|---------------|
| <b>Capítulo 2.</b>   |               |
| Figura 1. Coeficientes de digestibilidade aparente (CDA) da proteína (letras minúsculas) e da energia (letras maiúsculas) obtidos para juvenis de pacu alimentados com dietas contendo diferentes fontes de fibra. Médias acompanhadas de letras diferentes na horizontal diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ )..... | 30            |

**RESUMO GERAL** O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da utilização de dietas contendo diferentes ingredientes fibrosos (farelo de soja, casca de soja, farelo de girassol e polpa cítrica, este último avaliado em dois níveis de inclusão) sobre o tempo de trânsito gastrointestinal, as digestibilidades da proteína e da energia, o desempenho, a composição corporal, os parâmetros bioquímicos, os índices organométricos e a morfometria intestinal de juvenis de pacu (*Piaractus mesopotamicus*). Os peixes alimentados com as dietas contendo farelo de soja e farelos de girassol tiveram os melhores resultados de digestibilidade e desempenho, sem apresentar alterações fisiológicas e metabólicas. A inclusão casca de soja na dieta atrasou o tempo de trânsito gastrointestinal, piorou a digestibilidade da proteína e da energia, prejudicou o desempenho, diminuiu as proteínas totais sanguíneas e aumentou a porcentagem de lipídeo muscular. A dieta contendo 45% polpa cítrica acelerou o tempo de trânsito gastrointestinal, piorou o desempenho, provocou alterações na composição corporal e na morfometria intestinal. Cada ingrediente fibroso, em função de sua composição de fibras alimentares e carboidratos complexos, altera o funcionamento do sistema digestório e o aproveitamento de nutrientes, com consequências sobre a fisiologia, o metabolismo e o desempenho dos juvenis de pacu.

**PALAVRAS-CHAVE:** casca de soja, farelo de girassol, farelo de soja, ingredientes fibrosos, nutrição de peixes, polpa cítrica.

**GENERAL ABSTRACT** This study aim was to evaluate the effects of diets containing different fiber sources (soybean meal, soybean hulls, sunflower meal and citrus pulp, this last evaluated at two inclusion levels) on gastrointestinal transit time, protein and energy digestibility of protein, performance, body composition, biochemical parameters, organometric index and intestinal morphology of juvenile pacu (*Piaractus mesopotamicus*). Fish fed diets containing soybean meal and sunflower meal had best digestibility and performance results, with no physiological and metabolic diseases. The inclusion of soybean hulls in the diet delayed gastrointestinal transit time, decreased the digestibility of protein and energy, worsened performance, reduced total blood proteins and increased the percentage of muscle lipid. Diet containing 45% citrus pulp accelerated gastrointestinal transit time, worsened performance, led to changes in body composition and affects the intestinal morphology. Each fibrous ingredient, depending on dietary fiber and complex carbohydrates composition, differently affects the digestive system functioning and nutrient use, with consequences on physiology, metabolism and performance of juvenile pacu.

**KEY-WORDS:** citrus pulp, fibrous ingredients, fish nutrition, soybean hulls, soybean meal, sunflower meal.

## **CAPÍTULO 1**

### **CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

### **1.1. Conceito de fibra alimentar**

A fibra era tradicionalmente considerada uma substância inerte das dietas que somente afetava a diluição dos nutrientes e o controle do tempo de trânsito gastrintestinal. Entretanto, os recentes avanços metodológicos permitiram a quantificação e a caracterização das propriedades físicas e químicas da fibra nos ingredientes vegetais, viabilizando o parcelamento em diferentes frações e mostrando que os efeitos são muito mais amplos e ainda precisam ser devidamente estudados (Schneeman, 1998; Knudsen, 2001; Montagne et al., 2003; Cummings et al., 2004).

A determinação da fração fibrosa normalmente é feita pela análise de fibra bruta (FB). Esta metodologia foi desenvolvida no século XIX (Henneberg e Stohmann, 1859) e já está obsoleta e precisa ser revista. A análise da fibra bruta é feita por meio de uma extração sequencial com digestões ácidas e alcalinas, mas devido à solubilização de polissacarídeos estruturais e da lignina, este método mede apenas uma fração pequena e variável dos componentes fibrosos (Knudsen, 2001).

As metodologias baseadas na solubilidade da fibra em diferentes detergentes (Van Soest, 1963) constituiriam uma alternativa mais adequada. A fibra em detergente neutro (FDN) mede o total de hemicelulose, celulose e lignina; e a fibra em detergente ácido (FDA) mede somente a celulose e a lignina, permitindo calcular a hemicelulose por diferença. Entretanto, existem relatos de que alguns polissacarídeos solúveis em água se perdem na análise de FDN, que o amido e a proteína podem contaminar esta fração da fibra e que a hemicelulose pode ser mantida na fração FDA (Knudsen, 2001).

A fibra alimentar (FA), resultado de duas décadas de pesquisa e desenvolvimentos metodológicos, é uma mistura complexa de polímeros de carboidratos, associados com outros nutrientes (Knudsen, 2001; Montagne et al., 2003). A análise de fibra alimentar é

mais completa porque considera também alguns polissacarídeos solúveis que são perdidos na análise de fibra em detergente neutro. A fibra alimentar é encontrada predominantemente na parede celular das plantas e consiste de polissacarídeos não amiláceos (PNA) ligados com lignina, proteínas, ácidos graxos, ceras e outras substâncias (McDougall et al., 1996).

Os principais polissacarídeos não amiláceos encontrados nas plantas são celulose, pectina,  $\beta$ -glucanas, pentosanas e xilanas. Nenhum destes carboidratos pode ser hidrolisado por enzimas endógenas de animais não-ruminantes (Montagne et al., 2003). Nas análises da fibra alimentar é comum dividi-la de acordo com a solubilidade em água. De maneira geral, a fibra alimentar solúvel atua como um componente ativo na regulação da digestão e absorção intestinal, e a fibra alimentar insolúvel aumenta o bolo alimentar, diluindo os nutrientes e diminuindo o tempo de trânsito gastrintestinal (Schneeman, 1998; Knudsen, 2001; Montagne et al., 2003; Cumming et al., 2004).

As principais fibras alimentares insolúveis são a celulose e a lignina. Os ingredientes mais ricos em fibra alimentar insolúvel utilizados na alimentação de monogástricos são o farelo de girassol (Villamide e San Juan, 1998) e a casca de soja (Gnanasambandam and Proctor, 1999; Dust et al., 2004). As fibras alimentares solúveis incluem a pectina, gomas,  $\beta$ -glucanas, mucilagens e algumas hemiceluloses. São encontradas em leguminosas e frutas, com destaque para a polpa cítrica como fonte de fibra solúvel (Sunvold et al., 1995; Faturi et al., 2006).

A digestão e o aproveitamento de nutrientes são afetados pelas propriedades físicas e químicas das fibras alimentares (Wenk, 2001). As mudanças no funcionamento do sistema digestório provocadas pela ingestão de diferentes fontes de fibras podem influenciar a fisiologia, o metabolismo e as características do epitélio intestinal, alterando a

absorção de nutrientes e os níveis de nutrientes sanguíneos (glicemia, proteína, triglicerídeos, colesterol e outros), modificando a composição corporal e a deposição de músculo e gordura nos tecidos (Schneeman, 1998; Knudsen, 2001; Montagne et al., 2003; Cumming et al., 2004)

## **1.2. Fibra na alimentação de peixes**

Na alimentação de peixes, devem ser consideradas as diferenças entre as espécies quanto às características morfofisiológicas do trato digestório, hábitos alimentares, exigências nutricionais e aproveitamento de nutrientes. A atividade da enzima celulase foi observada em várias espécies de peixes, indicando que algumas delas podem ser capazes de utilizar a celulose e outros carboidratos fibrosos como fonte energética (Chakrabarti et al., 1995). Lindsay e Harris (1980) estudaram o trato digestório de diversas espécies de peixes, quanto à atividade da enzima carboximetilcelulase, mas o nível também variou muito entre as espécies e mesmo dentro delas.

Trust et al. (1979) detectaram a presença de organismos estritamente anaeróbicos no trato intestinal de carpa capim (*Ctenopharyngodon idella*), kinguio (*Carassius auratus*), e truta arco-íris (*Onchorhynchus mykiss*). Essa microbiota não patogênica está presente em quantidade significativa somente na carpa capim e no kinguio, e seu papel na nutrição permanece incerto. Estes autores não encontraram evidências de que as bactérias isoladas estejam envolvidas na quebra da celulose, mas a bactéria dominante, *Aeromonas hydrofila*, aeróbica facultativa, foi capaz de quebrar a celobiose, produto da hidrólise da celulose.

Atividade celulolítica foi encontrada no hepatopâncreas e intestino da carpa capim, sendo que a maior atividade foi detectada em peixes que ingeriram dieta natural (Das e

Tripathi, 1991). Estes autores concluíram que a atividade celulásica na carpa capim é parcialmente devido aos organismos microbianos presentes no sistema.

Dioundick e Stom (1991) utilizaram  $\alpha$ -celulose em substituição ao amido de milho em dietas para juvenis de tilápia (*Oreochromis mossambicus*) e verificaram que os peixes toleraram níveis de inclusão de até 7,5%. Lanna et al. (2004) avaliaram a influência da fibra na digestibilidade e no tempo de trânsito da tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) e também encontraram resultados positivos com a inclusão de 7,5%.

A utilização de diferentes fontes de fibra (bagaço de cana, bagaço de cana hidrolisado, casca de arroz e sabugo de milho), nas dietas de juvenis de tilápia do Nilo provocou alterações no desempenho (Hayashi et al., 2000). Neste estudo a discussão dos resultados foi baseada nos valores de fibra bruta, celulose, hemicelulose e lignina dos ingredientes.

Em estudo com juvenis de pacu, Zanoni (1996) verificou que o ganho de peso e a eficiência alimentar aumentaram à medida que foram elevados os níveis de fibra bruta nas dietas (4, 8, 12 e 16%). Entretanto, a elevação dos níveis de fibra bruta nas dietas foi acompanhada de aumento no nível de extrato etéreo dietário, ou seja, não foi possível concluir se os melhores resultados de desempenho foram provocados pela fibra ou pelo extrato etéreo.

Garcia (1998) testou a utilização de níveis crescentes de fibra bruta na nutrição da piracanjuba (*Brycon orbignyanus*) e verificou que a melhor resposta de ganho de peso foi obtida com a dieta contendo 9%. O autor concluiu ainda, que a utilização de rações com níveis de fibra bruta acima dos convencionalmente empregados, propiciou baixos níveis de gordura na carcaça, sem prejuízo para o desempenho zootécnico.

Mais recentemente, Rodrigues (2008) avaliou a inclusão de diferentes níveis de fibra bruta na dieta do pacu e constatou que a inclusão de até 9% não afetou negativamente o desempenho e outros parâmetros estudados. Este resultado foi semelhante ao obtido anteriormente para a piracanjuba (Garcia, 1998), comprovando a tolerância dos peixes onívoros brasileiros a dietas ricas em fibra.

A viscosidade está relacionada com a fluidez dos líquidos. Os polissacarídeos solúveis normalmente produzem soluções viscosas quando dissolvidos na água (Morris, 1992). O aumento da viscosidade intestinal diminui o contato entre as enzimas digestivas e o substrato, aumenta as perdas endógenas de nutrientes e diminui a capacidade de absorção da mucosa, provocando menor eficiência na digestão e absorção de nutrientes (Smits e Annison, 1996).

O aumento do teor de fibra solúvel proveniente da soja diminuiu a digestibilidade da proteína de dietas para o salmão do Atlântico, sem afetar a viscosidade intestinal (Refstie et al., 1999). Por outro lado, quando a goma guar foi incluída como fonte de fibra solúvel em níveis elevados na dieta do bagre africano (*Clarias gariepinus*), observou-se aumento na viscosidade intestinal e piora na digestibilidade dos nutrientes (Leenhouders et al., 2006). A goma guar é mais viscosa do que os subprodutos de soja, o que poderia explicar as diferenças nos resultados dos dois estudos.

Com o objetivo de aprofundar a questão da utilização de fibra em dietas para a tilápia do Nilo, Amirkolaie et al. (2005) estudaram a relação entre a fibra solúvel (goma guar) e a fibra insolúvel (celulose). No referido estudo, a inclusão de 8% de celulose juntamente com a goma guar inibiu os efeitos prejudiciais provocados pela fibra solúvel sobre o crescimento e digestibilidade, indicando que o balanceamento adequado da fração fibrosa pode realmente melhorar a saúde digestiva dos peixes.

### **1.3. Pacu (*Piaractus mesopotamicus*)**

O pacu (*Piaractus mesopotamicus*) é encontrado principalmente nas planícies alagadas da região Centro-oeste do Brasil, no Pantanal Mato-grossense (Petrere-Jr, 1989). É uma das espécies mais estudadas e produzidas nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil (Urbinati e Gonçalves, 2005).

É um peixe oportunista, que se alimenta principalmente de folhas, caules, frutos e sementes, mas pode ingerir também insetos, aracnídeos, molusco e pequenos peixes (Urbinati e Gonçalves, 2005). De acordo com os autores, na estação chuvosa o pacu permanece nas áreas inundadas ingerindo grandes quantidades de carboidratos e, no período da seca, se alimenta nos leitos dos rios, onde existe pouca disponibilidade de alimento. A dentição do pacu é especializada para triturar e fragmentar alimentos duros, principalmente frutos e sementes que caem na água (Petrere-Jr, 1989).

A nutrição do pacu já foi bastante estudada (Fernandes et al., 2000; Fernandes et al., 2001; Abimorad e Carneiro, 2004; Dias-Koberstein et al., 2005; Urbinati e Gonçalves, 2005; Abimorad e Carneiro, 2007; Abimorad et al., 2007; Rodrigues, 2008). Os resultados mostram que o pacu não exige níveis elevados de proteína, que pode ser tanto de origem animal quanto vegetal, aproveita com eficiência os carboidratos da dieta e tolera a inclusão de fibra em níveis relativamente altos (9% de fibra brut).

## **1.4. Ingredientes fibrosos**

### **1.4.1. Farelo de soja**

A extração industrial do óleo de soja resulta também na separação do farelo e da casca. O farelo de soja é muito utilizado na alimentação de monogástricos (Karr-Lilienthal

et al., 2005) e está amplamente disponível no Brasil, um dos maiores produtores mundiais desta leguminosa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Soja, 2009). É bastante empregado em rações como sucedâneo da farinha de pescado (Fernandes et al., 2001; Chou et al., 2004; Fabregat et al., 2006), pois contém cerca de 46% de proteína bruta e apresenta um perfil de aminoácidos favorável.

Além do teor elevado de proteína, o farelo de soja também é rico em carboidratos, possuindo 30% de extrativo não nitrogenado (ENN), 5,41-7,58% de fibra bruta, 13,86% de fibra em detergente neutro (FDN), 8,16% de fibra em detergente ácido (FDA) e 12,38% de amido (Rostagno et al., 2005).

#### **1.4.2. Casca de soja**

A casca de soja é o principal subproduto do processamento da soja, constituindo cerca de 8% da semente (Gnanasambandam e Proctor, 1999). A posição do Brasil como grande exportador de farelo de soja, com elevado teor protéico (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Soja, 2009), disponibiliza grande quantidade de casca de soja, ingrediente para o mercado nacional. Este ingrediente contém aproximadamente 13% de proteína bruta, valor mais elevado que o milho que contém 9%, tornando-o interessante para a alimentação animal (Rostagno, 2005).

Entretanto, a composição em carboidratos complexos e outros polissacarídeos, que podem chegar a 86% (Gnanasambandam e Proctor, 1999), deve ser observada com atenção na formulação de rações, o que pode limitar a taxa de inclusão. A casca de soja contém cerca de 67% de FDN, 49,3% de FDA, 17,7% de hemicelulose, 47% de celulose, 83,3% de fibra dietética total, relação fibra insolúvel-solúvel de 5,0 (Dust et al., 2004) e níveis

relativamente altos de pectina (Gnanasambandam e Proctor, 1999). A casca de soja contém 12,44% de fibra solúvel em detergente neutro (FSDN) (Faturi et al., 2006).

Os principais oligossacarídeos encontrados na soja e seus subprodutos são os galactooligossacarídeos. Esses carboidratos são pouco digestíveis e sua absorção nos não ruminantes, depende principalmente da fermentação por bactérias, processo que pode afetar de forma negativa o desempenho e a digestibilidade dos nutrientes (Karr-Lilienthal et al., 2005). A utilização de casca de soja na dieta de juvenis de jundiá (*Rhamdia quelen*), aumentou a porcentagem de gordura no filé (Pedron et al., 2008), alteração fisiológica que pode evidenciar a piora no aproveitamento de nutrientes (Nelson e Cox, 2006).

#### **1.4.3. Farelo de girassol**

O farelo de girassol é um subproduto da moagem da semente de girassol no processo de extração do óleo. O nível de proteína bruta em sua composição pode variar de 31 a 41%, a fibra bruta de 19 a 30%, o FDN de 28 a 46% e o FDA de 20 a 34% (Villamide e San Juan, 1998). É considerado um concentrado protéico de boa qualidade, embora sua inclusão na dieta de monogástricos possa ser limitada pelos teores elevados de fibra e baixos níveis de lisina (Senkyoku e Dale, 1999).

Foi demonstrado em estudo com tilápia-do-nilo que a adição de 30% de farinha de peixe na dieta de juvenis alimentados com rações contendo farelo de girassol, torna desnecessária a suplementação exógena do aminoácido lisina (Sintayehu et al., 1996).

#### **1.4.4 Polpa cítrica**

A polpa cítrica desidratada é produzida a partir dos resíduos sólidos da extração do suco de laranja. A posição do Brasil como um dos maiores produtores de laranja (Food and

Agriculture Organization – FAO, 2009), torna esse subproduto interessante tendo em vista sua alta disponibilidade no mercado. A polpa cítrica contém cerca de 6% de proteína, 14 a 24% de FDN, 13 a 22% de FDA, 12 a 20% de celulose e 0,8 a 0,9% de lignina (NRC, 1993; Arosemena et al., 1995). Além da celulose, a polpa cítrica contém alta proporção de fibra solúvel e essa fração é composta principalmente de pectina (Sunvold et al., 1995). A polpa cítrica contém 37.89% de FSDN (Faturi et al., 2006).

### 1.5. Objetivos

O objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito da utilização de diferentes fontes de fibras alimentares (farelo de soja, casca de soja, farelo de girassol e polpa cítrica) nas dietas sobre o tempo de trânsito gastrointestinal, as digestibilidades da proteína e da energia, o desempenho, a composição corporal, os parâmetros bioquímicos, os índices organométricos e a morfometria intestinal de juvenis de pacu.

### 1.6. REFERÊNCIAS

- ABIMORAD, E. G.; CARNEIRO, D. J. Métodos de coleta de fezes e determinação dos coeficientes de digestibilidade da fração protéica e da energia de alimentos para o pacu (*Piaractus mesopotamicus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, p. 1101-1109, 2004.
- ABIMORAD, E. G.; CARNEIRO, D. J. Digestibility and performance of pacu (*Piaractus mesopotamicus*) juveniles – fed diets containing different protein, lipid and carbohydrate levels. **Aquaculture Nutrition**, v. 13, p. 1-9, 2007.
- ABIMORAD, E. G.; CARNEIRO, D. J.; URBINATI, E. C. Growth and metabolismo of pacu (*Piaractus mesopotamicus*) juveniles fed diets containing different protein, lipid and carbohydrate levels. **Aquaculture Research**, v. 38, p. 36-44, 2007.

- AMIRKOLAIE, K.A.; LEENHOUWERS, J.I.; VERRETH, J.A.J.; SCHRAMA, J.W. Type of dietary fibre (soluble versus insoluble) influences digestion, faeces characteristics and faecal waste production in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture Research**, v. 36, p. 1157-1166, 2005.
- AROSEMENA, A.; DEPETERS, E. J.; FADEL, J. G. Extent of variability in nutrient composition within selected by-product feedstuffs. **Animal Feed Science and Technology**, v. 54, p.103-120, 1995.
- CHAKRABARTI, I.; GANI, A.; CHAKI, K.; SUR, R.; MISRA, K. Digestive enzymes in 11 freshwater teleost fish species in relation to food habit and niche segregation. **Comparative Biochemistry and Physiology**, v. 112, p. 167-177, 1995.
- CHOU, R. L.; HER, B. Y.; SU, M. S.; HWANG, G.; WU, Y. H.; CHEN, H. Y. Substituting fish meal with soybean meal in diets of juvenile cobia *Rachycentron canadum*. **Aquaculture**, v.229, p.325-333, 2004.
- CUMMINGS, J. H.; EDMOND, L. M.; MAGEE, E. A. Dietary carbohydrates and health: do we still need the fiber concept? **Clinical Nutrition supplements**, v.1, p.5-17, 2004.
- DAS, K. M., TRIPATHI, S. D. Studies on the digestive enzymes of grass carp. **Aquaculture**, v. 92, p. 21-32, 1991.
- DIAS-KOBERSTEIN, T. C. R.; CARNEIRO, D. J.; URBINATI, E. C. Tempo de trânsito gastrointestinal e esvaziamento gástrico do pacu (*Piaractus mesopotamicus*) em diferentes temperaturas de cultivo. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, v. 27, p.413-417, 2005.
- DIOUNDECK, O.B.; STOM, D.I. Effects of dietary-cellulose levels on the juvenile tilapia *Oreochromis mossambicus* (Peters). **Aquaculture**, v. 91, p. 311-315, 1991.
- DUST, J. M.; GAJDA, A. M.; FLICKINGER, E. A.; BURKHALTER, T. M.; MERCHEN, N. R.; FAHEY JR, G. C. Extrusion conditions affect chemical composition and in vitro digestion of select food ingredients. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, p. 2989-2996, 2004.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA SOJA. **Soja em números (safra 2007/2008)**. Disponível em: [http://www.cnpso.embrapa.br/index.php?cod\\_pai=16&op\\_page=294](http://www.cnpso.embrapa.br/index.php?cod_pai=16&op_page=294). Acesso em 25 de maio de 2009.
- FABREGAT, T. E. H. P.; FERNANDES, J. B. K; RODRIGUES, L. A. R.; RIBEIRO, F. A.; SAKOMURA, N. K. Fontes e níveis de proteína bruta em dietas para juvenis de apaiari (*Astronotus ocellatus*). **Acta Scientiarum Animal Sciences**, v. 28, p. 477-482, 2006.

- FATURI, C.; EZEQUIEL, J. M. B.; FONTES, N. A.; STIAQUE, M. G.; CRUZ E SILVA, O. G. Fibra solúvel e amido como fontes de carboidratos para terminação de novilhos em confinamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, p. 2110-2117, 2006.
- FERNANDES, J. B. K.; CARNEIRO, D. J.; SAKOMURA, N. K. Fontes e níveis de proteína bruta em dietas para juvenis de pacu *Piaractus mesopotamicus*. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, p. 646-653, 2000.
- FERNANDES, J. B. K.; CARNEIRO, D. J.; SAKOMURA, N. K. Fontes e níveis de proteína bruta em dietas para juvenis de pacu *Piaractus mesopotamicus*. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, p. 617-626, 2001.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION – FAO. **Projection of world production and consumption of citrus to 2010**. Disponível em: <http://www.fao.org/DOCREP/003/X6732E/x6732e02.htm>. Acesso em 28 de maio de 2009.
- GARCIA, J. R. E. **Utilização da fibra bruta na nutrição da piracanjuba *Brycon orbignyanus***. 1998. 60p. Tese (Doutorado em Aqüicultura), Centro de Aqüicultura, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1998.
- GNANASAMBANDAM, R.; PROCTOR, A. Preparation of soy hull pectin. **Food Chemistry**, v. 65, p. 461-467, 1999.
- HAYASHI, C.; MEURER, F.; BOACOLO, W. R.; SOARES, C. M. Fontes de fibra bruta em dietas de alevinos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 22, p. 689-694, 2000.
- HENNEBERG, W.; STOHMANN, F. Über das Erhaltungsfutter volljährigen Rindviehs. **Journal Landwirtsch**, v.3, p.485-551, 1859
- KARR-LILIENTHAL, L. K.; KADSERE, C. T.; GRIESHOP, C. M.; FAHEY JR, G. C. Chemical and nutritional properties of soybean carbohydrates as related to nonruminants: A review. **Livestock Production Science**, v. 97, p. 1-12, 2005.
- KNUDSEN, K. E. The nutritional significance of “dietary fibre” analysis. **Animal Feed Science and Technology**, v. 90, p. 3-20, 2001.
- LANNA, E. A. T.; PEZZATO, L. E.; CECON, P. R.; FURUYA, W. M.; BOMFIM, M. A. D. Digestibilidade aparente e trânsito gastrointestinal em tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), em função da fibra bruta da dieta. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, p. 2186-2192, 2004.
- LEENHOUWERS, J. I.; ADJEI-BOATENG, D.; VERRETH, J. A. J.; SCHRAMA, J. W. Digesta viscosity, nutrient digestibility and organ weights in African catfish (*Clarias*

- gariepinus) fed diets supplemented with different levels of a soluble non-starch polysaccharide. **Aquaculture Nutrition**, v.12, p.111-116, 2006.
- LINDSAY, G. J. H.; HARRIS, J. E. Carboxymethylcellulase activity in the digestive tract of fish. **Journal of Fish Biology**, v. 16, p. 219-233, 1980.
- MCDOUGALL, G. J.; MORRISON, I. M.; STEWARD, D.; HILLMAN, J. R. Plant cell wall as dietary fibre: range, structure, processing and function. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 70, p. 133-150, 1996.
- MONTAGNE, L.; PLUSKE, J. R.; HAMPSON, D. J. A review of interactions between dietary fibre and intestinal mucosa, and their consequences on digestive health in young non-ruminant animals. **Animal Feed Science and Technology**, v.108, p. 95-117, 2003.
- MORRIS, E. R. Physico-chemical properties of food polysaccharides. In: SCHWEIZER, T. F.; EDWARDS, C. A. (Eds.) **Dietary fibre: a component of food: nutritional function in health and disease**. Londres: Springer, 1992, p. 41-55.
- NELSON, D. L.; COX, M. M. **Lehninger - Princípios de Bioquímica**. 4 ed. São Paulo: Sarvier, 2006, p. 1202.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. **Nutrients requirements of fish**. Washington D. C.: National Academy of Science, 1993. 114 p.
- PETREIRE-JR, M. River Fisheries in Brazil: a review. **Regulated Rivers: Research and Management**, v. 4, p. 1-16, 1989.
- PEDRON, F. A.; NETO, J. R.; EMANUELLI, T.; SILVA, L. P.; LAZZARI, R.; CORREIA, V.; BERGAMIN, G. T.; VEIVERBERG, C. A. Cultivo de jundiás alimentados com dietas com casca de soja ou de algodão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, p. 93-98, 2008.
- REFSTIE, S.; SVIHUS, B.; SHEARER, K.D.; STOREBAKKEN, T. Nutrient digestibility in salmon and broiler chickens related to viscosity and non-starch polysaccharide content in different soyabean products. **Animal Feed Science and Technology**, v. 79, p. 331-345, 1999.
- RODRIGUES, L. A. **Digestibilidade, desempenho produtivo e parâmetros metabólicos de juvenis de pacu *Piaractus mesopotamicus* submetidos a níveis crescentes de fibra bruta**. 2008. 66 p. Tese (Doutorado em Aqüicultura), Centro de Aqüicultura, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.
- ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, L. F. T.; DONZELE, J. L.; GOMES, P. C.; OLIVEIRA, R. F.; LOPES, D. C.; FERREIRA, A. S.; BARRETO, S. L. T. **Tabela Brasileira para Aves e Suínos: Composição de Alimentos e Exigências Nutricionais**. 18 ed. Viçosa: UFV, 186 p., 2005.

- SCHNEEMAN, B. O. Dietary fiber and gastrointestinal function. **Nutrition Research**, v. 18, p.625-632, 1998.
- SENKYOKU, N.; DALE, N. Sunflower meal in poultry diets. **World's Poultry Science Journal**, v. 56, p. 153-171, 1999.
- SINTAYEHU, A.; MATHIES, E.; MEYER-BURGDIRFF, H.; ROSENOW, H.; GÜNTHER, K. D. Apparent digestibilities and growth experiments with tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed soybean meal, cottonseed meal and sunflower seed meal. **Journal of Applied Ichthyology**, v.12, p.125-130, 1996.
- SMITS, C. H. M.; ANNISON, G. Non-starch plant polysaccharides in broiler nutrition – towards a physiologically valid approach to determination. **World Poultry Science Journal**, v. 52, p. 203-211, 1996.
- SUNVOLD, G. D.; HUSSEIN, H. S.; FAHEY, G. C.; MERCHEN, N. R. JR.; REINHART, G. A. In vitro fermentation of cellulose, beet pulp, citrus pulp, and citrus pectin using fecal inoculum from cats, dogs, horses, humans, and pigs and ruminal fluid from cattle. **Journal of Animal Science**, v. 73, p. 3639-3648, 1995.
- TRUST, T.J., BULL, L.M., CURRIE, B.R., BUCKLEY, J.T. Obligate anaerobic bacteria in the gastrointestinal microflora of the grass carp *Ctenopharyngodon idella*, golfish *Carassius auratus*, and rainbow trout *Salmo gairdneri*. **Journal of Fisheries Research Board of Canada**, v. 36, p. 1174-1179, 1979.
- VILLAMIDE, M. J.; SAN JUAN, L. D. Effect of chemical composition of sunflower seed meal on its trae metabolizable energy and amino acid digestibility. **Poultry Science**, v. 77, p. 1884-1892, 1998.
- VAN SOEST, P. J. Use of detergents in analysis of fibrous feeds. II. A rapid method for the determination of fiber and lignin. **Journal of the Association of Official Analytical Chemists**, v. 46, p. 829-835, 1963.
- WENK, C. The role of fiber in digestive physiology of the pig. **Animal Feed Science and Technology**, v. 90, p. 22-33, 2001.
- ZANONI, M.A. **Níveis de fibra bruta em dietas de crescimento do pacu *Piaractus mesopotamicus* HOLMBERG 1887**. 1996. 66p. Dissertação (Mestrado em Aqüicultura), Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1996.

## **CAPITULO 2**

**Tempo de trânsito gastrintestinal e digestibilidades da proteína e da energia em juvenis de pacu (*Piaractus mesopotamicus*) alimentados com dietas contendo diferentes fontes de fibra.**

**2.1. RESUMO** Este estudo foi conduzido com o objetivo de avaliar o efeito da utilização de diferentes ingredientes fibrosos, sobre o tempo de trânsito gastrointestinal e digestibilidade da proteína e da energia em juvenis de pacu (*Piaractus mesopotamicus*). Foram utilizadas cinco dietas isoprotéicas (23% proteína digestível), isoenergéticas (3250 kcal de energia digestível/ kg) e isofibrosas (9% fibra bruta) contendo farelo de soja, casca de soja, farelo de girassol e dois níveis de inclusão de polpa cítrica (30 e 45%). Na avaliação do tempo de trânsito gastrointestinal foram utilizados 200 juvenis com peso inicial de  $56,32 \pm 9,73$  gramas distribuídos em 25 aquários, e o delineamento experimental foi inteiramente casualizado em parcelas subdivididas, com cinco tratamentos e oito repetições. No ensaio de digestibilidade foram utilizados 300 juvenis com peso inicial de  $46,79 \pm 5,22$  gramas distribuídos em 20 aquários de alimentação, e o delineamento experimental foi inteiramente casualizado com cinco tratamentos e quatro repetições. A alimentação dos juvenis de pacu com a dieta contendo casca de soja, que é rica em fibra alimentar insolúvel e carboidratos complexos, atrasou o tempo de trânsito gastrointestinal e piorou a digestibilidade da proteína e da energia em relação às outras dietas. Por outro lado, o fornecimento da dieta contendo 45% de polpa cítrica, que contém níveis elevados de fibra alimentar solúvel, acelerou o tempo de trânsito gastrointestinal em relação aos outros tratamentos. A partir dos resultados obtidos pode-se concluir que, devido às variações que existem nas composições de fibras alimentares e carboidratos complexos, cada ingrediente fibroso altera de forma particular o tempo de trânsito gastrointestinal e a digestibilidade da proteína e da energia dos juvenis de pacu.

**PALAVRAS-CHAVE:** casca de soja, farelo de girassol, farelo de soja, ingredientes fibrosos, nutrição de peixes, polpa cítrica.

**Gastrointestinal transit time and protein and energy digestibility of pacu (*Piaractus mesopotamicus*) juveniles fed diets containing different fiber sources.**

**2.2. ABSTRACT** This study aim was to evaluate the effects of diets containing different fiber sources on the gastrointestinal transit time and protein and energy digestibility of pacu juveniles (*Piaractus mesopotamicus*). This study evaluated five isoproteic (23% digestible protein), isoenergetic (3250 kcal digestible energy/ kg) and isofibrous (9% crude fiber) diets, each one containing a fiber source such as soybean meal, soybean hulls, sunflower meal and citric pulp, this last in two inclusion levels (30 e 45%). In the gastrointestinal transit time evaluation 200 fish (56.32±9.73 g) were stocked in 25 aquaria in a split plot experimental design, entirely randomized with five treatments and eight repetition. In the digestibility experiment, 300 juveniles (46.79±5.22 g) were stocked in 20 feeding aquaria and the experimental design was entirely randomized with five treatments and four repetition. The juvenile pacu feeding with diet containing soybean hulls, which is rich in insoluble dietary fiber and complex carbohydrates, delayed gastrointestinal transit time and decreased the protein and energy digestibility compared to other diets. Feeding fish with the diet containing 45% citrus pulp, which contains soluble dietary fiber high levels, accelerated the gastrointestinal transit time compared to other treatments. From the results we can conclude that due to complex carbohydrates and dietary fibers composition variations, each ingredient affects differently juvenile pacu gastrointestinal transit time and protein and energy digestibility.

**KEY-WORDS:** citrus pulp, fibrous ingredients, fish nutrition, soybean hulls, soybean meal, sunflower meal.

### 2.3. INTRODUÇÃO

Os carboidratos fibrosos fazem parte da alimentação natural dos peixes onívoros e herbívoros. Estudos recentes mostraram que a fibra alimentar pode proporcionar benefícios nos processos digestórios e na saúde animal (Montagne et al., 2003). As diferentes frações fibrosas já foram devidamente quantificadas e caracterizadas, mas os efeitos são amplos e ainda não se sabe exatamente como cada uma destas frações afeta a nutrição e a fisiologia dos animais (Knudsen et al., 2001).

A fibra pode produzir efeitos fisiológicos variados, dependendo da natureza química e estrutura física, tais como tamanho da partícula, peso molecular e grau de esterificação (Bijlani, 1985). Na análise de fibra alimentar é comum dividi-la de acordo com solubilidade em água. De maneira geral, em dietas para monogástricos, a fibra solúvel aumenta o tempo de trânsito e diminui a velocidade de absorção, enquanto a fração insolúvel reduz o tempo de trânsito e aumenta a capacidade de retenção de água (Montagne et al., 2003).

A composição em carboidratos do ingrediente também pode afetar o processo fermentativo nas partes posteriores do trato gastrintestinal, alterando o pH. Esta ocorrência afeta diretamente a proliferação bacteriana e a integridade das células epiteliais do intestino, podendo em combinação adequada, melhorar a saúde intestinal e conseqüentemente o aproveitamento dos nutrientes (Schneeman, 1998; Montagne et al., 2003).

O pacu (*Piaractus mesopotamicus*) é originário das bacias dos rios Paraná, Paraguai e Uruguai. É uma das espécies mais estudadas e produzidas nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil (Urbinati e Gonçalves, 2005). É um peixe oportunista, que alterna a fonte de alimento de acordo com a sazonalidade. Silva (1985) em estudo sobre o regime

alimentar, encontrou no estômago do pacu, folhas, resíduos vegetais e raramente restos e esqueletos de peixes e moluscos, constatando que se trata de uma espécie frugívora-herbívora do tipo podador.

A nutrição do pacu já foi bastante estudada (Fernandes et al., 2000; Fernandes et al., 2001; Abimorad e Carneiro, 2004; Dias-Koberstein et al., 2005; Urbinati e Gonçalves, 2005; Abimorad e Carneiro, 2007; Abimorad et al., 2007; Rodrigues, 2008), mas ainda não se sabe como as diferentes frações fibrosas (solúvel e insolúvel) afetam o funcionamento do sistema digestório e o aproveitamento de nutrientes. Portanto, o objetivo do presente estudo foi avaliar como a utilização de diferentes fontes de fibras alimentares na dieta pode afetar o tempo de trânsito gastrointestinal e as digestibilidades da proteína e da energia de juvenis de pacu (*Piaractus mesopotamicus*).

## **2.4. MATERIAIS E MÉTODOS**

Os estudos foram conduzidos no Centro de Aqüicultura da UNESP-CAUNESP em Jaboticabal-SP. O ensaio de tempo de trânsito gastrointestinal foi realizado no Laboratório de Peixes Ornamentais, no segundo semestre de 2007. O experimento de digestibilidade foi realizado no Laboratório de Nutrição de Organismos Aquáticos (LANOA), durante o primeiro semestre de 2008.

### **2.4.1. Animais e Instalações**

Na avaliação do tempo de trânsito gastrointestinal foram utilizados 200 juvenis de pacu, com peso médio de  $56,32 \pm 9,73$  gramas, distribuídos em 25 aquários de polietileno,

com capacidade de 200 litros cada, equipados com sistema de aeração e aquecimento ( $27,9\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ).

No estudo de digestibilidade foram utilizados 300 juvenis de pacu, com peso médio de  $46,79\pm 5,22$  gramas, distribuídos em 20 aquários de alimentação, com capacidade de 100 litros e abastecimento contínuo de água proveniente de poço artesiano, com temperatura média de 28 graus. A coleta de fezes foi realizada em seis coletores de fezes cilíndricos (Sistema de Guelph modificado), com capacidade de 80 litros.

Nos dois estudos, a qualidade da água dos aquários (temperatura, oxigênio dissolvido e pH), foi monitorada semanalmente durante o todo o período experimental. Na avaliação do tempo de trânsito a temperatura média foi de 28 graus, o oxigênio dissolvido médio foi de 7,6 mg/L e o pH médio de 7,4. No experimento de digestibilidade a temperatura média foi de 28 graus, o oxigênio dissolvido ficou próximo a 7,5 mg/L e o pH em 6,9. Estes resultados se mantiveram dentro dos limites recomendados para o pacu, por Urbinati e Gonçalves (2005).

#### **2.4.2. Dietas experimentais**

Foram avaliadas cinco dietas isoprotéicas (23% de proteína digestível), isoenergéticas (cerca de 3200 kcal de energia digestível/ kg) e isofibrosas (9% de fibra bruta) sendo a principal fonte fibrosa de cada dieta constituída por farelo de soja, casca de soja, farelo de girassol e polpa cítrica, este ultimo em dois níveis de inclusão (Tabela 1). Na formulação das rações foram utilizados os coeficientes de digestibilidade de proteína e energia previamente definidos para o pacu (Abimorad e Carneiro 2004; Fabregat et al., 2008).

Tabela 1. Ingredientes e composição das dietas contendo diferentes fontes de fibra.

| Ingredientes (%)                       | Farelo de Soja | Casca de Soja | Farelo de Girassol | P. Cítrica 30% | P. Cítrica 45% |
|--|----------------|---------------|--------------------|----------------|----------------|
| Polpa Cítrica                          | -              | -             | -                  | 30,0           | 45,0           |
| Casca Soja                             | -              | 26,4          | -                  | -              | -              |
| Farelo de girassol                     | -              | -             | 37,0               | -              | -              |
| Farelo de soja                         | 29,7           | -             | -                  | -              | -              |
| Celulose purificada                    | 8,4            | -             | -                  | 6,1            | 3,7            |
| Farinha de peixe                       | 20,0           | 20,0          | 20,0               | 20,0           | 20,0           |
| Glúten milho                           | 5,0            | 23,0          | 8,8                | 25,6           | 24,5           |
| Amido milho                            | 29,6           | 23,9          | 26,7               | 12,6           | 1,8            |
| Óleo de soja                           | 4,8            | 4,2           | 5,0                | 4,2            | 4,0            |
| Calcário calcítico                     | 1,5            | 1,5           | 1,5                | 0,5            | -              |
| Suplemento vit. e mineral <sup>1</sup> | 1,0            | 1,0           | 1,0                | 1,0            | 1,0            |
| Composição calculada/analísada         |                |               |                    |                |                |
| Proteína bruta (%) <sup>2</sup>        | 29,91          | 30,68         | 28,93              | 30,49          | 30,56          |
| Proteína digest. (%) <sup>3</sup>      | 23,03          | 23,06         | 23,05              | 23,03          | 23,03          |
| Energia bruta (kcal/kg) <sup>2</sup>   | 4250           | 4329          | 4452               | 4389           | 4363           |
| Energia digest. (kcal/kg) <sup>3</sup> | 3267           | 3271          | 3202               | 3288           | 3207           |
| Extrato etéreo (%) <sup>3</sup>        | 6,64           | 6,66          | 6,74               | 6,58           | 6,65           |
| Fibra bruta (%) <sup>3</sup>           | 9,05           | 9,08          | 9,10               | 9,02           | 9,02           |
| Fibra alimentar total (%) <sup>2</sup> | 16,66          | 22,56         | 18,97              | 19,93          | 26,52          |
| Fibra alim. solúvel (%) <sup>2</sup>   | 1,86           | 2,59          | 2,10               | 6,01           | 9,48           |
| Fibra alim. Insolúvel (%) <sup>2</sup> | 14,80          | 19,97         | 16,87              | 13,92          | 17,04          |
| Amido (%) <sup>2</sup>                 | 14,8           | 26,4          | 27,7               | 18,4           | 11,1           |
| ENN (%) <sup>3</sup>                   | 36,12          | 34,81         | 36,28              | 35,88          | 34,93          |
| Matéria mineral (%) <sup>3</sup>       | 7,28           | 6,93          | 7,33               | 7,65           | 8,56           |
| Calcio (%) <sup>3</sup>                | 2,01           | 2,06          | 2,00               | 2,00           | 2,03           |
| Fósforo total (%) <sup>3</sup>         | 0,92           | 0,84          | 1,08               | 0,87           | 0,90           |
| Fósforo disponível (%) <sup>3</sup>    | 0,77           | 0,75          | 0,77               | 0,76           | 0,76           |

<sup>1</sup>Suplemento vitamínico e mineral (Composição por kilo do produto): Vit. A - 5000.000 UI; Vit. D<sub>3</sub> - 200.000 UI; Vit. E - 5.000 UI; Vit. K<sub>3</sub> - 1.000 mg; Vit C - 15.000 mg; Vit B<sub>12</sub> - 4.000 mg; Vit. B<sub>1</sub> - 1.500 mg; Vit. B<sub>2</sub> - 1.500 mg; Vit. B<sub>6</sub> - 1.500 mg; Biotina (*Biotin*) - 50 mg; Ácido fólico - 500 mg; Ácido pantotêmico - 4000 mg; B.H.T. - 12,25 g; Colina - 40 g; Fe - 5.000 mg; Cu - 500 mg; Mn - 1.500 mg; Co - 10 mg; I - 50 mg; Se - 10 mg e Zn - 5.000 mg.

<sup>2</sup>Composição bromatológica analisada (Horwits, 1997).

<sup>3</sup>Composição bromatológica calculada (Rostagno et al., 2005).

Depois de misturadas, as rações foram finamente trituradas em moinho de faca com peneira de 2 mm de diâmetro de malha. As dietas foram pelotizadas (5 mm) e armazenadas em freezer até o momento da utilização. As análises bromatológicas das rações foram

realizadas de acordo com Horwitz (1997). As análises de fibra alimentar total (Horwitz, 1997), fibras alimentares solúvel e insolúvel (Prosky et al., 1984) e amido (Diemair, 1963), foram realizadas no Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL) em Campinas-SP.

### **2.4.3. Tempo de Trânsito Gastrintestinal**

Para avaliação do tempo de trânsito gastrintestinal, foram fabricadas duas variações de cada dieta teste, uma contendo 1% de óxido de titânio e outra contendo 1% de óxido de cromo. Os peixes foram alimentados uma vez ao dia até a saciedade aparente, durante três dias, com ração contendo 1% de óxido de titânio. No quarto dia de alimentação, foi fornecida ração contendo 1% de óxido de cromo e duas horas depois foram iniciados os procedimentos experimentais, que se repetiram a cada duas horas.

Em cada horário de observação todos os peixes de um aquário por tratamento foram anestesiados com benzocaína (1g/10 litros de água) e extrusados manualmente. As amostras de fezes receberam notas de 0; 0,25; 0,50; 0,75 e 1,00, de acordo com a intensidade da cor verde (Dias-Koberstein et al., 2005). Foi considerado completo o tempo de trânsito gastrintestinal dos peixes de um tratamento, quando todas as amostras receberam nota 1,00, ou seja, as fezes apresentaram cor totalmente verde.

### **2.4.4 Ensaio de Digestibilidade**

Os coeficientes de digestibilidade aparente foram determinados pelo método de coleta parcial das fezes dos peixes, utilizando-se 1% de óxido de cromo como marcador inerte. Após três semanas de adaptação às condições experimentais, os peixes foram alimentados durante cinco dias com as dietas experimentais contendo diferentes fontes de fibra, antes de serem transferidos para os aquários de coleta de fezes. As fezes foram

coletadas repetidamente, com intervalos de 25 minutos e armazenadas em congelador até alcançar quantidade suficiente para determinação de energia bruta, proteína e marcadores.

As análises de proteína bruta (Horwits, 1997) foram realizadas no Laboratório do Setor de Avicultura da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV) – UNESP, Câmpus de Jaboticabal. As determinações de energia bruta (bomba calorimétrica) e do óxido de cromo (Furukawa e Tsukahara, 1966) foram realizadas no Laboratório de Nutrição Animal (LANA) da FCAV-UNESP, Câmpus de Jaboticabal. Todas as análises foram realizadas com base na matéria seca, determinada de acordo com Horwits (1997).

A partir dos resultados das análises quantitativas dos marcadores e de posse dos valores dos nutrientes presentes nas dietas e nas excretas, os coeficientes de digestibilidade da proteína e da energia das dietas foram estimados por meio da seguinte equação, proposta por Nose, (1966):

$$CDA = 100 - \left[ 100 \left( \frac{\% \text{ de marcador na dieta}}{\% \text{ de marcador nas fezes}} \times \frac{\% \text{ de nutrientes nas fezes}}{\% \text{ de nutrientes na dieta}} \right) \right]$$

#### **2.4.5. Delineamento Experimental**

Na avaliação do tempo de trânsito gastrointestinal o delineamento experimental foi em parcelas subdividas, sendo estas inteiramente casualizadas com cinco tratamentos (fontes de fibra) e oito repetições em cada tempo de observação. No ensaio de digestibilidade o delineamento experimental foi inteiramente casualizado com cinco tratamentos (fonte de fibra) e quatro repetições.

#### **2.4.6. Análises Estatísticas**

A análise estatística dos resultados foi realizada com a utilização do programa estatístico SAS 8.0. Foram conduzidos os testes de normalidade e homocedasticidade, e as diferenças avaliadas por meio da análise de variância dos resultados (ANOVA). O efeito principal entre os tratamentos foi comparado pelo teste de Tukey ou Duncan, de acordo com o coeficiente de variação.

### **2.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **2.5.1. Tempo de Trânsito Gastrointestinal**

A utilização de diferentes ingredientes fibrosos nas dietas afetou ( $P < 0,05$ ) o tempo de trânsito gastrintestinal dos juvenis de pacu (Tabela 2). A comparação entre os diferentes horários de observação mostrou que nos peixes alimentados com a dieta contendo farelo de soja, as pontuações obtidas após 20 horas de experimento não diferiram ( $P > 0,05$ ) daquelas obtidas após 22 horas, quando a pontuação de todos os peixes foi igual a 1,00. Portanto considerou-se que o tempo de trânsito gastrintestinal para a dieta contendo farelo de soja foi de 20 horas.

O farelo de soja é um ingrediente protéico muito utilizado em rações de peixes, que já foi avaliado com sucesso como substituto da farinha de peixe em dietas de juvenis de pacu (Fernandes et al., 2001). Este ingrediente é rico em carboidratos, mas não possui um nível muito elevado de fibra bruta (7,58%), exigindo a suplementação com celulose purificada para atingir o nível de 9%, para manter as rações experimentais com o mesmo nível de fibra bruta.

A dieta contendo farelo de soja foi formulada com o objetivo de servir como referência para os outros tratamentos. O resultado de tempo de trânsito encontrado para esta dieta foi o mesmo obtido para juvenis de pacu alimentados com dieta peletizada contendo 9% de fibra bruta (Rodrigues, 2008). O tempo de trânsito foi de apenas 14 horas para juvenis de pacu alimentados com dieta extrusada contendo 8,5% de fibra bruta (Dias-Koberstein, 2005), mas neste estudo o processamento da dieta pode ter alterado o funcionamento do trato gastrintestinal.

Tabela 2. Notas atribuídas para a coloração das fezes na avaliação do tempo de trânsito gastrintestinal de juvenis de pacu alimentados com dietas contendo diferentes fontes de fibra.

| Tempo de observação | Fontes de Fibra          |                          |                          |                          |                          | CV%   |
|---------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------|
|                     | F. de soja               | Casca de soja            | F. de girassol           | Polpa 30%                | Polpa 45%                |       |
| 8 horas             | 0,00±0,00 <sup>d</sup>   | 0,00±0,00 <sup>c</sup>   | 0,00±0,00 <sup>d</sup>   | 0,04±0,10 <sup>e</sup>   | 0,13±0,13 <sup>d</sup>   | -     |
| 10 horas            | 0,32±0,12 <sup>Ac</sup>  | 0,00±0,00 <sup>Bc</sup>  | 0,06±0,11 <sup>Bd</sup>  | 0,08±0,13 <sup>Be</sup>  | 0,32±0,12 <sup>Abc</sup> | 67,62 |
| 12 horas            | 0,29±0,17 <sup>Ac</sup>  | 0,00±0,00 <sup>Bc</sup>  | 0,25±0,14 <sup>Ac</sup>  | 0,00±0,00 <sup>Be</sup>  | 0,25±0,16 <sup>Ac</sup>  | 75,81 |
| 14 horas            | 0,29±0,17 <sup>Ac</sup>  | 0,04±0,10 <sup>Bc</sup>  | 0,50±0,29 <sup>Ab</sup>  | 0,28±0,09 <sup>Ad</sup>  | 0,34±0,19 <sup>Abc</sup> | 61,65 |
| 16 horas            | 0,40±0,14 <sup>Ac</sup>  | 0,31±0,13 <sup>Ab</sup>  | 0,56±0,17 <sup>Ab</sup>  | 0,45±0,20 <sup>Ac</sup>  | 0,45±0,21 <sup>Ab</sup>  | 39,05 |
| 18 horas            | 0,60±0,14 <sup>BCb</sup> | 0,46±0,10 <sup>Cb</sup>  | 0,67±0,12 <sup>Bb</sup>  | 0,75±0,20 <sup>ABb</sup> | 0,86±0,13 <sup>Aa</sup>  | 20,33 |
| 20 horas            | 0,88±0,13 <sup>Aa</sup>  | 0,46±0,22 <sup>Bb</sup>  | 0,88±0,14 <sup>Aa</sup>  | 0,84±0,13 <sup>Aab</sup> | 0,86±0,18 <sup>Aa</sup>  | 22,07 |
| 22 horas            | 1,00±0,00 <sup>Aa</sup>  | 0,88±0,14 <sup>Aba</sup> | 0,92±0,13 <sup>Aba</sup> | 0,84±0,13 <sup>Bab</sup> | 1,00±0,00 <sup>Aa</sup>  | 10,07 |
| 24 horas            | -                        | 0,95±0,11 <sup>a</sup>   | 1,00±0,00 <sup>a</sup>   | 1,00±0,00 <sup>a</sup>   | -                        | -     |
| 26 horas            | -                        | 1,00±0,00 <sup>a</sup>   | -                        | -                        | -                        | -     |
| CV (%)              | 26,46                    | 22,07                    | 27,07                    | 24,98                    | 27,49                    |       |

Médias seguidas de letras iguais na vertical (minúsculas) e na horizontal (maiúsculas) não diferem entre si pelo teste de Duncan ( $P>0,05$ ).

Para os peixes alimentados com a dieta contendo casca de soja, o tempo de trânsito gastrintestinal foi de 22 horas. Todas as dietas foram formuladas com o mesmo nível de fibra bruta (9%), contudo as análises de fibra alimentar insolúvel mostraram que a dieta contendo casca de soja possuía o teor mais elevado entre todos os tratamentos (19,97%). A casca de soja contém mais de 80% de carboidratos complexos indigestíveis (Gnanasamdandam e Proctor, 1999). Esta composição diferenciada faz com que este

ingrediente se expanda como uma esponja quando umedecido, o que gerou dificuldades durante a peletização das dietas e pode ter obstruído o trato digestório dos juvenis de pacu, atrasando o tempo de trânsito gastrointestinal ( $P < 0,05$ ) em relação aos outros tratamentos.

Para as dietas contendo farelo de girassol e 30% de polpa cítrica, o tempo de trânsito gastrointestinal considerado foi de 20 horas. Neste tempo, a comparação entre os tratamentos mostrou que estas dietas produziram pontuações que não diferiram ( $P > 0,05$ ) da dieta contendo farelo de soja, cujo tempo de trânsito também foi de 20 horas. A variação na composição de carboidratos destes ingredientes foi insuficiente para provocar alterações no tempo de trânsito gastrointestinal.

O tempo de trânsito gastrointestinal para os peixes alimentados com a dieta contendo 45% de polpa cítrica foi de 18 horas, mais rápido ( $P < 0,05$ ) em relação aos outros tratamentos. A comparação entre os tratamentos neste tempo confirmou este resultado e mostrou que esta dieta realmente proporcionou pontuações menores ( $P < 0,05$ ) em relação às outras, não diferindo somente da dieta contendo 30% de polpa cítrica.

As análises de fibras alimentares mostraram que as dietas contendo polpa cítrica possuíam níveis mais elevados de fibra solúvel (6,01 e 9,48%) em relação às outras dietas (cerca de 2%). Este nutriente normalmente está relacionado com aumento no tempo de trânsito gastrointestinal de monogástricos (Montagne et al., 2003). Entretanto, efeito inverso sobre o tempo de trânsito também pode ser observado. Algumas espécies, quando alimentadas com dietas contendo níveis elevados de fibra, teriam a capacidade de aumentar a secreção de fluídos endógenos no intestino, ampliando a ação do peristaltismo e reduzindo o tempo de trânsito gastrointestinal (Wenk, 2001).

Juvenis de salmão do Atlântico alimentados com dietas ricas em fibra solúvel, aparentemente foram capazes de adotar tal estratégia, aumentando o teor de umidade do

bolo alimentar (Refstie et al., 1999). Os juvenis de pacu também parecem ser capazes de adotar uma tática semelhante e a diminuição no tempo trânsito gastrintestinal pode ser um indício do aumento da secreção de fluidos endógenos no intestino, provocado pelo excesso de fibra solúvel na dieta.

A casca de soja e a polpa cítrica (45%) provocaram alterações no tempo de trânsito gastrintestinal em relação aos outros ingredientes utilizados. Entretanto, a dieta contendo casca de soja atrasou o tempo de trânsito e aquela com 45% de polpa cítrica provocou o efeito inverso, mostrando evidências de que, devido às variações na composição de fibras alimentares e carboidratos complexos, estes dois ingredientes alteram de forma diferente o funcionamento do sistema digestório de juvenis de pacu.

### **2.5.2. Ensaio de Digestibilidade**

Os resultados dos coeficientes de digestibilidade aparente da proteína e da energia das dietas experimentais, contendo diferentes fontes de fibra estão apresentados na figura 1. Os peixes alimentados com a dieta contendo casca de soja apresentaram menores ( $P < 0,05$ ) coeficientes de digestibilidade aparente da proteína e da energia, em relação às outras dietas experimentais.

Ficou evidente a relação entre a composição de fibras alimentares e carboidratos complexos da casca de soja com os resultados obtidos neste estudo. A piora na digestibilidade da proteína e da energia pode ser consequência do atraso no tempo de trânsito gastrintestinal dos juvenis de pacu, provocado por este ingrediente. A utilização de dietas contendo farelo de soja com casca também piorou a digestibilidade da proteína no salmão do Atlântico (Refstie et al., 1999). Pedron et al. (2008) observaram que a utilização

de casca de soja na dieta de juvenis de jundiá (*Rhamdia quelen*), aumentou a porcentagem de gordura no filé, alteração fisiológica que pode evidenciar a piora no aproveitamento da proteína (Nelson e Cox, 2006).

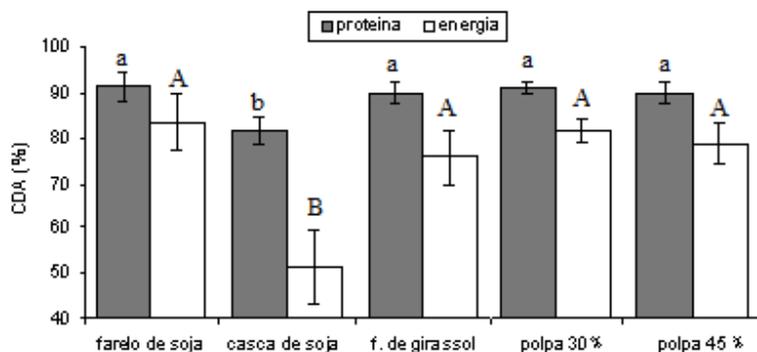


Figura 1. Coeficiente de digestibilidade aparente (CDA) da proteína (letras minúsculas) e da energia (letras maiúsculas) obtidos para juvenis de pacu alimentados com dietas contendo diferentes fontes de fibra. Médias acompanhadas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Além das alterações que podem provocar no funcionamento do trato gastrintestinal, alguns tipos de fibra alimentar também têm capacidade de se ligar a micelas de gordura do alimento, que se tornam indisponíveis para absorção e são eliminadas do trato juntamente com as fezes, reduzindo a eficiência de absorção deste nutriente no intestino e a digestibilidade da energia do alimento (Madar e Thorne, 1987; Schneeman, 1998; Knudsen, 2001; Montagne et al., 2003; Cumming et al., 2004).

A dieta contendo 45% de polpa cítrica acelerou o tempo de trânsito gastrintestinal dos juvenis, mas não alterou ( $P > 0,05$ ) a digestibilidade da proteína e da energia. Embora existam evidências de que as fibras alimentares solúveis, presente em abundância na polpa cítrica, possa piorar a digestibilidade de nutrientes (Leenhouwers et al., 2006), tal resultado não foi observado no presente estudo. Entretanto, no capítulo 3 será demonstrado que

inclusão de 45% de polpa cítrica na dieta dos peixes inibiu o consumo e piorou o desempenho, mesmo em relação à dieta contendo casca de soja.

Os teores de carboidratos fibrosos nas dietas podem ajudar a explicar os resultados obtidos neste estudo. Entretanto, não se pode desconsiderar os efeitos sinérgicos e a interação que existe entre os nutrientes dos ingredientes. Pela análise dos resultados do presente estudo ficou evidente a relevância de trabalhos sobre a utilização de diferentes ingredientes fibrosos na alimentação dos peixes.

## **2.6. CONCLUSÃO**

A partir dos resultados obtidos pode-se concluir que cada ingrediente fibroso, em função de sua composição de fibras alimentares e carboidratos complexos, afeta de forma particular o tempo de trânsito gastrointestinal e a digestibilidade da proteína e da energia dos juvenis de pacu.

O farelo de soja e o farelo de girassol podem ser utilizados na alimentação de juvenis de pacu. A casca de soja e a polpa cítrica modificaram o funcionamento do sistema digestório dos juvenis de pacu. A casca de soja é rica em fibra alimentar insolúvel e carboidratos complexos indigestíveis e a polpa cítrica contém níveis elevados de fibra alimentar solúvel.

## **2.7. REFERÊNCIAS**

ABIMORAD, E. G.; CARNEIRO, D. J. Métodos de coleta de fezes e determinação dos coeficientes de digestibilidade da fração protéica e da energia de alimentos para o pacu

- (*Piaractus mesopotamicus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, p. 1101-1109, 2004.
- ABIMORAD, E. G.; CARNEIRO, D. J. Digestibility and performance of pacu (*Piaractus mesopotamicus*) juveniles – fed diets containing different protein, lipid and carbohydrate levels. **Aquaculture Nutrition**, v. 13, p. 1-9, 2007.
- ABIMORAD, E. G.; CARNEIRO, D. J.; URBINATI, E. C. Growth and metabolism of pacu (*Piaractus mesopotamicus*) juveniles fed diets containing different protein, lipid and carbohydrate levels. **Aquaculture Research**, v. 38, p. 36-44, 2007.
- BIJLANI, R. L. Dietary fiber: consensus and controversy. **Progress in Food and Nutrition Science**, v. 9, p. 343-393, 1985
- CUMMINGS, J. H.; EDMOND, L. M.; MAGEE, E. A. Dietary carbohydrates and health: do we still need the fiber concept? **Clinical Nutrition supplements**, v.1, p.5-17, 2004.
- DIAS-KOBERSTEIN, T. C. R.; CARNEIRO, D. J.; URBINATI, E. C. Tempo de trânsito gastrointestinal e esvaziamento gástrico do pacu (*Piaractus mesopotamicus*) em diferentes temperaturas de cultivo. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, v. 27, p. 413-417, 2005.
- DIEMAIR, W. **Laboratoriumsbuch fur Lebensmittelchemiker**. 8 aufl. Drisdien: Verlag Von Theodor Steinkopff, 1963
- FABREGAT, T. E. H. P; FERNANDES, J. B. K.; RODRIGUEZ, L. A.; BORGES, F. F.; PEREIRA, T. S.; NASCIMENTO, T. M. T. Digestibilidade aparente da energia e da proteína de ingredientes selecionados para juvenis de pacu *Piaractus mesopotamicus*. **Revista Acadêmica de Ciências Agrárias e Ambientais**. No prelo, 2008
- FERNANDES, J. B. K.; CARNEIRO, D. J.; SAKOMURA, N. K. Fontes e níveis de proteína bruta em dietas para juvenis de pacu *Piaractus mesopotamicus*. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, p. 646-653, 2000.
- FERNANDES, J. B. K.; CARNEIRO, D. J.; SAKOMURA, N. K. Fontes e níveis de proteína bruta em dietas para juvenis de pacu (*Piaractus mesopotamicus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 30, p. 617-626, 2001.
- FUKURAWA, A.; TSUKAHARA, H. On the acid digestion for the determination of chromic oxide as an index substance in the study of fish feed. **Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries**, v. 32, p. 502-506, 1966.
- GNANASAMBANDAM, R.; PROCTOR, A. Preparation of soy hull pectin. **Food Chemistry**, v. 65, p. 461-467, 1999.
- HORWITZ, W. (Ed.) **Official methods of analysis of AOAC International**. 16 ed. Maryland: Gaithersburg, 1997. p. 1298.

- KNUDSEN, K. E. The nutritional significance of “dietary fibre” analysis. **Animal Feed Science and Technology**, v. 90, p. 3-20, 2001.
- LEENHOUWERS, J. I.; ADJEI-BOATENG, D.; VERRETH, J. A. J.; SCHRAMA, J. W. Digesta viscosity, nutrient digestibility and organ weights in African catfish (*Clarias gariepinus*) fed diets supplemented with different levels of a soluble non-starch polysaccharide. **Aquaculture Nutrition**, v.12, p.111-116, 2006.
- MADAR, Z.; THORNE, R. Dietary fiber. **Progress en Food and Nutrition**, v. 11, p. 153-174, 1987
- MONTAGNE, L.; PLUSKE, J. R.; HAMPSON, D. J. A review of interactions between dietary fibre and intestinal mucosa, and their consequences on digestive health in young no-ruminant animals. **Animal Feed Science and Technology**, v.108, p. 95-117, 2003.
- NELSON, D. L.; COX, M. M. **Lehninger - Princípios de Bioquímica**. 4 ed. São Paulo: Sarvier, 2006, p. 1202.
- NOSE, T. Recent advances in the study of fish digestion in Japan. In: SYMPOSIUM ON FEEDING TROUT AND SALMON CULTURE, 7, Belgrade, **Proceedings...**, Belgrade: EIFAC, p. 17. 1966.
- PEDRON, F. A.; NETO, J. R.; EMANUELLI, T.; SILVA, L. P.; LAZZARI, R.; CORREIA, V.; BERGAMIN, G. T.; VEIVERBERG, C. A. Cultivo de jundiás alimentados com dietas com casca de soja ou de algodão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, p. 93-98, 2008.
- PROSCKY, L.; ASP, N. G.; FURDA, I; DEVRIES, J. W.; SCHWEIZER, T. F.; HARDLAND, B. F. Determination of total dietary fiber in foods, food products and total diets: Interlaboratorial Study. **Journal of the Association of Official Analytical Chemists**, v. 67, p. 1044-1052, 1984.
- REFSTIE, S.; SVIHUS, B.; SHEARER, K.D.; STOREBAKKEN, T. Nutrient digestibility in salmon and broiler chickens related to viscosity and non-starch polysaccharide content in different soyabean products. **Animal Feed Science and Technology**, v. 79, p. 331-345, 1999.
- RODRIGUES, L. A. **Digestibilidade, desempenho produtivo e parâmetros metabólicos de juvenis de pacu *Piaractus mesopotamicus* submetidos a níveis crescentes de fibra bruta**. 2008. 66 p. Tese (Doutorado em Aqüicultura), Centro de Aqüicultura, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.
- ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; DONZELE, J.L. et al. **Composição de alimentos e exigências nutricionais**; (Tabelas Brasileiras). Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2005. 186p.

- SCHNEEMAN, B. O. Dietary fiber and gastrointestinal function. **Nutrition Research**, v. 18, p.625-632, 1998.
- SILVA, A. J. Regime alimentar do pacu, *Colossoma mitrei* no Pantanal do Mato Grosso em relação a flutuação do nível da água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOLOGIA, 12., 1985, Campinas. **Anais...** 1985. p. 179.
- URBINATI, E. C.; GONÇALVES, F. D. Pacu (*Piaractus mesopotamicus*). BALDISSEROTTO, B. In: BALDISSEROTTO, B.; GOMES, L. C. (Ed.) **Espécies nativas para piscicultura no Brasil**. 1 ed. Santa Maria: Editora da UFSM, 2005. p. 225-256.
- WENK, C. The role of fibre in digestive physiology of the pig. **Animal Feed Science and Technology**, v. 90, p. 21-33, 2001.

### **CAPÍTULO 3**

**Desempenho, composição corporal, parâmetros bioquímicos, índices organométricos e morfometria intestinal de juvenis de pacu (*Piaractus mesopotamicus*) alimentados com dietas contendo diferentes fontes de fibra**

**3.1. RESUMO** Este estudo foi conduzido com o objetivo de avaliar os efeitos da utilização de diferentes ingredientes fibrosos nas dietas, sobre o desempenho, a composição corporal, os parâmetros bioquímicos, os índices organométricos e a morfometria intestinal de juvenis de pacu (*Piaractus mesopotamicus*). Foram avaliadas cinco dietas isoprotéicas (23% de proteína digestível), isoenergéticas (3250 kcal de energia digestível/kg) e isofibrosas (9% fibra bruta), sendo a principal fonte fibrosa de cada constituída por farelo de soja, casca de soja, farelo de girassol e polpa cítrica, está última em dois níveis de inclusão (30 e 45%). Foram utilizados 300 juvenis de pacu com peso inicial de  $25,12 \pm 0,78$  gramas, alojados em 25 aquários experimentais de polietileno (200 litros). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com cinco tratamentos e cinco repetições. Os melhores resultados de crescimento e conversão alimentar foram obtidos com as dietas contendo farelo de soja e farelo de girassol. As dietas contendo casca de soja e polpa cítrica prejudicaram o desempenho dos juvenis de pacu. Foram observadas diferenças entre os peixes alimentados com dietas contendo estes dois ingredientes, nos resultados de composição corporal e parâmetros bioquímicos. Além disso, somente a dieta contendo 45% de polpa cítrica diminuiu a densidade de vilosidades por área no epitélio intestinal. A partir dos resultados obtidos pode-se concluir que, devido às variações na composição de carboidratos complexos e fibras alimentares, cada ingrediente fibroso afetou de forma particular o metabolismo, a fisiologia e o funcionamento do sistema digestório dos juvenis de pacu, com conseqüências diretas sobre o desempenho e características do epitélio intestinal.

**PALAVRAS-CHAVE:** casca de soja, farelo de soja, farelo de girassol, ingredientes fibrosos, nutrição de peixes, polpa cítrica.

**Performance, corporal composition, biochemical parameters, organometric index and intestinal morphometry of pacu (*Piaractus mesopotamicus*) juveniles fed different fiber sources.**

**3.2. ABSTRACT** This study aim was to evaluate the effects of diets containing different fiber sources on the performance, corporal composition, blood and tissue biochemical parameters, organometric index and intestinal morphometry of pacu juveniles (*Piaractus mesopotamicus*). This study evaluated five isoproteic (23% digestible protein), isoenergetic (3250 kcal digestible energy/ kg) and isofibrous (9% crude fiber) diets, each one containing fiber source such as soybean meal, soybean hulls, sunflower meal and citric pulp in two levels of inclusion (30 e 45%). The total of 300 pacu juveniles (25,12±0,78 g) were stocked in 25 experimental aquariums (200 liters) equipped with aeration and heating system. The experimental design was totally randomized with five treatments and five repetitions. The best growth and feed conversion results were obtained with diets containing soybean meal and sunflower meal. Diets containing soybean hulls and citrus pulp worsened the juvenile pacu performance. Differences were observed between fish fed diets containing these two ingredients, in body composition and biochemical parameters results. Moreover, only the diet containing 45% citrus pulp decreased the villous number per area in the intestinal epithelium. From the results we can conclude that due to variations in the complex carbohydrates and dietary fiber composition, each fibrous ingredient affected differently juvenile pacu physiology, metabolism and digestive system functioning, with direct consequences on the performance and intestinal epithelium characteristics.

**KEY-WORDS:** citrus pulp, fibrous ingredients, fish nutrition, soybean hulls, soybean meal, sunflower meal.

### 3.3. INTRODUÇÃO

A importância dos carboidratos fibrosos na alimentação de monogástricos está bem estabelecida, derrubando a crença de que seriam componentes indesejáveis nas dietas. A fibra alimentar, uma fração composta por polissacarídeos que não são digeridos pelas enzimas digestivas destes animais, pode proporcionar benefícios aos processos digestivos e à saúde animal (Knudsen, 2001; Montagne et al., 2003). O balanceamento correto das frações fibrosas modifica positivamente o funcionamento do sistema digestório e o desempenho.

A fibra alimentar produz efeitos fisiológicos e metabólicos variados, dependendo de sua natureza e estrutura física, tais como tamanho da partícula, peso molecular e grau de esterificação (Bijlani, 1985; Wenk, 2001). Na análise de fibra alimentar é comum classificá-la de acordo com a solubilidade em água. De maneira geral, em dietas para monogástricos, a fração solúvel atua na regulação da digestão e absorção intestinal, e a fração insolúvel aumenta o bolo alimentar, diluindo os nutrientes e diminuindo o tempo de trânsito gastrintestinal (Schneeman, 1998; Knudsen, 2001; Montagne et al., 2003; Cumming et al., 2004).

A composição em carboidratos do ingrediente também pode modificar o processo fermentativo na parte posterior do trato gastrointestinal, alterando o pH. Esta ocorrência afeta diretamente a proliferação bacteriana e a integridade das células epiteliais do intestino, podendo em combinação adequada, melhorar a saúde intestinal e conseqüentemente o aproveitamento dos nutrientes (Montagne et al., 2003). As mudanças no funcionamento do sistema digestório provocadas pela ingestão de diferentes fontes de fibras alimentares modificam a fisiologia, o metabolismo e as características do epitélio

intestinal, modificando a absorção de nutrientes, os níveis de nutrientes sanguíneos, a composição corporal e a deposição de músculo e gordura nos tecidos (Schneeman, 1998; Knudsen, 2001; Montagne et al., 2003; Cumming et al., 2004) .

No Capítulo 2 desta tese, foi demonstrado que a utilização de diferentes fontes de fibra na dieta de juvenis de pacu (*Piaractus mesopotamicus*) proporcionou efeitos distintos sobre o tempo de trânsito gastrointestinal e as digestibilidades da proteína e da energia. Entretanto, os efeitos sobre o desempenho, fisiologia e metabolismo ainda precisam ser esclarecidos. Portanto, o objetivo do presente estudo foi mostrar que a utilização de diferentes fontes de fibras alimentares nas dietas, afeta o desempenho, a composição corporal, os parâmetros bioquímicos, os índices organométricos e a morfometria intestinal de juvenis de pacu.

### **3.4. MATERIAIS E MÉTODOS**

O experimento foi realizado no Laboratório de Peixes Ornamentais do Centro de Aquicultura da UNESP (CAUNESP), em Jaboticabal-SP, durante o segundo semestre de 2007.

#### **3.4.1. Animais e Instalações**

No ensaio de desempenho foram utilizados 300 juvenis de pacu (*Piaractus mesopotamicus*) com peso médio de  $25,12 \pm 0,78$  gramas, alojados em 25 aquários de polietileno (200 litros), equipados com sistema de aeração e aquecimento. Para cada grupo

de cinco aquários, escolhidos de forma aleatória, foi fornecida uma ração contendo uma fonte de fibra.

### 3.4.2. Dietas experimentais

Tabela 1. Ingredientes e composição das dietas contendo diferentes fontes de fibra.

| Ingredientes (%)                       | Farelo de Soja | Casca de Soja | Farelo de Girassol | P. Cítrica 30% | P. Cítrica 45% |
|--|----------------|---------------|--------------------|----------------|----------------|
| Polpa Cítrica                          | -              | -             | -                  | 30,0           | 45,0           |
| Casca Soja                             | -              | 26,4          | -                  | -              | -              |
| Farelo de girassol                     | -              | -             | 37,0               | -              | -              |
| Farelo de soja                         | 29,7           | -             | -                  | -              | -              |
| Celulose purificada                    | 8,40           | -             | -                  | 6,1            | 3,7            |
| Farinha de peixe                       | 20,0           | 20,0          | 20,0               | 20,0           | 20,0           |
| Glúten milho                           | 5,00           | 23,0          | 8,80               | 25,6           | 24,5           |
| Amido milho                            | 29,6           | 23,9          | 26,7               | 12,6           | 1,8            |
| Óleo de soja                           | 4,8            | 4,2           | 5,0                | 4,2            | 4,0            |
| Calcário calcítico                     | 1,5            | 1,5           | 1,5                | 0,5            | -              |
| Suplemento vit. e mineral <sup>1</sup> | 1,0            | 1,0           | 1,0                | 1,0            | 1,0            |
| Composição calculada/analísada         |                |               |                    |                |                |
| Proteína bruta (%) <sup>2</sup>        | 29,91          | 30,68         | 28,93              | 30,49          | 30,56          |
| Proteína digest. (%) <sup>3</sup>      | 23,03          | 23,06         | 23,05              | 23,03          | 23,03          |
| Energia bruta (kcal/kg) <sup>2</sup>   | 4250           | 4329          | 4452               | 4389           | 4363           |
| Energia digest. (kcal/kg) <sup>3</sup> | 3267           | 3271          | 3202               | 3288           | 3207           |
| Extrato etéreo (%) <sup>3</sup>        | 6,64           | 6,66          | 6,74               | 6,58           | 6,65           |
| Fibra bruta (%) <sup>3</sup>           | 9,05           | 9,08          | 9,10               | 9,02           | 9,02           |
| Fibra alimentar total (%) <sup>2</sup> | 16,66          | 22,56         | 18,97              | 19,93          | 26,52          |
| Fibra alim. solúvel (%) <sup>2</sup>   | 1,86           | 2,59          | 2,10               | 6,01           | 9,48           |
| Fibra alim. Insolúvel (%) <sup>2</sup> | 14,80          | 19,97         | 16,87              | 13,92          | 17,04          |
| Amido (%) <sup>2</sup>                 | 14,8           | 26,4          | 27,7               | 18,4           | 11,1           |
| ENN (%) <sup>3</sup>                   | 36,12          | 34,81         | 36,28              | 35,88          | 34,93          |
| Matéria mineral (%) <sup>3</sup>       | 7,28           | 6,93          | 7,33               | 7,65           | 8,56           |
| Calcio (%) <sup>3</sup>                | 2,01           | 2,06          | 2,00               | 2,00           | 2,03           |
| Fósforo total (%) <sup>3</sup>         | 0,92           | 0,84          | 1,08               | 0,87           | 0,90           |
| Fósforo útil (%) <sup>3</sup>          | 0,77           | 0,75          | 0,77               | 0,76           | 0,76           |

<sup>1</sup>Suplemento vitamínico e mineral (Composição por kilo do produto): Vit. A - 5000.000 UI; Vit. D<sub>3</sub> - 200.000 UI; Vit. E - 5.000 UI; Vit. K<sub>3</sub> - 1.000 mg; Vit C - 15.000 mg; Vit B<sub>12</sub> - 4.000 mg; Vit. B<sub>1</sub> - 1.500 mg; Vit. B<sub>2</sub> - 1.500 mg; Vit. B<sub>6</sub> - 1.500 mg; Biotina (*Biotin*) - 50 mg; Ácido fólico - 500 mg; Ácido pantotêmico - 4000 mg; B.H.T. - 12,25 g; Colina - 40 g; Fe - 5.000 mg; Cu - 500 mg; Mn - 1.500 mg; Co - 10 mg; I - 50 mg; Se - 10 mg e Zn - 5.000 mg.

<sup>2</sup>Composição bromatológica analisada (Horwits, 1997); <sup>3</sup>Composição bromatológica calculada (Rostagno et al., 2005).

Foram avaliadas cinco dietas isoprotéicas (23% de proteína digestível), isoenergéticas (cerca de 3250 kcal de energia digestível/ kg) e isofibrosas (9% de fibra bruta), sendo a principal fonte fibrosa de cada dieta constituída por farelo de soja, casca de soja, farelo de girassol e polpa cítrica, está ultima em dois níveis de inclusão (Tabela 1). Na formulação das rações, foram utilizados os coeficientes de digestibilidade de proteína e da energia previamente definidos para o pacu (Abimorad e Carneiro 2004; Fabregat et al., 2008).

Depois de misturadas, as rações foram finamente trituradas em moinho de faca com peneira de 2 mm de diâmetro de malha. As dietas foram peletizadas (5 mm) na fábrica de ração do CAUNESP e armazenadas em freezer até o momento da utilização. As análises bromatológicas das rações foram realizadas de acordo com Horwitz (1997). As análises de fibra alimentar total (Horwitz, 1997), fibras alimentares solúvel e insolúvel (Prosky et al., 1984) e amido (Diemair, 1963), foram realizadas no Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL) em Campinas-SP.

### **3.4.3. Ensaio de desempenho**

O ensaio de desempenho foi conduzido durante 84 dias. Os peixes foram alimentados duas vezes ao dia até a saciedade aparente, de modo a não haverem sobras de ração. Todos os dias, a matéria orgânica que se acumulava no fundo dos aquários era sifonada e 60% da água renovada. Antes da primeira alimentação, os peixes mortos eram retirados, e as perdas anotadas.

A temperatura dos aquários foi aferida diariamente com um termômetro de máxima e mínima. Os parâmetros químicos da água (alcalinidade, amônia total, oxigênio dissolvido e pH), foram monitorados semanalmente durante todo o período experimental e não foram

encontradas diferenças ( $P>0,05$ ) entre os tratamentos. As médias obtidas foram as seguintes: temperatura  $27,05\pm 1,09^{\circ}\text{C}$ ; alcalinidade total  $98,2\pm 17,0$  mg/L; amônia total  $0,36\pm 0,18$  mg/L; oxigênio dissolvido  $4,79\pm 0,58$  mg/L e pH  $6,53\pm 0,36$ . Os valores se mantiveram dentro das recomendações de qualidade de água indicadas para o pacu (Urbinati e Gonçalves, 2005).

As biometrias foram realizadas no início e no final do experimento. Os seguintes parâmetros zootécnicos foram avaliados: peso final, taxa de crescimento específico ( $\text{TCE} = (\text{Ln}(\text{peso final}) - \text{Ln}(\text{peso inicial})) / \text{número de dias} \times 100$ ), comprimento total, consumo individual aparente de ração ( $\text{CR} = \text{alimento consumido no período}$ ), conversão alimentar aparente ( $\text{CA} = \text{consumo de ração} / \text{ganho de peso}$ ) e sobrevivência. Antes de cada biometria, os peixes ficaram em jejum durante 24 horas.

#### **3.4.4. Composição corporal**

No final do ensaio de desempenho foram coletados dois peixes de cada repetição para as análises bromatológicas de composição corporal em matéria seca, proteína bruta e extrato etéreo segundo metodologia recomendada por Horwits (1997).

#### **3.4.5. Parâmetros bioquímicos sanguíneos e teciduais**

Os seguintes parâmetros sanguíneos foram avaliados ao final do ensaio de desempenho a partir de alíquotas de sangue coletadas por punção caudal de dois peixes por repetição: glicemia (kit Labtest); triglicerídeos (kit Labtest), proteína total (kit Labtest) e colesterol plasmáticos (kit Labtest).

A partir de um fragmento do fígado e de músculo esquelético retirado da porção dorso-caudal, foi avaliada a porcentagem de lipídeos nestes tecidos, de acordo com a metodologia descrita por Blight e Dyer (1957).

#### **3.4.6. Índices organométricos**

No final do experimento foram amostrados e pesados dois peixes por repetição, que foram sacrificados para retirada imediata do fígado e vísceras. Os órgãos foram pesados para os seguintes cálculos de índice hepatossomático (IHS), índice gorduro-viscerossomático (IGVS), índice estomagossomático (IES) e índice intestinosomático (IIS), que relacionaram o peso dos respectivos órgãos com o peso do corpo, de acordo com a fórmula:

$$Indice = \left( \frac{\text{peso do órgão}}{\text{peso do peixe}} \right) \times 100$$

#### **3.4.7. Avaliação morfométrica intestinal**

Para avaliação da morfologia intestinal foi colhida a porção média do duodeno de dois peixes por repetição. As amostras foram fixadas em solução de Bouin e, após 24 horas, lavadas em álcool etílico a 70<sup>o</sup>GL. Em seguida, foram desidratadas em séries crescentes de alcoóis, diafanizadas em benzol e incluídas em parafina.

Foram confeccionadas duas lâminas de cada amostra e os cortes corados de acordo com a técnica de coloração hematoxilina de Harris-eosina (Behmer et al., 2003). As lâminas foram fotografadas, utilizando-se uma câmera digital acoplada a um microscópio

(aumento 10 vezes), e de cada amostra foram tiradas 30 medidas da altura do epitélio de revestimento, altura das vilosidades, profundidade de cripta e densidade de vilosidades (número de vilosidades/1.712,14  $\mu\text{m}^2$ ). As medidas morfométricas do duodeno foram realizadas em um sistema analisador de imagens Pró-plus da Cibernética do Brasil.

#### **3.4.8. Delineamento Experimental**

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com cinco tratamentos, cinco repetições e doze peixes por repetição.

#### **3.4.9. Análises Estatísticas**

As análises estatísticas dos resultados foram realizada com a utilização do programa estatístico SAS 8.0. Foram conduzidos os testes de normalidade e homocedasticidade, e as diferenças avaliadas por meio da análise de variância dos resultados (ANOVA). O efeito principal entre os tratamentos foi comparado pelo teste de Tukey ou Duncan, de acordo com o coeficiente de variação. As taxas percentuais de IHS, IGVS, IES, IIS, lipídeo no fígado e lipídeo no músculo sofreram transformação arco seno.

### **3.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.5.1. Ensaio de desempenho**

De maneira geral, a partir dos resultados do presente estudo, foi possível observar que a utilização de diferentes ingredientes fibrosos na dieta afetou o desempenho de juvenis de pacu (Tabela 2). Os melhores resultados ( $P < 0,05$ ) de peso final, taxa de crescimento

específico, comprimento final, consumo individual de ração e conversão alimentar, foram obtidos nos animais que receberam as dietas contendo farelo de soja e farelo de girassol. Não foi observada mortalidade em nenhum tratamento durante todo o experimento.

Tabela 2. Desempenho dos juvenis de pacu após 84 dias de alimentação com dietas contendo diferentes fontes de fibra.

|                           | Farelo de soja         | Casca de soja          | Farelo de Girassol     | Polpa 30%               | Polpa 45%              | CV%    |
|---------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|--------|
| Peso final (g)            | 52,3±2,8 <sup>a</sup>  | 37,4±4,9 <sup>b</sup>  | 47,6±3,7 <sup>a</sup>  | 35,8±4,5 <sup>b</sup>   | 32,4±0,9 <sup>b</sup>  | 8,86   |
| Taxa de cresc. específico | 0,85±0,07 <sup>a</sup> | 0,47±0,12 <sup>b</sup> | 0,73±0,08 <sup>a</sup> | 0,43±0,11 <sup>b</sup>  | 0,32±0,03 <sup>c</sup> | 15,84* |
| Comp. final (cm)          | 13,2±0,2 <sup>a</sup>  | 11,8±0,5 <sup>b</sup>  | 12,8±0,5 <sup>a</sup>  | 11,7±0,6 <sup>b</sup>   | 11,3±0,2 <sup>b</sup>  | 3,48   |
| Consumo individual (g)    | 41,0±2,5 <sup>a</sup>  | 32,9±2,7 <sup>b</sup>  | 39,9±2,8 <sup>a</sup>  | 30,67±2,9 <sup>bc</sup> | 25,71±2,1 <sup>c</sup> | 7,73   |
| Conversão alimentar       | 1,54±0,16 <sup>a</sup> | 2,81±0,65 <sup>b</sup> | 1,83±0,16 <sup>a</sup> | 2,92±0,74 <sup>b</sup>  | 3,38±0,42 <sup>b</sup> | 19,56* |

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

\* Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Duncan (P<0,05).

O farelo de soja é um ingrediente protéico que já foi testado como sucedâneo da farinha de peixe em dietas de juvenis de pacu (Fernandes et al., 2001). É rico em carboidratos, mas não possui um nível muito elevado de fibra bruta (7,58%), exigindo a suplementação com celulose purificada para atingir o nível de 9%. A dieta contendo farelo de soja foi formulada com o objetivo de servir como referência no experimento.

A utilização da casca de soja afetou negativamente (P<0,05) o crescimento, consumo de ração e conversão alimentar dos juvenis de pacu em relação às dietas contendo farelo de soja e farelo de girassol. Todas as dietas possuíam o mesmo nível de fibra bruta (9%), mas as análises de fibra alimentar insolúvel mostraram que a ração contendo casca de soja possuía o teor mais elevado entre todos os tratamentos (19,97%). Além disso, este ingrediente possui níveis bastante elevados de oligossacarídeos indigestíveis, totalizando até 86% de carboidratos complexos (Gnanasamdandam e Proctor, 1999).

A composição diferenciada de carboidratos faz com que a casca de soja se expanda como uma esponja quando umedecida, o que gerou dificuldades durante o processamento das dietas e pode ter afetado o desempenho. No capítulo 2 desta tese foi demonstrado que dieta contendo casca de soja também atrasou o tempo de trânsito gastrointestinal e diminuiu as digestibilidades da proteína e da energia nos juvenis de pacu.

A casca de soja já foi estudada na dieta de juvenis de jundiá (*Rhamdia quelen*) e não foram observadas alterações no desempenho em relação à outra fonte fibrosa estudada, o farelo de algodão (Pedron et al., 2008). Entretanto, neste estudo com jundiá o nível de inclusão foi de 10%, enquanto no presente estudo foi de 26,4%. Além disso, as diferenças nas características dos sistemas digestórios de juvenis de pacu e jundiá também podem ajudar a explicar os resultados aparentemente contraditórios obtidos com a utilização de casca de soja entre as duas espécies.

O farelo de girassol contém baixos teores de lisina, exigindo a suplementação exógena deste aminoácido em dietas para outros monogástricos (Hegedus e Fekete, 1994; Senkyoku e Dale, 1999). Entretanto, no presente estudo a dieta contendo farelo de girassol promoveu resultados positivos de desempenho, bastante semelhantes aos obtidos para a dieta contendo farelo de soja. Em dietas para peixes, a suplementação de lisina parece ser desnecessária, uma vez que a utilização de farinha de peixe (20% de inclusão) em todas as dietas experimentais aparentemente foi suficiente para impedir qualquer problema relacionado com deficiências de aminoácidos, confirmando resultados obtidos anteriormente para a tilápia do Nilo (Sintayehu et al., 1996).

A utilização de dietas contendo polpa cítrica também prejudicou ( $P < 0,05$ ) o desempenho em relação aos peixes alimentados com as dietas contendo farelo de soja e farelo de girassol. O efeito sobre a taxa de crescimento específico e consumo de ração foi

acentuado ( $P < 0,05$ ) com o aumento da inclusão de polpa cítrica. O nível mais elevado de polpa cítrica (45%) inibiu o consumo de ração inclusive em relação à dieta contendo casca de soja, que também não foi bem aceita pelos animais. A polpa cítrica tem sabor amargo (Albach et al, 1981; Drewnowski e Gómez-Carneiros, 2000), o que explicaria o menor consumo com o aumento da inclusão deste ingrediente.

Entretanto, a diminuição no consumo da dieta contendo polpa cítrica também deve estar relacionada com as variações no conteúdo de fibras alimentares dos ingredientes (Cunnings et al., 2004). Nas dietas contendo polpa cítrica, os teores de fibra alimentar solúvel foram mais elevados (6,01 e 9,48%), do que nas demais (cerca de 2%). No capítulo 2 desta tese, a dieta contendo 45% de polpa cítrica acelerou o tempo de trânsito gastrointestinal dos juvenis de pacu, mudança vinculada ao teor elevado de fibra alimentar solúvel da dieta (Wenk, 2001). O excesso deste nutriente provocou alterações no funcionamento do sistema digestório e piorou o crescimento e o consumo de ração.

Resultados negativos também foram observados para outras espécies de peixes, com a utilização de dietas suplementadas com fibra solúvel (Refstie et al., 1999; Amirkolaie et al 2005; Leenhouders et al., 2006), mas ainda não foi definido um nível seguro de inclusão deste nutriente na dieta do pacu. Entretanto, os resultados do presente estudo mostraram que quando são utilizados ingredientes ricos em fibra solúvel, como a polpa cítrica, a formulação com base na fibra bruta, é insuficiente para prevenir possíveis prejuízos no desempenho, provocados pelo excesso deste nutriente.

### **3.5.2. Composição corporal**

Os resultados de porcentagem de matéria seca na carcaça dos juvenis de pacu alimentados com diferentes fontes de fibra, não variaram ( $P > 0,05$ ) entre os diferentes

tratamentos, sendo a média geral de  $30,7 \pm 0,5\%$ . Os resultados de proteína bruta e extrato etéreo na carcaça dos juvenis de pacu estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Composição corporal dos juvenis de pacu alimentados durante 84 dias com dietas contendo diferentes fontes de fibra.

|                    | Farelo de soja      | Casca de soja       | Farelo de Girassol | Polpa 30%        | Polpa 45%        | CV%   |
|--------------------|---------------------|---------------------|--------------------|------------------|------------------|-------|
| Proteína bruta (%) | $50,5 \pm 1,0^{ab}$ | $50,2 \pm 2,5^{ab}$ | $49,1 \pm 2,2^b$   | $48,4 \pm 1,4^b$ | $53,2 \pm 1,1^a$ | 3,37  |
| Extrato etéreo (%) | $27,0 \pm 2,1^{ab}$ | $28,7 \pm 2,6^a$    | $29,1 \pm 1,5^a$   | $28,9 \pm 1,7^a$ | $23,5 \pm 5,9^b$ | 10,54 |

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

\* Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Duncan ( $P < 0,05$ ).

A composição de carboidratos fibrosos da dieta afeta o funcionamento do sistema digestório dos animais, com conseqüências diretas sobre o desempenho e composição corporal (Schneeman, 1986; Kritchevsky, 1988; Montagne et al., 2003; Rodrigues et al., 2008). As dietas contendo casca de soja e 30% de polpa cítrica afetaram negativamente o desempenho dos juvenis de pacu, mas as modificações metabólicas e fisiológicas provocadas por estas dietas não foram suficientes para afetar ( $P > 0,05$ ) a composição corporal em relação às dietas contendo farelo de soja e farelo de girassol.

Somente para a dieta contendo 45% de polpa cítrica, que piorou o crescimento e o consumo de forma acentuada, foram observadas alterações ( $P < 0,05$ ) na composição corporal dos juvenis de pacu. Os peixes alimentados com a dieta contendo 45% de polpa cítrica apresentaram maior ( $P < 0,05$ ) porcentagem de proteína na carcaça em relação a aqueles que receberam dietas contendo farelo de girassol e 30% de polpa cítrica. Esta dieta também proporcionou menor ( $P < 0,05$ ) porcentagem de gordura na carcaça dos animais, em comparação com aqueles que foram alimentados com as dietas contendo casca de soja, farelo de girassol e 30% de polpa cítrica.

A dieta contendo 45% de polpa cítrica alterou o funcionamento do trato gastrointestinal (Capítulo 2) e inibiu o consumo de ração dos juvenis de pacu. Os peixes deste tratamento apresentaram maior ( $P<0,05$ ) porcentagem de proteína na carcaça, pois devido à restrição energética na alimentação, depositaram menos ( $P<0,05$ ) gordura. Este resultado está associado ao conteúdo de fibra alimentar solúvel da dieta (Schneeman, 1986; Kritchevsky, 1988).

### 3.5.3. Parâmetros bioquímicos

Os parâmetros bioquímicos sanguíneos e teciduais dos juvenis de pacu alimentados com diferentes fontes de fibra encontram-se na Tabela 4. A glicemia sanguínea está relacionada com fonte de fibra alimentar encontrada nas dietas (Eastwood, 1992; Kritchevsky, 1988; Cummings et al., 2004), mas somente os peixes alimentados com a dieta contendo farelo de girassol apresentaram maior ( $P<0,05$ ) valor de glicemia sanguínea em relação aos demais tratamentos.

Tabela 4. Parâmetros bioquímicos de juvenis de pacu após 84 dias de alimentação com dietas contendo diferentes fontes de fibra.

|                        | Farelo de soja         | Casca de soja          | Farelo de Girassol      | Polpa 30%               | Polpa 45%               | CV%    |
|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------|
| Glicemia (mg/dL)       | 67,1±7,2 <sup>b</sup>  | 72,8±10,6 <sup>b</sup> | 85,5±14,9 <sup>a</sup>  | 72,7±4,7 <sup>b</sup>   | 65,2±6,4 <sup>b</sup>   | 12,09  |
| Colesterol (mg/dL)     | 153,9±18,0             | 171,9±19,0             | 177,6±22,3              | 168,9±22,4              | 177,0±23,6              | 11,50  |
| Triglicerídeos (mg/dL) | 315,3±54,3             | 284,7±54,9             | 308,5±71,1              | 270,3±33,6              | 287,4±63,9              | 20,51* |
| Prot. totais (mg/dL)   | 3,56±0,49 <sup>a</sup> | 3,19±0,12 <sup>b</sup> | 3,47±0,15 <sup>ab</sup> | 3,35±0,17 <sup>ab</sup> | 3,24±0,18 <sup>ab</sup> | 7,63   |
| Lípídeo fígado (%)     | 2,94±0,53              | 2,15±0,83              | 2,65±0,58               | 2,69±0,95               | 2,69±0,74               | 14,42* |
| Lípídeo músculo (%)    | 1,58±0,49 <sup>b</sup> | 4,67±2,26 <sup>a</sup> | 2,55±2,19 <sup>ab</sup> | 1,81±1,28 <sup>b</sup>  | 2,81±0,63 <sup>ab</sup> | 29,99* |

Médias seguidas de letras iguais na horizontal não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P<0,05$ ).

\* Médias seguidas de letras iguais na horizontal não diferem entre si pelo teste de Duncan ( $P<0,05$ ).

A glicemia mais alta nos peixes alimentados com a dieta contendo farelo de girassol mostrou que o nível de glicose no sangue permaneceu elevado por mais tempo nos animais deste tratamento. A dieta contendo farelo de girassol foi mais rica em amido (27,7%), em relação a aquela contendo farelo de soja (14,8%), cujas médias de desempenho não diferiram ( $P>0,05$ ). O amido e outros carboidratos são aproveitados com eficiência pelos juvenis de pacu (Abimorad et al., 2007; Fabregat et al., 2008) e a maior disponibilidade deste nutriente pode ter contribuído para o aumento da glicemia sangüínea (Cummings et al., 2004). Na dieta contendo casca de soja o teor de amido também era elevado (26,4%), mas neste caso a glicemia sangüínea não aumentou porque esta dieta prejudicou o crescimento e inibiu o consumo de ração, diminuindo a disponibilidade de nutrientes.

A fibra alimentar, principalmente a fração solúvel, pode diminuir o nível de colesterol sangüíneo (Schneeman, 1998; Montagne et al., 2003; Cunnings et al., 2004). Contudo, os níveis sangüíneos de colesterol não variaram ( $P>0,05$ ) entre os peixes alimentados com dietas contendo diferentes fontes fibra. Os triglicérides sangüíneos também não foram ( $P>0,05$ ) alterados. Os níveis sangüíneos dos nutrientes são modulados pela absorção dos mesmos no estomago e no intestino (Schneeman, 1998). Como todas as dietas testadas continham níveis de lipídeos semelhantes, estes resultados mostram que a absorção de lipídeos não foi afetada pela utilização de diferentes fontes de fibras.

Os resultados de proteína total sangüínea nos animais que receberam a dieta contendo casca de soja foram menores ( $P<0,05$ ) em relação a aqueles alimentados com a dieta a base de farelo de soja. As dietas eram isoproteicas, portanto, a diminuição da proteína sangüínea pode ser atribuída à menor absorção da proteína no trato gastrointestinal (Schneeman, 1998), corroborada pelos resultados negativos de digestibilidade da proteína encontrados na dieta contendo casca de soja (Capítulo 2).

A utilização de diferentes fontes de fibra na dieta não afetou ( $P>0,05$ ) o metabolismo hepático de lipídeos dos juvenis de pacu. A porcentagem de lipídeo no fígado não variou ( $P>0,05$ ) entre os peixes alimentados com diferentes fontes de fibra. O fígado tem acesso primário e direto aos nutrientes absorvidos no sangue e alterações na composição deste órgão devem vir acompanhadas de variações nos níveis sanguíneos de nutrientes (Nelson e Cox, 2006), o que não foi observado para os triglicerídeos.

A porcentagem de lipídeo no músculo foi mais elevada ( $P<0,05$ ) nos peixes alimentados com a dieta contendo casca de soja em relação às dietas contendo farelo de soja e 30% de polpa cítrica. Aumento da concentração de lipídeo no músculo pode ser causado pela deficiência de proteína e desequilíbrio de aminoácidos na dieta. Quando ocorre deficiência de algum aminoácido essencial, os nutrientes disponíveis no músculo não podem ser utilizados na síntese protéica, e são reaproveitados como fonte de energia e armazenados sob a forma de gordura (Nelson e Cox, 2006).

Nos peixes alimentados com a dieta contendo casca de soja houve prejuízo no desempenho e não houve aumento na porcentagem de extrato etéreo na carcaça, portanto o aumento do lipídeo muscular não pode ser atribuído a um aumento na gordura de reserva, que normalmente é depositada nas vísceras. Contudo o aumento do lipídeo no músculo dos peixes alimentados com as dietas contendo casca de soja pode ser relacionado com a diminuição da proteína sanguínea, sugerindo que realmente houve prejuízo na síntese protéica neste tecido.

Embora não tenha afetado o desempenho de juvenis de jundiá, a inclusão de casca de soja na dieta também aumentou a porcentagem de lipídeo no filé quando comparada com o farelo de algodão (Pedron et al., 2008), mostrando que nesta outra espécie, também houve

alterações metabólicas semelhantes às observadas para os juvenis de pacu no presente estudo.

### 3.5.4. Índices organométricos

Na Tabela 5 estão apresentados os resultados dos índices organométricos dos juvenis de pacu alimentados com diferentes fontes de fibra nas dietas. O índice hepatossomático não variou ( $P>0,05$ ) entre os peixes dos tratamentos. Nas avaliações bioquímicas teciduais, observou-se que a porcentagem de lipídeo no fígado também não foi alterada. O fígado tem acesso primário e direto aos nutrientes (Nelson e Cox, 2006), mas não foram observadas alterações neste órgão que indicassem problemas no aproveitamento inicial dos nutrientes.

Tabela 5. Índices organométricos de juvenis de pacu alimentados durante 84 dias com dietas contendo diferentes fontes de fibra.

| (%)  | Farelo de soja          | Casca de soja           | Farelo de Girassol     | Polpa 30%               | Polpa 45%              | CV%    |
|------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|--------|
| IHS  | 1,13±0,12               | 1,12±0,16               | 1,16±0,13              | 0,98±0,16               | 1,04±0,17              | 7,62   |
| IGVS | 1,42±0,35 <sup>ab</sup> | 1,51±0,48 <sup>ab</sup> | 1,54±0,25 <sup>a</sup> | 1,35±0,43 <sup>ab</sup> | 1,22±0,54 <sup>b</sup> | 16,33* |
| IE   | 0,78±0,16               | 0,89±0,24               | 0,72±0,18              | 0,80±0,16               | 0,86±0,24              | 12,77  |
| IIS  | 1,27±0,29               | 1,41±0,47               | 1,34±0,36              | 1,34±0,33               | 1,46±0,53              | 15,31* |

IHS – índice hepatossomático; IGVS – índice gorduro-viscerossomático; IES – índice estomagossomático; IIS – índice intestinosomático.

Médias seguidas de letras iguais na horizontal não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P<0,05$ ).

\*Médias seguidas de letras iguais na horizontal não diferem entre si pelo teste de Duncan ( $P<0,05$ ).

O índice gorduro-viscerossomático foi menor ( $P<0,05$ ) nos animais recebendo a dieta contendo 45% de polpa cítrica, em relação aos da dieta contendo farelo de girassol. A gordura visceral é a principal reserva de energia dos peixes e este resultado reforça o que

foi observado anteriormente com relação ao desempenho e à composição corporal. Os peixes submetidos a este tratamento ingeriram menor quantidade de ração, ganharam menos peso e apresentaram porcentagem mais baixa de extrato etéreo na carcaça.

A ingestão de dietas ricas em fibra, tanto solúvel quanto insolúvel, pode aumentar a produção de fezes nos peixes (Amirkolaie et al., 2005), possivelmente provocando mudanças nas características anatômicas intestinais. No presente estudo, as diferentes fontes de fibra provocaram alterações fisiológicas e metabólicas nos juvenis, mas não chegaram a afetar o tamanho dos órgãos do sistema digestório. Para os índices estomagossomático e intestinosomático não foram observadas diferenças ( $P>0,05$ ) entre os peixes dos diferentes tratamentos.

### 3.5.5. Avaliações morfométricas intestinais

O epitélio da mucosa intestinal do duodeno é composto por uma camada simples de células, formando dobras suaves, as vilosidades intestinais (Hibiya, 1982). A altura e a espessura das vilosidades intestinais, assim como a profundidade de cripta não variaram ( $P>0,05$ ) entre os peixes alimentados com diferentes ingredientes fibrosos (Tabela 6).

Tabela 6 Dados de morfometria intestinal dos juvenis de pacu no final do experimento.

|  | Farelo de soja                | Casca de soja                 | Farelo de Girassol            | Polpa 30%                     | Polpa 45%                    | CV%   |
|--|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------|
| Altura vil. ( $\mu\text{m}$ )            | 531,0 $\pm$ 63,7              | 463,4 $\pm$ 33,3              | 537,8 $\pm$ 60,8              | 429,2 $\pm$ 37,2              | 514,1 $\pm$ 49,0             | 10,1  |
| Espessura vil. ( $\mu\text{m}$ )         | 52,54 $\pm$ 5,12              | 50,72 $\pm$ 5,62              | 51,10 $\pm$ 2,75              | 50,61 $\pm$ 4,03              | 50,53 $\pm$ 3,19             | 8,8   |
| Profundidade de cripta ( $\mu\text{m}$ ) | 36,00 $\pm$ 3,80              | 34,47 $\pm$ 3,61              | 34,61 $\pm$ 1,86              | 34,76 $\pm$ 1,31              | 33,21 $\pm$ 3,89             | 8,9   |
| Vil./ área (1.712, 14 $\mu\text{m}^2$ )  | 9,50 $\pm$ 1,93 <sup>ab</sup> | 8,80 $\pm$ 1,35 <sup>ab</sup> | 10,10 $\pm$ 0,96 <sup>a</sup> | 8,50 $\pm$ 0,93 <sup>ab</sup> | 8,00 $\pm$ 0,93 <sup>b</sup> | 14,3* |

Médias seguidas de letras iguais na horizontal não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P<0,05$ ).

\*Médias seguidas de letras iguais na horizontal não diferem entre si pelo teste de Duncan ( $P<0,05$ ).

Por outro lado, a densidade de vilosidades por área no intestino foi menor ( $P < 0,05$ ) nos juvenis de pacu alimentados com a dieta contendo 45% de polpa cítrica em relação aos alimentados com a dieta contendo farelo de girassol. A utilização de diferentes fontes de fibra alimentar solúvel normalmente aparece associada a danos no epitélio e diminuição das vilosidades intestinais em outros animais monogástricos (Montagne et al., 2003).

A diminuição na densidade de vilosidades por área pode implicar em menor superfície de absorção, possivelmente prejudicando a absorção de nutrientes (Montagne et al., 2003). Ao acelerar o tempo de trânsito gastrointestinal (Capítulo 2), a dieta contendo 45% de polpa cítrica pode ter provocado danos na estrutura do epitélio intestinal. Este resultado confirma que o efeito deletério sobre o desempenho não foi provocado somente pelo sabor amargo da polpa cítrica (Albach et al, 1981; Drewnowski e Gómez-Carneiros, 2000), e realmente houveram alterações fisiológicas e metabólicas provocadas pelo excesso de fibra alimentar solúvel na dieta

A casca de soja e a polpa cítrica prejudicaram o desempenho dos juvenis de pacu. Entretanto, somente a dieta contendo 45% de polpa cítrica provocou alterações no epitélio intestinal. Os resultados de composição corporal e dos parâmetros bioquímicos teciduais também mostraram que houve diferenças entre os peixes alimentados com polpa cítrica em relação aos alimentados com casca de soja. Além disso, está demonstrado (Capítulo 2) que estes ingredientes modificam de forma diferente o tempo de trânsito gastrointestinal e digestibilidade de nutrientes de juvenis de pacu.

Estes resultados comprovam que, devido às diferenças que existem na composição de carboidratos complexos e fibras alimentares solúveis e insolúveis, cada ingrediente fibroso afeta de forma particular a fisiologia, o metabolismo e o funcionamento do sistema digestório.

### 3.6. CONCLUSÃO

A partir dos resultados do presente estudo pode-se concluir que, devido a composição de fibras alimentares e carboidratos complexos, cada ingrediente fibroso altera de forma particular a fisiologia, o metabolismo e o funcionamento do sistema digestório dos juvenis de pacu, com conseqüências diretas sobre o desempenho e as características do epitélio intestinal.

O farelo de soja e o farelo de girassol podem ser utilizados na alimentação de juvenis de pacu. A casca de soja e a polpa cítrica prejudicaram o desempenho e os resultados mostraram que houve alterações fisiológicas e metabólicas nos peixes alimentados com estes dois ingredientes, possivelmente relacionadas com a composição de nutrientes. A casca de soja é rica em carboidratos complexos indigestíveis e a polpa cítrica contém níveis elevados de fibra solúvel.

### 3.7. REFERÊNCIAS

- ABIMORAD, E. G.; CARNEIRO, D. J. Métodos de coleta de fezes e determinação dos coeficientes de digestibilidade da fração protéica e da energia de alimentos para o pacu (*Piaractus mesopotamicus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, p. 1101-1109, 2004.
- ABIMORAD, E. G.; CARNEIRO D. J.; URBINATI, E. C. Growth and metabolism of pacu (*Piaractus mesopotamicus*) juveniles fed diets containing different protein, lipid and carbohydrate levels. **Aquaculture Research**, v. 38, p. 36-44, 2007.
- ALBACH, R. F.; REDMAN, G. H.; CRUSE, R. R.; PETERSEN, H. D. Seasonal variation of bitterness components, pulp, and vitamin C in Texas commercial citrus juices. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.29, p. 805-808, 1981.

- AMIRKOLAIE, K.A.; LEENHOUWERS, J.I.; VERRETH, J.A.J.; SCHRAMA, J.W. Type of dietary fibre (soluble versus insoluble) influences digestion, faeces characteristics and faecal waste production in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture Research**, v. 36, p. 1157-1166, 2005.
- BIJLANI, R. L. Dietary fiber: consensus and controversy. **Progress in Food and Nutrition Science**, v. 9, p. 343-393, 1985.
- BLIGHT, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total extraction and purification of lipids. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, v. 37, p. 911-917, 1957.
- BEHMER, O. H.; TOLOSA, E. M. C.; FREITAS NETO, A. G. **Manual de técnicas para histologia normal e patológica**. Barueri-SP: Manole, 2003, 256 p.
- CUMMINGS, J. H.; EDMOND, L. M.; MAGEE, E. A. Dietary carbohydrates and health: do we still need the fiber concept? **Clinical Nutrition supplements**, v.1, p.5-17, 2004.
- DIEMAIR, W. **Laboratoriumsbuch für Lebensmittelchemiker**. 8 aufl. Dresden: Verlag Von Theodor Steinkopff, 1963.
- DREWNOWSKI, A.; GOMEZ-CARNEIRO, C. Bitter taste, phytonutrients, and consumer: a review. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 72, p. 1424-1435, 2000.
- EASTWOOD, M. A. Dietary fiber: an update. **Annual Review of Nutrition**, v. 12, p. 19-35, 1992.
- FABREGAT, T. E. H. P.; FERNANDES, J. B. K.; RODRIGUEZ, L. A.; BORGES, F. F.; PEREIRA, T. S.; NASCIMENTO, T. M. T. Digestibilidade aparente da energia e da proteína de ingredientes selecionados para juvenis de pacu *Piaractus mesopotamicus*. **Revista Acadêmica de Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 6, p. 459-464, 2008
- FERNANDES, J. B. K.; CARNEIRO, D. J.; SAKOMURA, N. K. Fontes e níveis de proteína bruta em dietas para juvenis de pacu (*Piaractus mesopotamicus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 617-626, 2001.
- GNANASAMBANDAM, R.; PROCTOR, A. Preparation of soy hull pectin. **Food Chemistry**, v. 65, p. 461-467, 1999.
- HEGEDUS, M.; FEKETE, S. Nutricional and animal health aspects of the substitution of soybean meal with sunflower meal. **Magyar-Allatorvosok**, v. 49, p. 597-604, 1994.
- HIBIYA, T. (Ed.) **An Atlas of Fish Histology Normal and Pathological Features**. 1 ed. Tokyo: Kodansha, 1982. p. 147.
- HORWITZ, W. (Ed.) **Official methods of analysis of AOAC Internacional**. 16 ed. Maryland: Gaithersburg, 1997. p.1298.

- KNUDSEN, K. E. The nutritional significance of “dietary fibre” analysis. **Animal Feed Science and Technology**, v. 90, p. 3-20, 2001.
- KRITCHEVSKY, D. Dietary fiber. **Annual Reviews of Nutrition**, v. 8, p. 303-328, 1988.
- LEENHOUWERS, J. I.; ADJEI-BOATENG, D.; VERRETH, J. A. J.; SCHRAMA, J. W. Digesta viscosity, nutrient digestibility and organ weights in African catfish (*Clarias gariepinus*) fed diets supplemented with different levels of a soluble non-starch polysaccharide. **Aquaculture Nutrition**, v.12, p.111-116, 2006.
- MADAR, Z.; THORNE, R. Dietary fiber. **Progress en Food and Nutrition**, v. 11, p. 153-174, 1987
- MONTAGNE, L.; PLUSKE, J. R.; HAMPSON, D. J. A review of interactions between dietary fibre and intestinal mucosa, and their consequences on digestive health in young no-ruminant animals. **Animal Feed Science and Technology**, v.108, p. 95-117, 2003.
- NELSON, D. L.; COX, M. M. **Lehninger - Princípios de Bioquímica**. 4 ed. São Paulo: Sarvier, 2006, p. 1202.
- PEDRON, F. A.; NETO, J. R.; EMANUELLI, T.; SILVA, L. P.; LAZZARI, R.; CORREIA, V.; BERGAMIN, G. T.; VEIVERBERG, C. A. Cultivo de jundiás alimentados com dietas com casca de soja ou de algodão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, p. 93-98, 2008.
- PROSCKY, L.; ASP, N. G.; FURDA, I; DEVRIES, J. W.; SCHWEIZER, T. F.; HARLAND, B. F. Determination of total dietary fiber in foods, food products and total diets: Interlaboratorial Study. **Journal of the Association of Official Analytical Chemists**, v. 67, p. 1044-1052, 1984.
- REFSTIE, S.; SVIHUS, B.; SHEARER, K. D.; STOREBAKKEN, T. Nutrient digestibility in salmon and broiler chickens related to viscosity and non-starch polysaccharide content in different soyabean products. **Animal Feed Science and Technology**, v. 79, p. 331-345, 1999.
- RODRIGUES, L. A. **Digestibilidade, desempenho produtivo e parâmetros metabólicos de juvenis de pacu *Piaractus mesopotamicus* submetidos a níveis crescentes de fibra bruta**. 2008. 66 p. Tese (Doutorado em Aqüicultura), Centro de Aqüicultura, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.
- ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; DONZELE, J.L. et al. **Composição de alimentos e exigências nutricionais**; (Tabelas Brasileiras). Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2005. 186p.
- SCHNEEMAN, B. O. Dietary fiber and gastrointestinal function. **Nutrition Research**, v. 18, p.625-632, 1998.

- SENKYOKU, N.; DALE, N. Sunflower meal in poultry diets. **World's Poultry Science Journal**, v. 56, p. 153-171, 1999.
- SINTAYEHU, A.; MATHIES, E.; MEYER-BURGDORFF, K. H.; ROSENOW, H.; GÜNTER, K. D. Apparent digestibilities and growth experiments with tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed soybean meal, cottonseed meal and sunflower seed meal. **Journal of Applied Ichthyology**, v.12, p.125-130, 1996.
- URBINATI, E. C.; GONÇALVES, F. D. Pacu (*Piaractus mesopotamicus*). BALDISSEROTTO, B. In: BALDISSEROTTO, B.; GOMES, L. C. (Ed.) **Espécies nativas para piscicultura no Brasil**. 1 ed. Santa Maria: Editora da UFSM, 2005. p. 225-256.
- WENK, C. The role of fibre in digestive physiology of the pig. **Animal Feed Science and Technology**, v. 90, p. 21-33, 2001.

## **CAPITULO 4**

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS E IMPLICAÇÕES**

As fontes de fibra utilizadas no presente estudo proporcionaram diferentes modificações fisiológicas e metabólicas, alterando o aproveitamento de nutrientes e o desempenho. A partir dos resultados obtidos é possível concluir que o conceito de fibra bruta realmente está obsoleto. Fica evidente a importância do adequado balanceamento das fibras alimentares (solúvel e insolúvel) na formulação de rações para peixes.

Também não se pode desconsiderar os efeitos sinérgicos e a interação que existe entre os nutrientes dos ingredientes. É importante destacar que cada ingrediente possui um balanço único de nutrientes e existe a necessidade de estudos sobre a utilização dos diferentes ingredientes que podem ser fornecidos na alimentação do pacu, de forma a conhecer melhor os seus efeitos sobre o organismo.