



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE AQUICULTURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AQUICULTURA

Utilização de fontes vegetais com diferentes níveis de fibra alimentar pelo jundiá (*Rhamdia quelen*) e tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*)

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Aqüicultura da Universidade Federal de Santa Catarina, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Aqüicultura.

Orientadora: Débora Machado Fracalossi
Co-orientador: Eduardo Cargnin Ferreira

Ana Paula Oeda Rodrigues

Florianópolis - SC
2010

FICHA CATALOGRÁFICA

Rodrigues, Ana Paula Oeda

Utilização de fontes vegetais com diferentes níveis de fibra alimentar pelo jundiá (*Rhamdia quelen*) e tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) [dissertação] / Ana Paula Oeda Rodrigues. - 2010.

65 f.: 7 fig., 8 tabs.

Orientadora: Débora Machado Fracalossi

Co-orientador: Eduardo Carginin-Ferreira

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Aqüicultura.

1. *Rhamdia quelen*; 2. *Oreochromis niloticus*; 3. Digestibilidade; 4. Desempenho zootécnico; 5. Fisiologia intestinal; 6. Polissacarídeos não amiláceos.

Utilização de fontes vegetais com diferentes níveis de fibra alimentar pelo jundiá (*Rhamdia quelen*) e tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*).

Por

ANA PAULA OEDA RODRIGUES

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de

MESTRE EM AQUICULTURA

e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Aqüicultura.

Prof. Cláudio Manoel Rodrigues de Melo, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Dra. Débora Machado Fracalossi – *Orientadora*

Dra. Alicia de Francisco

Dra. Elisabeth Criscuolo Urbinati

*Aos meus queridos pais,
Mary e Rodrigues, e ao meu irmão
Murilo, pelo amor e apoio
incondicionais, DEDICO*

AGRADECIMENTOS

À Professora Débora Machado Fracalossi pela preciosa e incansável orientação;

Ao Dr. Eduardo Cargnin Ferreira pela co-orientação e grande amizade;

À grande amiga e Professora Maria do Carmo Gominho Rosa pela co-autoria neste trabalho e enorme coração;

Ao companheiro Pedro por todo amor e paciência;

Aos Professores Raul Machado Neto e José Eurico Possebon Cyrino, ESALQ, Universidade de São Paulo, pelos ensinamentos fundamentais;

Aos queridos amigos e colegas que me ajudaram de forma muito especial nesta trajetória: Dariane Schoffen, Fanny Yasumaru, Fabíola Pedrotti, Fernando Henrique Cornélio, Gisele Speck, Jenniffer Silveira, Jhon Jimenez, Maude Borba, Neiva Braun, Nélia Paul, Renato Kitagima, Rodrigo Vargas, Ronaldo Lima e Vitor Giatti;

Aos demais colegas e funcionários do Laboratório de Biologia e Cultivo de Peixes de Água Doce (LAPAD), Departamento de Aquicultura;

Ao casal Rúbia e Joel Pires e família pela hospitalidade e todo o respeito;

Ao Carlito Klunk pela ajuda e profissionalismo;

À Professora Alicia de Francisco e à doutoranda Sabrina Carvalho, Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos (UFSC) pelo auxílio nas análises de fibra alimentar;

Ao Professor Francisco Tanaka e equipe do Núcleo de Apoio à Pesquisa em Microscopia Eletrônica Aplicada à Agricultura (NAP/MEPA-ESALQ/USP) pelo auxílio nas análises histomorfométricas;

Aos Professores Pedro Barreto, Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos (UFSC) e Alfredo Tibúrcio, Departamento de Química (UFSC), pelo auxílio nas análises de refração;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado.

RESUMO

A digestibilidade dos nutrientes e energia, desempenho e histomorfologia intestinal foram avaliados em juvenis de jundiá e tilápia-do-Nilo - espécies de peixe onívoras com distinta morfologia intestinal - quando alimentados com fontes vegetais contendo diferentes níveis de fibra alimentar. As fontes fibrosas polpa cítrica (PC), farelo de trigo (FT) e casca de soja (CS) foram menos digestíveis em relação às fontes amiláceas quirera de arroz (QA) e milho moído (MM) e a digestibilidade daquelas não diferiu entre as espécies. O jundiá demonstrou menor habilidade em digerir as fontes amiláceas e em utilizar a proteína das fontes vegetais. O desempenho da tilápia correspondeu à digestibilidade das fontes vegetais, enquanto não foi observada diferença para o jundiá, provavelmente devido ao seu crescimento relativamente mais brando. O índice de sólidos solúveis no quimo intestinal foi menor para os peixes alimentados com PC para ambas as espécies, mas mais acentuado para o jundiá, sugerindo que a presença de fibra solúvel ocasionou maior diluição de nutrientes solúveis no intestino. Efeito na morfologia intestinal foi encontrado apenas para a espessura da camada muscular no intestino distal do jundiá, que foi maior para o grupo PC. Isto possivelmente indica uma adaptação das camadas musculares para propulsar o grande volume de digesta viscosa ao longo do intestino e, conseqüentemente, certa capacidade adaptativa à dieta, sugerindo ao jundiá um hábito alimentar onívoro com tendência à carnivoría.

Palavras-chave: digestibilidade, histomorfometria, onivoria, polissacarídeos não amiláceos, quimo intestinal, subprodutos vegetais.

ABSTRACT

The inclusion of plant ingredients containing different levels of dietary fiber - broken rice (BR), ground corn (GC), wheat bran (WB), citrus pulp (CP) and soybean hulls (SH) were evaluated for the omnivores jundiá catfish and Nile tilapia. Fibrous sources - CP, WB, and SH - were less digestible than the starchy ones - BR and GC. The digestibility of fibrous sources was similar between species. Jundiá presented less ability to digest starchy plant sources and to utilize the protein from plant sources than tilapia. Growth of tilapia followed plant sources digestibility but no significant differences were detected for jundiá, probably due to its slower growth rate. Soluble solids contents in intestinal chyme were lower for fish fed CP in both species, especially for jundiá, suggesting that CP soluble fiber content promoted a dilution of soluble nutrients in the gut. Muscle layer was thicker in the distal intestine of jundiá fed CP diet. This possibly indicates an adaptation of muscle layers to propel the large volume of viscous digesta along the intestine, and, consequently, some adaptive capacity to diet, suggesting for jundiá an omnivorous feeding habit with a tendency to carnivorous one.

Keywords: digestibility, histomorphometry, omnivory, non-starch polysaccharides, intestinal chyme, plant by-products.

LISTA DE FIGURAS

INTRODUÇÃO

Figura 1 Principais propriedades fisiológicas da fibra alimentar solúvel e insolúvel..... 25

UTILIZAÇÃO DE FONTES VEGETAIS COM DIFERENTES NÍVEIS DE FIBRA ALIMENTAR PELO JUNDIÁ (*Rhamdia quelen*) E TILÁPIA-DO-NILO (*Oreochromis niloticus*)

Figura 1 Imagem representativa das variáveis histomorfométricas mensuradas: altura de pregas (A) e espessura da camada muscular (B) no intestino distal de exemplar de jundiá alimentado com quirera de arroz (x 100) 37

Figura 2 Desempenho de juvenis de tilápia e jundiá alimentados com dietas contendo 200 g kg⁻¹ de fontes vegetais. 42

Figura 3 Índice de sólidos solúveis do quimo intestinal de tilápia e jundiá alimentados com dietas contendo 200 g kg⁻¹ de fontes vegetais 44

ANEXO

Figura 1 Ensaio de desempenho e fisiologia intestinal.. 64

Figura 2 Exemplares utilizados no ensaio de digestibilidade..... 64

Figura 2 Ensaio de digestibilidade... 65

LISTA DE TABELAS

INTRODUÇÃO

Tabela 1 Composição em carboidratos e lignina de alguns ingredientes vegetais (base seca)18

Tabela 2 Componentes estruturais da parede celular vegetal.....20

UTILIZAÇÃO DE FONTES VEGETAIS COM DIFERENTES NÍVEIS DE FIBRA ALIMENTAR PELO JUNDIÁ (*Rhamdia quelen*) E TILÁPIA-DO-NILO (*Oreochromis niloticus*)

Tabela 1 Formulação e composição proximal da dieta referência34

Tabela 2 Composição proximal das fontes vegetais testadas (base seca)39

Tabela 3 Composição proximal das dietas experimentais do ensaio II (base seca).....39

Tabela 4 Coeficientes de digestibilidade aparente (CDA) de fontes vegetais para tilápia e jundiá (média \pm desvio padrão)41

Tabela 5 Composição corporal e índice hepatossomático de juvenis de tilápia e jundiá alimentados com dietas contendo diferentes fontes vegetais (média \pm desvio padrão).....43

Tabela 6 Coeficiente intestinal e espessura da camada muscular (ECM) e altura das pregas (HP) do intestino proximal e distal de juvenis de tilápia e jundiá, alimentados com dietas contendo diferentes fontes vegetais (média \pm desvio padrão).45

LISTA DE ABREVIATURAS

AACC: American Association of Cereal Chemists
AGCC: ácidos graxos de cadeia curta
AOAC: Association of Official Analytical Chemists
CAPES: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CNPq: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CDA: coeficiente de digestibilidade aparente
CS: casca de soja
ECM: espessura da camada muscular
ESALQ: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”
FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations
FT: farelo de trigo
GP: ganho em peso
HP: altura de pregas
IHS: índice hepatossomático
 K^{+1} : íon potássio
LAPAD: Laboratório de Biologia e Cultivo de Peixes de Água Doce
MM: milho moído
 Na^{+1} : íon sódio
NAP/MEPA: Núcleo de Apoio à Pesquisa em Microscopia Eletrônica Aplicada à Agricultura
NRC: National Research Council
NS: não significativo
NSP: polissacarídeo não amiláceo
P: probabilidade
PC: polpa cítrica
pH: potencial hidrogeniônico
QA: quirera de arroz
 R^2 : coeficiente de determinação
RNA: ácido ribonucléico
TCE: taxa de crescimento específico
UFSC: Universidade Federal de Santa Catarina
USP: Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	17
Carboidratos vegetais e a fibra alimentar	19
Efeitos fisiológicos da fibra alimentar em animais	22
Fibra alimentar na nutrição de peixes	24
O jundiá.....	27
A tilápia-do-Nilo.	27
Justificativa	28
Objetivo geral.....	29
Objetivos específicos	29
UTILIZAÇÃO DE FONTES VEGETAIS COM DIFERENTES NÍVEIS DE FIBRA ALIMENTAR PELO JUNDIÁ (<i>Rhamdia quelen</i>) E TILÁPIA-DO-NILO (<i>Oreochromis niloticus</i>).....	30
1. Introdução	31
2. Materiais e métodos	33
2.1. <i>Ensaio I</i>	33
2.2. <i>Ensaio II</i>	35
2.2.1. Índices de desempenho e composição corporal.....	36
2.2.2. Índices de sólidos solúveis no quimo intestinal.....	36
2.2.3. Morfologia intestinal e índice hepatossomático	36
2.3. <i>Análises químicas</i>	37
2.4. <i>Análise estatística</i>	38
3. Resultados	38
3.1. <i>Ensaio I</i>	38
3.2. <i>Ensaio II</i>	40
4. Discussão	44
5. Agradecimentos.....	48
6. Referências.....	48
CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DA INTRODUÇÃO	54
ANEXO.....	64

INTRODUÇÃO

A aqüicultura é a atividade zootécnica de maior crescimento mundial, cuja produção, pela primeira vez, fornece aproximadamente metade do peixe para consumo humano global (FAO, 2008). Em contrapartida à expansão aquícola, a produção de farinha e óleo de peixe - ingredientes empregados como fontes de proteína, energia e ácidos graxos essenciais na alimentação de organismos aquáticos - se mantém estável, o que somado à inviabilidade econômica decorrente da alta demanda, ameaça o desenvolvimento da atividade (FAO, 2008; TACON; METIAN, 2008; NAYLOR et al., 2009). Assim sendo, a redução ou mesmo substituição da farinha e óleo de peixe na alimentação de organismos aquáticos por ingredientes alternativos é vital para o crescimento sustentável da aqüicultura (FAO, 2008; NAYLOR et al., 2009).

Os ingredientes de origem vegetal apresentam grande potencial de utilização em dietas para peixes visto que sua produção e aceitação pelo mercado consumidor são extremamente altas em comparação aos ingredientes de origem animal (STONE, 2003; NAYLOR et al. 2009). Entretanto, tais insumos apresentam quantidades variadas de fatores antinutricionais, além de amido e fibras (Tabela 1) que são distintamente aproveitados entre as espécies de peixes (STONE, 2003; KROGDAHL et al., 2005; GATLIN III et al., 2007; KROGDAHL et al., 2010).

Embora nenhuma exigência em carboidratos tenha sido demonstrada em peixes, sua ausência na dieta leva ao catabolismo de proteínas e lipídios para a síntese de energia (NRC, 1993; WILSON, 1994). Dessa forma, a inclusão adequada de carboidrato na dieta pode reduzir os custos de produção devido a sua alta disponibilidade e efeito poupador de proteína, o qual, ainda, previne a emissão de compostos nitrogenados na água (NRC, 1993; WILSON, 1994; STONE et al., 2003; WU et al., 2007). Entretanto, nem todos os carboidratos são bem aproveitados pelos peixes. Tais carboidratos compõem predominantemente a fibra alimentar, cujo conhecimento sobre os efeitos na nutrição e fisiologia digestiva em peixes ainda é relativamente escasso quando comparado ao existente em animais domésticos terrestres. A fibra alimentar está presente, ainda que em proporções variáveis, nos ingredientes vegetais (Tabela 1). Adicionalmente, pode ser acrescentada às dietas como aglutinante ou preenchimento, o que enfatiza a necessidade de estudos sobre seu efeito na nutrição de peixes.

Tabela 1. Composição de carboidratos e lignina de alguns ingredientes vegetais (base seca).

Fração (%)	Grãos inteiros		Subprodutos vegetais		Concentrados protéicos	
	Milho	Trigo	Protenose de milho	Farelo de trigo	Concentrado protéico de soja	Farelo de canola
Fibra bruta ¹	1,99	2,70	8,67	10,98	2,94	11,80
Fibra em detergente neutro ¹	13,49	13,97	40,57	46,13	11,75	27,65
Fibra em detergente ácido ¹	4,06	3,63	12,40	15,74	7,35	2,32
Fibra alimentar ^{2,3}	10,8	13,8	38,3	44,9	18,5	35,4
NSPs ⁴ solúveis ²	0,9	2,5	3,4	2,9	8,1	5,5
NSPs insolúveis ²	8,8	9,4	31,7	34,5	9,7	17,5
Lignina ²	1,1	1,9	3,2	7,5	0,8	13,4
Açúcares totais ²	2,0	1,9	4,1	5,3	2,1	8,2
Amido ²	69,0	65,1	28,2	22,2	6,9	1,8

¹ Rostagno et al. (2005).² Bach Knudsen (1997).³ Método enzimático-químico.⁴ NSPs: polissacarídeos não amiláceos.

Carboidratos vegetais e a fibra alimentar

Os carboidratos vegetais são classificados geralmente em duas categorias: polissacarídeos de reserva (amido) e polissacarídeos estruturais (polissacarídeos não amiláceos) (VOET; VOET, 2006). O amido constitui a principal reserva de energia dos vegetais, sendo armazenado no citoplasma celular na forma de grânulos densos, quase cristalinos e insolúveis em água (FRENCH, 1984). É composto por duas macromoléculas: a amilose e a amilopectina, que são, respectivamente, polímeros lineares e ramificados de glicose com ligações α -glucosídicas (FRENCH, 1984; VOET; VOET, 2006).

Os carboidratos estruturais são os principais componentes da fibra alimentar e serão detalhadamente caracterizados a seguir, partindo-se da definição de fibra alimentar.

O conceito de fibra alimentar evoluiu ao longo da história em função do surgimento de metodologias analíticas mais apropriadas e dos conhecimentos adquiridos acerca de seus efeitos fisiológicos na nutrição humana (DE VRIES et al., 1999; CHAMP et al., 2003). Atualmente, a definição de fibra alimentar engloba aspectos fisiológicos e químicos, consistindo nas partes comestíveis dos vegetais ou carboidratos análogos que são resistentes à hidrólise enzimática intestinal com completa ou parcial fermentação microbiana no intestino grosso. Compreende polissacarídeos, oligossacarídeos, lignina e substâncias vegetais associadas (AACC, 2001). Dentro deste conceito, o amido resistente e os oligossacarídeos se enquadram como fibras. Entretanto, suas propriedades como tal são relativamente limitadas e muitas vezes desconsideráveis (CUMMINGS et al., 2004).

A fibra alimentar deriva predominantemente da parede celular vegetal, a qual é composta basicamente por celulose, polissacarídeos não celulósicos (hemiceluloses e pectinas), proteínas estruturais e lignina (Tabela 2) (McDOUGALL et al. 1996; BACH KNUDSEN, 2001; TAIZ; ZEIGER, 2004). A composição da parede celular varia em função da espécie, tipo de tecido e idade da planta, os quais determinarão seu comportamento como fibra alimentar (BACH KNUDSEN, 2001).

Os polissacarídeos da parede celular constituem um grupo distinto de carboidratos que não contêm as ligações α -glucosídicas presentes no amido, o que explica as diferenças em sua digestibilidade (STONE, 2003) e a consagrada denominação de polissacarídeos não amiláceos (NSPs, do inglês, *non-starch polysaccharides*) (ENGLYST et al., 1987; CUMMINGS et al., 2004). A ampla variabilidade estrutural

Tabela 2. Componentes estruturais da parede celular vegetal.

Componentes	Constituição química	Função
Microfibrilas de celulose	β 1,4 D-glucano	Conferem rigidez e estruturação à parede celular
Matriz de polissacarídeos		
Pectinas	Homogalacturonano Ramnogalacturonano Arabinano Galactano	Formam uma matriz geleificada extremamente hidratada que envolve as redes de celulose e hemicelulose
Hemiceluloses	Xiloglucano Xilano Glucomanano Arabinoxilano β 1,3-1,4 glucano	Polissacarídeos flexíveis que se ligam à celulose
Lignina	Fenil-propano	Liga-se covalentemente à celulose e outros polissacarídeos. Confere suporte mecânico, proteção e impermeabilidade à parede celular
Proteínas estruturais	Glicoproteínas ricas em hidroxiprolina. Proteínas ricas em prolina. Proteínas ricas em glicina.	Adicionam rigidez à parede celular

Adaptado de Taiz; Zeiger (2004).

desses polissacarídeos também influencia a funcionalidade da fibra alimentar e para o conhecimento das relações dos componentes da parede celular e seus efeitos fisiológicos, torna-se imprescindível a análise química da parede celular, ou seja, da fração fibra alimentar (McDOUGALL et al., 1996).

Uma das dificuldades na determinação da fibra alimentar é que esta não é constituída por um único grupo químico definido, mas sim por uma combinação de substâncias quimicamente heterogêneas (GÕNI et al., 2009). O método da fibra bruta é o mais antigo e comumente utilizado em nutrição animal. Este método mensura uma pequena e variável fração da fibra, uma vez que solubiliza muitos polissacarídeos estruturais e a lignina (BACH KNUDSEN, 2001). Inicialmente aplicado na nutrição de ruminantes, o método das fibras em detergentes de Van Soest (1967) tem sido utilizado na nutrição de frangos e suínos em alternativa à metodologia de fibra bruta, visto que proporciona resultados relativamente mais satisfatórios para rações animais (BACH KNUDSEN, 2001). Tal método determina uma fração da fibra que é insolúvel em detergente neutro (celulose, hemicelulose e lignina) e outra, insolúvel em detergente ácido (celulose e lignina). No entanto, há perda dos NSPs solúveis em água, bem como contaminação da fibra em detergente neutro com amido e proteínas (BACH KNUDSEN, 2001). Atualmente, duas abordagens metodológicas são adotadas na nutrição humana e, gradativamente, na nutrição de frangos, suínos e peixes: os métodos enzimático-gravimétricos e enzimático-químicos. Estes métodos, resumidamente, isolam a fibra mediante tratamento enzimático do amido, quantificando-a por pesagem ou cromatografia gás-líquido e colorimetria, respectivamente (ENGYLST; CUMMINGS, 1988; THEANDER et al., 1995; AOAC, 1999). São os métodos que melhor se aproximam do atual conceito de fibra alimentar, permitindo distinguir as frações solúveis e insolúveis da fibra, cujos efeitos fisiológicos são bastante distintos (CHAMP et al., 2003; McCLEARY, 2003). Na Tabela 1, observa-se a discrepância de resultados entre as diferentes metodologias de análise da fibra alimentar.

Além da composição da parede celular, as propriedades físico-químicas peculiares à fibra, em especial, a higroscopicidade, capacidade de troca catiônica, viscosidade e absorção de compostos orgânicos, também influenciam suas propriedades fisiológicas (BACH KNUDSEN, 2001).

Efeitos fisiológicos da fibra alimentar em animais

Fisiologicamente, a fibra alimentar é classificada de acordo com sua solubilidade em água em fibra insolúvel – lignina, celulose e as diversas hemiceluloses – e solúvel – pectinas, gomas e mucilagens (KROGDAHL et al., 2005). As fibras alimentares, tanto solúveis quanto insolúveis, afetam a função intestinal e digestão de nutrientes, sendo o maior potencial antinutricional atribuído às fibras solúveis (CHOCT, 1997; IJI, 1999; HETLAND et al., 2004). Para suínos e frangos, em geral, as fibras insolúveis tendem a aumentar a velocidade do trânsito gastrointestinal, o que pode reduzir o tempo de digestão do nutriente e, conseqüentemente, sua utilização (HETLAND et al., 2004; KROGDAHL et al., 2005). Já as fibras solúveis, tendem a retardar o trânsito gastrointestinal devido às suas propriedades geleificantes e adsorventes que dificultam o contato enzima-substrato e, por conseqüência, a absorção de nutrientes no intestino (IJI, 1999; KROGDAHL et al., 2005).

Ikegami et al. (1990) verificaram aumento na massa dos órgãos gastrintestinais, bem como maior volume de suco pancreático-biliar e secreção de ácidos biliares em ratos alimentados com fibra solúvel em relação àqueles que receberam fibra insolúvel ou dieta ausente em fibra. Embora ambos os tipos de fibra tenham reduzido a digestibilidade da proteína, apenas a fibra solúvel proporcionou decréscimo na digestibilidade de lipídios. Segundo os autores, o aumento na viscosidade intestinal prejudica a interação enzima-substrato e, como conseqüência, os animais compensaram tal ineficiência com um aumento na massa dos órgãos gastrintestinais e uma maior secreção de sucos digestivos.

Em frangos, a presença de NSPs solúveis na dieta promoveu aumento da viscosidade intestinal e decréscimo da energia metabolizável da dieta, reduzindo o crescimento e eficiência alimentar (CHOCT et al., 1996). Montagne et al. (2003) complementam que o aumento na viscosidade da digesta intestinal pode aumentar a perda dos enterócitos das vilosidades, levando à atrofia das mesmas com conseqüente redução da capacidade absorptiva da mucosa. Brown et al. (1979), avaliando o efeito do fornecimento de pectina na fisiologia intestinal em ratos, verificaram que o aumento na profundidade das criptas, local onde ocorre a proliferação dos enterócitos, se relacionou com a redução da atividade enzimática nas microvilosidades. Sugeriram que a alta reposição epitelial resultou em hiperplasia das criptas e enterócitos menos maduros com reduzido conteúdo de enzimas. Ainda

em ratos, a ingestão de farelo de trigo, majoritariamente constituído por fibras insolúveis, também promoveu um aumento na profundidade das criptas do cólon intestinal, acompanhado por redução na quantidade de RNA, a qual foi associada com baixa síntese protéica e, possivelmente, enzimática (JACOBS; SCHNEEMAN, 1981). No mesmo estudo, o consumo da dieta contendo fibra foi superior ao da dieta controle, igualando a ingestão de nutrientes e resultando em crescimentos semelhantes.

As fibras insolúveis, por sua vez, atuam como um diluente de nutrientes em dietas para monogástricos (HETLAND et al., 2004). Em frangos, esta diluição seria compensada por um acréscimo na ingestão alimentar e provável aumento da conversão alimentar (HETLAND et al., 2004). Adicionalmente, devido a sua alta capacidade de retenção hídrica, aumenta o volume da digesta, o que aparentemente seria contornado por um aumento na capacidade do trato digestório e na taxa de trânsito gastrintestinal (HETLAND; SVIHUS, 2001).

Dentro do exposto, é constatado o caráter antinutricional das fibras, principalmente as solúveis, sobre a utilização de nutrientes em mamíferos e aves. Estudos mais recentes, entretanto, têm demonstrado que níveis moderados de fibras na dieta, especialmente insolúveis, podem beneficiar a fisiologia digestiva de suínos e frangos, proporcionando melhor utilização de nutrientes e desempenho animal (GONZALEZ-ALVARADO et al., 2007; JIMÉNEZ-MORENO et al., 2009), redução significativa na contagem de enterobactérias e incidência de diarreias (MATEOS et al. 2006; KIM et al. 2008; MOLIST et al. 2009), manutenção da diversidade microbiana (ROCA-CANUDAS et al., 2007) e aumento na produção de mucinas intestinais (BRUNSGAARD, 1998; PIEL et al., 2005). Estes efeitos decorrem principalmente dos produtos da fermentação da fibra pela microbiota intestinal, os ácidos graxos de cadeia curta, que constituem as fontes preferenciais de energia da mucosa colônica (ASP, 1996; VANDERHOOF, 1998). Tais produtos, destacadamente o butirato, estão relacionados com a manutenção da integridade do epitélio intestinal e conseqüente saúde do intestino, mediante influência sobre a morfologia e desenvolvimento da mucosa (LUPTON; KURTZ, 1993; FOLINO et al., 1995; HEDEMANN et al., 2006; SCHEDLE et al., 2008); aumento na secreção de mucinas (HEDEMANN et al., 2006; PIEL et al., 2005) e melhora da barreira epitelial (MARIADASON et al., 1999; PENG et al., 2009).

Na Figura 1, é apresentado um fluxograma representativo das principais propriedades e diferenças fisiológicas entre fibras solúveis e insolúveis, baseado em estudos realizados com suínos e frangos.

Fibra alimentar na nutrição de peixes

Estudos acerca dos efeitos da fibra alimentar na dieta de peixes têm recebido maior atenção ultimamente devido à necessidade de utilizar fontes vegetais em substituição à farinha e óleo de peixe. A grande maioria, porém, restringe-se à determinação das variáveis de desempenho e digestibilidade, com resultados semelhantes aos descritos para frangos e suínos.

Em bagre africano (*Clarias gariepinus*) alimentado com dietas contendo goma guar, a redução na digestibilidade dos nutrientes foi relacionada ao aumento na viscosidade da digesta intestinal (LEENHOUWERS et al., 2006). Storebakken (1985), avaliando o efeito da inclusão de dois aglutinantes solúveis – goma guar e alginato - em dietas para truta (*Salmo gairdneri*), observou retardo no trânsito gastrintestinal, aumento no teor de água das fezes e redução na digestibilidade da proteína e gordura, sendo esta mais pronunciada para o aglutinante de maior viscosidade. Refstie et al. (1999) verificaram que os NSPs do farelo de soja promoveram decréscimo na digestibilidade da proteína e gordura, sem afetar a viscosidade intestinal para o salmão-do-Atlântico (*S. salar*). Entretanto, relataram aumento na matéria úmida fecal, correlacionando-o como decorrente da fração solúvel e osmoticamente ativa da fibra.

Kraugerud et al. (2007) verificaram redução na digestibilidade da proteína e matéria seca fecal de salmão-do-Atlântico alimentado com NSPs do farelo de soja em substituição gradual à celulose. Adicionalmente, observaram aumento na excreção fecal de K^+ e Na^+ e na digestibilidade do amido, indicando certa influência da complexidade da fonte de fibra alimentar. De modo similar, Glencross (2009) verificou, para a truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*), que os efeitos negativos dos NSPs insolúveis extraídos do farelo de tremçoço (*Lupinus angustifolius*) foram mais acentuados do que aqueles proporcionados pela celulose.

Em estudo sobre os efeitos das fibras solúveis e insolúveis em tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*), Amirkolaie et al. (2005) verificaram prejuízo na digestibilidade dos nutrientes somente para a

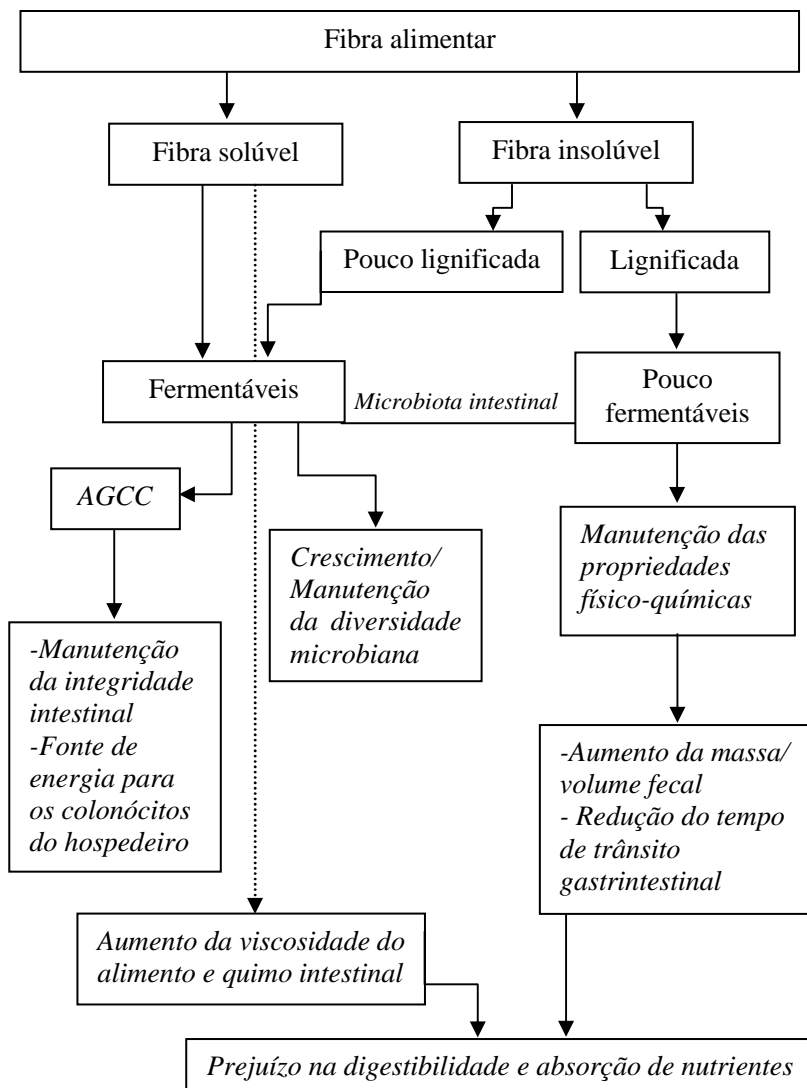


Figura 1. Principais propriedades fisiológicas da fibra alimentar solúvel e insolúvel. (NSP = polissacarídeo não amiláceo; AGCC = ácidos graxos de cadeia curta). Adaptado de Back Knudsen (2001).

fibra solúvel, sugerindo que níveis moderados de celulose (até 8%) não prejudicariam a absorção de nutrientes para a tilápia. Øvrum Hansen e Storebakken (2007) constataram que a inclusão crescente de celulose até 15% na dieta não afetou o desempenho nem a digestibilidade de nutrientes (com exceção da matéria orgânica) para a truta arco-íris (*O. mykiss*), aumentando, ainda, a durabilidade e dureza do pélete. Hilton et al. (1983), porém, observaram declínio no crescimento de trutas (*S. gairdneri*) alimentadas com 10 e 20% de celulose na dieta. Anderson et al. (1984) também constataram detrimento no desempenho de tilápias alimentadas com níveis de celulose acima de 10%. Estes autores salientaram que a celulose é amplamente utilizada como preenchimento para ajuste de nutrientes em dietas experimentais, mas sua presença e potencial efeito deletério são desconsiderados na análise dos resultados.

As divergências entre estudos com fibra alimentar em peixes devem-se a diferenças na complexidade, solubilidade e nível de inclusão dos NSPs na dieta, bem como à grande diversidade entre as espécies estudadas (LEENHOUWERS et al., 2007). Neste sentido, especializações morfológicas do aparato digestório dos peixes e suas preferências alimentares constituem importantes fatores a se considerar. De acordo com Horn (1989), pré-digestão mecânica, estômagos ácidos, intestinos longos, enzimas e microbiota especializadas, alta taxa de consumo alimentar e rápido trânsito gastrintestinal, constituem possíveis adaptações morfológicas de espécies herbívoras para a obtenção dos nutrientes e energia contidos em células de algas.

Ojeda e Cáceres (1995) encontraram pH estomacal extremamente baixo e discreta atividade celulolítica no intestino anterior de *Aplodactylus punctatus* - espécie herbívora marinha - como possíveis mecanismos para o aproveitamento dos nutrientes de algas. Reduzida atividade celulolítica também foi descrita para várias espécies de peixes por Lindsay e Harris (1980) e Chakrabarti et al. (1995), a qual provavelmente decorre da microbiota intestinal simbiote (DAS; TRIPATHI, 1991). Adicionalmente, Mountfort et al. (2002) encontraram altas taxas de fermentação no intestino posterior de três espécies herbívoras marinhas, indício da atividade microbiana sobre carboidratos de algas que não são assimilados no intestino anterior.

Leenhouders et al. (2008) verificaram capacidade de fermentação de carboidratos vegetais tanto para a tilápia-do-Nilo, espécie onívora, quanto para *Dicentrarchus labrax* ("sea bass"), espécie carnívora. Entretanto, a tilápia mostrou maior capacidade em relação à outra espécie, sendo esta condição esperada, segundo os autores, devido ao seu hábito alimentar onívoro e maior coeficiente intestinal, que lhe

conferem maior habilidade em digerir itens vegetais e maior período de retenção da digesta, respectivamente.

O jundiá

Dentre as espécies nativas com potencial para a piscicultura continental, o jundiá (*Rhamdia quelen*) (Siluriformes: Heptapteridae) tem recebido especial atenção de pesquisadores. Além da grande aceitabilidade comercial, a espécie possui características desejáveis à produção como rápido crescimento, facilidade de reprodução e larvicultura e ausência de espinhos intramusculares (FRACALLOSSI et al., 2004; FRACALLOSSI et al., 2007a). Em adição, o jundiá é de peculiar interesse à região Sul do país pelo satisfatório crescimento mesmo durante o inverno (FRACALLOSSI et al., 2004; FRACALLOSSI et al., 2007a). No entanto, pesquisas referentes ao jundiá, principalmente sobre sua nutrição, são escassas, recentes e necessárias ao sucesso da formulação de dietas eficientes. Em especial, o estudo de sua fisiologia digestiva torna-se fundamental devido aos conflitos existentes quanto ao hábito alimentar do jundiá. Inicialmente definido como onívoro, a partir de avaliações do conteúdo estomacal em ambiente selvagem (KRAMER; BRYANT, 1995; MEURER; ZANIBONI FILHO, 1997), a onivoria do jundiá tem se mostrado questionável. Similar ao descrito para peixes carnívoros, Oliveira Filho e Fracalossi (2006) verificaram maior competência do jundiá para digerir ingredientes protéicos do que ingredientes energéticos, ricos em amido. Adicionalmente, Moro et al. (2010) encontraram baixa capacidade de utilização de dextrina (até 15,7%) por juvenis de jundiá e suposta sobrecarga metabólica para níveis acima de 13%. Para Fracalossi et al. (2007b), a própria morfologia do sistema digestório do jundiá – intestino relativamente curto e desprovido de cecos pilóricos – sugere que a espécie se beneficie de itens alimentares nutricionalmente mais concentrados.

A tilápia-do-Nilo

As tilápias compreendem o terceiro grupo de peixes mais produzido no mundo, seguindo o grupo das carpas e salmonídeos, respectivamente (EL-SAYED, 2006). Nativas da África, Israel e Jordânia, as tilápias se difundiram globalmente durante a segunda metade do século 20, sendo cultivadas atualmente em mais de 100 países, sob diversas condições climáticas, sistemas de produção e salinidades (ZIMMERMANN; FITZSIMMONS, 2004). O rápido

crescimento, rusticidade, resistência ao estresse e a doenças, biologia reprodutiva, hábito alimentar e aceitabilidade de dietas artificiais são algumas das características que justificam a ampla difusão e potencial de produção das tilápias (EL-SAYED, 2006).

Das diversas espécies de tilápias existentes, a tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) constitui a espécie mais cultivada no mundo, devido ao seu maior crescimento e rendimento de filé em relação às demais (ZIMMERMANN; FITZSIMMONS, 2004). Possui hábito alimentar onívoro com preferência por itens vegetais e detritos (RUST, 2002). O baixo pH estomacal e elevado comprimento intestinal constituem as principais características morfofisiológicas do trato digestório que lhe conferem maior adaptação ao consumo de itens vegetais, possibilitando, respectivamente, hidrólise ácida da celulose e maior período de retenção da digesta (RUST, 2002; LEENHOUWERS et al., 2008). Em adição ao extenso intestino, a ampla distribuição de enzimas ao longo do órgão aumenta a habilidade da espécie em assimilar uma grande variedade de itens alimentares (TENGGARONKUL et al., 2000). De fato, a capacidade de utilização de carboidratos não estruturais pela tilápia-do-Nilo e seus híbridos já foi demonstrada por vários autores (ANDERSON et al., 1984; BELAL, 1999; TUNG; SHIAU, 1991). Já a utilização de fibras, parece seguir comportamento semelhante às demais espécies de peixe (ANDERSON et al., 1984; SHIAU et al., 1988), embora, provavelmente, apresente relativa maior tolerância à inclusão de fibras na dieta (AMIRKOLAIE et al., 2005).

Dentro do exposto para a tilápia nilótica e para o jundiá, verifica-se que ambas as espécies, embora onívoras, apresentam aparelhos digestórios morfológicamente distintos e que possivelmente influenciam a habilidade de utilizar carboidratos e fontes vegetais, por consequência. Desta forma, o estudo comparativo entre as duas espécies sobre a utilização de fontes vegetais com diferentes níveis de fibra alimentar forneceria subsídios para a formulação de dietas mais eficientes para ambas as espécies, bem como informações básicas sobre a fração fibra dos vegetais.

Justificativa

A demanda por ingredientes alternativos à farinha e óleo de peixe na nutrição de organismos aquáticos potencializa a utilização de fontes de origem vegetal, as quais apresentam grande aceitação e disponibilidade no mercado em relação àquelas de origem animal,

especialmente no Brasil, país de enorme aptidão agrícola. Um componente intrínseco e limitante na maioria dos ingredientes vegetais, é a fibra alimentar, cujo conhecimento sobre seus efeitos fisiológicos na nutrição de peixes ainda é relativamente escasso quando comparado ao já estabelecido para outros animais domésticos terrestres. Desta forma, estudos com ingredientes contendo níveis distintos desta fração e abrangendo os tópicos digestibilidade, desempenho zootécnico e morfologia intestinal são de extrema importância para o emprego destes ingredientes e para a sustentabilidade da aquíicultura. Adicionalmente, existe a necessidade de desenvolver pesquisas sobre a nutrição do jundiá (*Rhamdia quelen*), visando viabilizar sua criação de forma eficiente.

Objetivo geral

Avaliar a habilidade do jundiá em assimilar fontes vegetais distintas comparativamente com a tilápia-do-Nilo, espécie onívora com preferência por itens vegetais, visando melhor caracterizar seu hábito alimentar.

Investigar potenciais efeitos da fibra alimentar sobre a fisiologia intestinal de teleósteos, viabilizando o emprego de fontes vegetais em dietas para organismos aquáticos.

Objetivos específicos

Comparar a digestibilidade dos nutrientes e energia, desempenho zootécnico e histomorfologia intestinal entre juvenis de jundiá e tilápia-do-Nilo alimentados com fontes vegetais contendo diferentes níveis de fibra alimentar.

O artigo científico que se segue foi redigido conforme as normas para submissão no periódico *Aquaculture Nutrition*.

UTILIZAÇÃO DE FONTES VEGETAIS COM DIFERENTES NÍVEIS DE FIBRA ALIMENTAR PELO JUNDIÁ (*Rhamdia quelen*) E TILÁPIA-DO-NILO (*Oreochromis niloticus*)

Rodrigues, Ana Paula Oeda¹; Gominho-Rosa, Maria do Carmo¹, Cargnin-Ferreira, Eduardo²; de Francisco, Alicia³; Fracalossi, Débora Machado^{1,*}

¹Departamento de Aquicultura, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil. ²Departamento de Biologia Celular, Embriologia e Genética, Centro de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil. ³Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.

Cabeçalho: Fontes vegetais para o jundiá e tilápia-do-Nilo

*Autor correspondente: Departamento de Aquicultura, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Rodovia Admar Gonzaga, 1346, Florianópolis, SC 88034-001, Brasil; Telefone: +554833895216; Endereço eletrônico: deboraf@cca.ufsc.br.

Palavras-chave: digestibilidade, histomorfometria, onivoria, polissacarídeos não amiláceos, quimo intestinal, subprodutos vegetais.

Resumo

A digestibilidade dos nutrientes e energia, desempenho e histomorfologia intestinal foram avaliados em juvenis de jundiá e tilápia-do-Nilo - espécies de peixe onívoras com distinta morfologia intestinal - quando alimentados com fontes vegetais contendo diferentes níveis de fibra alimentar. As fontes fibrosas polpa cítrica (PC), farelo de trigo (FT) e casca de soja (CS) foram menos digestíveis em relação às fontes amiláceas quirera de arroz (QA) e milho moído (MM) e a digestibilidade daquelas não diferiu entre as espécies. O jundiá demonstrou menor habilidade em digerir as fontes amiláceas e em utilizar a proteína das fontes vegetais. O desempenho da tilápia correspondeu à digestibilidade das fontes vegetais, enquanto não foi observada diferença para o jundiá, provavelmente devido ao seu crescimento relativamente mais brando. O índice de sólidos solúveis no quimo intestinal foi menor para os peixes alimentados com PC para ambas as espécies, mas mais acentuado para o jundiá, sugerindo que a presença de fibra solúvel ocasionou maior diluição de nutrientes solúveis no intestino. Efeito na morfologia intestinal foi encontrado apenas para a espessura da camada muscular no intestino distal do jundiá, que foi maior para o grupo PC. Isto possivelmente indica uma adaptação das camadas musculares para propulsar o grande volume de digesta viscosa ao longo do intestino e, conseqüentemente, certa capacidade adaptativa à dieta, sugerindo ao jundiá um hábito alimentar onívoro com tendência à carnivoría.

1. Introdução

Com a crescente demanda por ingredientes alternativos à farinha e óleo de peixe, as fontes de origem vegetal têm recebido especial atenção na nutrição de peixes devido à grande disponibilidade e aceitação pelo mercado consumidor (Stone, 2003; Naylor *et al.*, 2009). Entretanto, a grande maioria dos ingredientes vegetais possui proporções variáveis de fibra alimentar, composta basicamente por polissacarídeos não amiláceos (NSPs) e lignina. Redução na utilização de nutrientes, alterações na fisiologia digestiva e conseqüente prejuízo no desempenho constituem os principais efeitos negativos atribuídos às fibras (Iji, 1999; Krogdahl *et al.*, 2005). Adicionalmente, a fibra alimentar dilui a concentração dos nutrientes da dieta, além de aumentar a emissão de efluentes no ambiente, o que prejudica a qualidade da água e bem-estar animal (Maina *et al.*, 2002; Amirkolaie *et al.*, 2005).

De modo geral, as investigações sobre os efeitos da fibra alimentar em peixes restringem-se a fibras purificadas, tais como celulose, pectinas e gomas (p.ex.: Dias *et al.*, 1998; Amirkolaie *et al.*, 2005; Leenhouders *et al.*, 2006), cujas propriedades e complexidades físico-químicas e, conseqüentemente, fisiológicas, diferem das fibras vegetais nativas (McDougall *et al.*, 1996; Bach Knudsen, 2001). A maioria dos estudos, ainda, aborda os impactos da fibra alimentar sobre desempenho e digestibilidade, existindo conhecimento limitado acerca de seus efeitos sobre a fisiologia intestinal de peixes.

Das espécies nativas da América Latina com potencial para a piscicultura continental, o jundiá (*Rhamdia quelen*) (Siluriformes: Heptapteridae) apresenta grande aceitação comercial e características desejáveis à produção, sendo de peculiar interesse pelo satisfatório crescimento mesmo durante o inverno (Fracalossi *et al.*, 2004; Fracalossi *et al.*, 2007). Apesar de ser classificado como onívoro, a partir de avaliações do conteúdo estomacal da espécie em ambiente selvagem (Kramer & Bryant, 1995), estudos realizados em nosso laboratório indicam que o jundiá apresenta limitada capacidade para utilizar ingredientes energéticos, ricos em amido (Oliveira-Filho & Fracalossi, 2006; Moro *et al.*, 2010). A própria morfologia do sistema digestório do jundiá – intestino relativamente curto e desprovido de cecos pilóricos – sugere que a espécie se beneficie de itens alimentares nutricionalmente mais concentrados. Distintamente do jundiá, a tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) é um onívoro típico com preferência por itens vegetais e detritos (Rust, 2002). O baixo pH estomacal e elevado comprimento intestinal constituem as principais características morfofisiológicas do trato digestório que lhe conferem maior adaptação ao consumo de itens vegetais, possibilitando, respectivamente, hidrólise ácida da parede celular vegetal e maior período de retenção da digesta (Rust, 2002; Leenhouders *et al.*, 2008). Além do extenso intestino, a ampla distribuição de enzimas ao longo do órgão aumenta a habilidade da tilápia em assimilar uma grande variedade de itens alimentares (Tengjaroenkul *et al.*, 2000). Observa-se, portanto, que ambas as espécies, embora classificadas como onívoras, apresentam aparelhos digestórios morfológicamente distintos, que provavelmente influenciam sua capacidade de utilização de fontes vegetais.

Neste estudo avaliou-se a digestibilidade, desempenho e histomorfologia intestinal entre juvenis de jundiá, um onívoro exigente, e tilápia-do-Nilo, um onívoro típico, alimentados com fontes vegetais contendo diferentes níveis de fibra alimentar. Este conhecimento

permitirá um uso mais eficiente de fontes vegetais em dietas para peixes onívoros.

2. Materiais e métodos

2.1. Ensaio I

A digestibilidade de cinco fontes vegetais contendo diferentes níveis de fibra alimentar foi avaliada para o jundiá e tilápia-do-Nilo em um delineamento em blocos casualizados (três réplicas no tempo) em esquema fatorial (cinco fontes vegetais x duas espécies). A formulação da dieta referência visou atender à espécie de maior exigência, o jundiá, baseando-se nas suas exigências protéicas, energéticas e aminoacídicas (Meyer & Fracalossi, 2004; Montes-Girao & Fracalossi, 2006) e naquelas do bagre do canal, *Ictalurus punctatus*, para os demais nutrientes (Webster & Lim, 2002) (Tabela 1). Considerando que, em níveis moderados, a celulose aparenta ser inerte (Amirkolaie *et al.*, 2005; Øvrum Hansen & Storebakken, 2007), utilizou-se celulose como preenchimento na dieta referência (Tabela 1). Os ingredientes testados – quirera de arroz (QA), milho moído (MM), farelo de trigo (FT), polpa cítrica (PC) e casca de soja (CS) – foram previamente moídos e peneirados em malha de 850 μm . A confecção das dietas experimentais foi realizada mediante homogeneização dos ingredientes secos em misturador em “Y”, com posterior adição dos óleos e 22,5 % de água. A mistura foi peletizada em matriz de 5 mm e os grânulos obtidos, secos em estufa a 55°C. As dietas experimentais continham 695 g kg⁻¹ da dieta referência, 300 g kg⁻¹ do ingrediente teste e 5 g kg⁻¹ de óxido de cromo; a dieta referência continha 995 g kg⁻¹ da mesma e 5 g kg⁻¹ de óxido de cromo (Cho & Slinger, 1979).

Aproximadamente 25 jundiás (93,90 \pm 34,03 g) e 31 tilápias (93,67 \pm 51,57 g) foram alocados em tanques cilíndrico-cônicos de 200 L em sistema fechado de recirculação de água, com aeração constante e sob temperatura controlada (28,00 \pm 0,38 °C). Durante o período experimental, a biomassa foi mantida em torno de 2320 g para o jundiá e 2950 g para a tilápia, sendo reajustada a cada repetição no tempo (bloco), quando um novo sorteio era feito para a distribuição dos tratamentos nos tanques (n = 12). Em cada repetição, antes da coleta de fezes, os animais foram adaptados por uma semana às dietas experimentais, as quais eram fornecidas duas vezes ao dia (às 09:00 e 16:00 h) a uma taxa de 30 g kg⁻¹ e 35 g kg⁻¹ do peso vivo para o jundiá e tilápia, respectivamente. Uma hora após a última alimentação diária, as

Tabela 1. Formulação e composição proximal da dieta referência.

Ingredientes	g kg ⁻¹ (base seca)
Albumina ¹	455,10
Dextrina ²	300,00
Celulose microfina ²	99,90
Premix vitamínico-micromineral ³	30,00
Premix macromineral ⁴	55,00
Óleo de soja	30,00
Óleo de fígado de bacalhau ⁵	30,00
Composição proximal⁶	
Matéria seca	935,40
Proteína bruta	385,50
Extrato etéreo	60,60
Energia bruta ⁷	19,05
Matéria mineral	96,70
Fibra alimentar ⁸	99,40

¹ Izumi Indústria e Comércio Ltda. (Guapirama, PR, Brasil);

² Rhoster Indústria e Comércio Ltda. (Araçoiaba da Serra, SP, Brasil);

³ Nutron Alimentos (Toledo, PR, Brasil), composição /kg de produto: Ácido fólico 250 mg, Ácido pantotênico 5.000 mg, Antioxidante 0,6 g, Biotina 125 mg, Cobalto 25 mg, Cobre 2.000 mg, Colina 75.000 mg, Ferro 13.820 mg, Iodo 100 mg, Manganês 3.750 mg, Niacina 5000 mg, Selênio 75 mg, Vit. A 1.000.000 UI, Vit. B1 1250 mg, Vit. B12 3.750 mg, Vit. B2 2.500 mg, Vit. B6 1.785 mg, Vit. C 42.000 mg, Vit. D3 500.000 UI, Vit. E 20.000 UI, Vit. K 35.000 mg, Zinco 17.500 mg.

⁴ Fosfato bicálcico 454 g, Sulfato de potássio 297 g, Cloreto de sódio 174 g, Sulfato de magnésio 75 g.

⁵ Delaware Ltda (Porto Alegre, RS, Brasil).

⁶ Composição proximal da dieta referência do ensaio I (99,5% dieta referência; 0,5% óxido de cromo).

⁷ Expressa em kJ g⁻¹.

⁸ Método enzimático-gravimétrico.

paredes internas dos tanques eram limpas e cerca de 70 % do volume de água renovado, a fim de evitar contaminação nas fezes. Estas foram coletadas a cada 6 h, entre 18:00 e 06:00 h, em tubos plásticos de 50 mL acoplados na parte inferior dos tanques e imersos em isopor com gelo para reduzir a atividade microbiana. Após cada coleta, os tubos eram centrifugados a 1.150 x g durante 5 min, o sobrenadante descartado e as

fezes, secas em estufa a 50 °C e armazenadas a -20 °C para posterior análise.

Os coeficientes de digestibilidade aparente (CDAs) da proteína bruta, matéria seca e energia bruta foram determinados pelas seguintes equações:

Para as dietas (Cho & Slinger, 1979):

$$\text{CDA (\%)} = 100 - [100 \times (\% \text{ Marcador dieta} / \% \text{ Marcador fezes}) \times (\% \text{ Nutriente fezes} / \% \text{ Nutriente dieta})]$$

Para os ingredientes testados (Bureau et al., 1999):

$$\text{CDA}_I = \text{CDA}_{Dt} + [(\text{CDA}_{Dt} - \text{CDA}_{Ref}) \times (0,7 \times \text{N}_{Ref} / 0,3 \times \text{N}_I)]$$

Onde: I: ingrediente; Dt: dieta teste; Ref: dieta referência;

N_{Ref} : nutriente (%) ou energia (kcal kg⁻¹) na dieta referência;

N_{Ing} : nutriente (%) ou energia (kcal kg⁻¹) no ingrediente.

2.2. *Ensaio II*

Juvenis de jundiá e tilápia-do-Nilo foram aclimatados durante um mês às condições experimentais em tanques de 120 L sob as mesmas condições de cultivo descritas anteriormente. Os peixes foram alimentados duas vezes ao dia (09:00 e 16:00 h) até a saciedade aparente com ração comercial extrusada (420 g kg⁻¹ de proteína bruta; Supra Alisul Alimentos S/A, Itajaí, SC, Brasil). Neste período foram estimadas as taxas de alimentação diárias, em g kg⁻¹ do peso vivo, a serem fornecidas durante o experimento: 25 g kg⁻¹ para o jundiá e 50 g kg⁻¹ para a tilápia. Foram efetuados reajustes semanais na quantidade de ração oferecida, conforme aumento da biomassa de cada espécie, o qual era verificado por meio de biometrias. Grupos de 30 juvenis de jundiá (10,79 ± 2,37 g) e de tilápia (7,20 ± 1,73 g), por unidade experimental, foram alimentados com cinco dietas experimentais por espécie, em um delineamento inteiramente ao acaso, com três repetições por dieta. As dietas experimentais continham 800 g kg⁻¹ da dieta referência e 200 g kg⁻¹ das fontes vegetais utilizadas no ensaio I, sendo confeccionadas conforme descrito anteriormente. Os péletes foram triturados e os grânulos entre 1-2 mm selecionados por fracionamento.

Durante os 30 dias do período experimental, não houve mortalidade e os parâmetros de qualidade de água - pH, oxigênio dissolvido, temperatura e amônia total - mantiveram-se em torno de 6,74; 7,11 mg L⁻¹; 28,21 °C e inferior a 0,25 mg L⁻¹, respectivamente. No final do período experimental, os animais foram sacrificados com

superdose do anestésico Eugenol® (Biodinâmica Química e Farmacêutica Ltda., Ibiporã, PR, Brasil) para a coleta das variáveis analisadas.

2.2.1. Índices de desempenho e determinação da composição corporal – Os animais de cada réplica foram individualmente pesados e os seguintes índices de desempenho avaliados:

Ganho em peso, GP (g) = (Pf – Pi);

Taxa de crescimento específico, TCE (% dia⁻¹) = (lnPf – lnPi)/t x 100.

Onde: Pi = peso inicial (g); Pf = peso final (g);
t = período de alimentação em dias.

Uma amostra de 10 indivíduos para cada espécie foi coletada no início do experimento para a análise da composição corporal inicial. Para a composição final, amostrou-se um conjunto de 15 indivíduos por réplica de cada tratamento.

2.2.2. Índice de sólidos solúveis no quimo intestinal – Com o objetivo de avaliar se a concentração de nutrientes sólidos e solúveis no quimo intestinal seria afetada pela presença de fibras na dieta, mediu-se o índice de refração ou de sólidos solúveis. O conteúdo do intestino proximal (porção subsequente à válvula pilórica e anterior à válvula íleo-cecal) de 10 peixes por réplica foi coletado, sobre placa de gelo, 2h após a última alimentação, de forma a compor três amostras por tratamento. As amostras foram centrifugadas a 1.717 x g durante 15 min, o sobrenadante descartado e o material remanescente armazenado a -4 °C até o momento da análise de refração. O índice de sólidos solúveis foi mensurado com o auxílio de um refratômetro (Tropenmodell I; Carl Zeiss, Jena, Alemanha).

2.2.3. Morfologia intestinal e índice hepatossomático – Após jejum prévio de 24 h para o jundiá e 72 h para a tilápia, sete peixes por dieta foram amostrados. Procedeu-se ao registro do peso e comprimento padrão de cada indivíduo, com subsequente laparotomia abdominal. O fígado foi coletado e pesado para obtenção do índice hepatossomático (relação entre o peso do fígado e o corporal). Já o intestino, teve o seu comprimento mensurado para cálculo do coeficiente intestinal (relação entre o comprimento intestinal e corporal), sendo, então, dividido para análise histológica. O primeiro terço do intestino proximal e o intestino

distal (porção subsequente à válvula ileocecal) foram coletados e fixados em formaldeído 4 % em tampão fosfato 0,1 M pH 7,2. Em seqüência, as amostras foram lavadas, desidratadas em etanol e diafanizadas em xilol para posterior inclusão em parafina. Secções semi-seriadas e transversais do tubo intestinal de 5 µm foram coradas em tricrômico de Cason (Cargin-Ferreira & Sarasquete, 2008) e analisadas em microscópio de luz acoplado a um sistema analisador de imagens (Axio Vision; Carl Zeiss, Hallbergmoos, Alemanha). As variáveis histomorfométricas mensuradas foram: (1) altura das pregas da mucosa: medida da extremidade superior da prega até o início da camada muscular; 50 medidas/ peixe, em aumento constante; (2) espessura da camada muscular: 50 medidas/ peixe, em aumento constante (Figura 1).

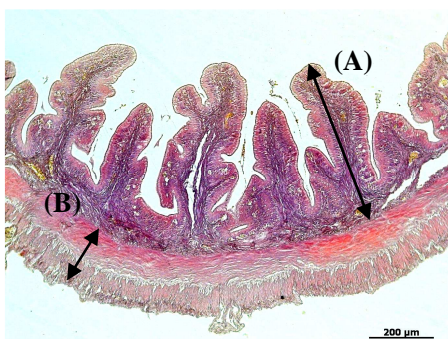


Figura 1. Imagem representativa das variáveis histomorfométricas mensuradas: altura de pregas (A) e espessura da camada muscular (B) no intestino distal de exemplar de jundiá alimentado com quirera de arroz (x 100).

2.3. Análises químicas

As dietas e ingredientes experimentais (Tabelas 1, 2 e 3), bem como a composição corporal dos peixes e as fezes, foram analisados de acordo com metodologias descritas pela AOAC (1999). A energia bruta foi obtida com o auxílio de uma bomba calorimétrica. A fibra alimentar das dietas experimentais foi estimada a partir do conteúdo em fibra alimentar dos ingredientes, o qual foi obtido pelo método enzimático gravimétrico 985.29 da AOAC (1999). A quantidade de fibra alimentar da celulose foi equivalente ao nível de inclusão de celulose na dieta. O teor de óxido de cromo presente nas dietas e nas fezes foi avaliado pelo método espectrofotométrico da difenilcarbazida (Bremer Neto *et al.*, 2003).

2.4. *Análise estatística*

Para comparar o aproveitamento das fontes vegetais entre jundiá e tilápia no ensaio I, os CDAs foram submetidos à análise de variância bifatorial, através do procedimento PROC MIXED do aplicativo SAS 9.0, utilizando-se o teste de Tukey ($P < 0,05$) para a detecção de diferenças estatísticas entre as médias. Para avaliar a influência da fibra alimentar das fontes vegetais sobre os CDAs em cada espécie, utilizou-se a análise de regressão linear (Microsoft Office Excel 2007. Microsoft® Corporation). Já no ensaio II, os dados foram submetidos à análise de variância unifatorial, uma vez que as espécies apresentam taxas de crescimento distintas. Utilizou-se o procedimento PROC GLM e o teste de Tukey ($P < 0,05$) para a detecção de diferenças estatísticas entre as médias. Os valores das variáveis deste trabalho são expressos como média \pm desvio padrão.

3. Resultados

3.1. *Ensaio I*

A Tabela 4 contém os CDAs da proteína bruta, matéria seca e energia bruta das fontes vegetais avaliadas. Houve interação entre espécie e fonte vegetal para a digestibilidade da matéria seca e energia dos ingredientes. A digestibilidade da matéria seca para a tilápia foi superior para a QA e MM e inferior para a CS, a qual não diferiu do FT. O jundiá mostrou tendência similar, entretanto, com diferenças menos acentuadas. Os CDAs da matéria seca da QA e MM foram superiores para a tilápia em comparação ao jundiá. A digestibilidade da energia para a tilápia decresceu na seguinte ordem: QA, MM, PC, FT e CS. Já para o jundiá, foi maior para o MM em relação ao FT e CS e superior para a QA e PC em comparação à CS. De forma similar à digestibilidade da matéria seca, os CDAs da energia da QA e MM foram superiores para a tilápia em comparação ao jundiá.

Não houve interação entre fonte vegetal e espécie para a digestibilidade protéica, no entanto, houve efeitos individuais para espécie e fonte vegetal. A digestibilidade da proteína das fontes vegetais foi maior para a tilápia em relação ao jundiá. Entre as fontes testadas, a QA apresentou maior digestibilidade da proteína em relação à PC, FT e CS, enquanto o MM manteve digestibilidade intermediária.

A digestibilidade da proteína, matéria seca e energia para a tilápia decresceu linearmente à medida que aumentou o conteúdo de fibra

Tabela 2. Composição proximal das fontes vegetais testadas (base seca).

Fontes vegetais	Matéria seca	Proteína bruta	Extrato etéreo	Energia bruta ¹	Matéria mineral	Fibra alimentar total	Fibra alimentar solúvel	Fibra alimentar insolúvel
	g kg^{-1}							
Quirera de arroz	891,50	88,20	15,60	17,47	6,40	19,80	8,40	11,40
Milho moído	887,70	52,00	38,90	18,67	14,30	112,30	5,20	107,10
Polpa cítrica	865,90	62,00	7,00	17,99	67,10	462,50	101,80	360,70
Farelo de trigo	900,80	133,30	48,40	17,74	81,30	469,60	28,00	441,60
Casca de soja	925,30	117,50	24,10	17,71	45,20	766,30	50,60	715,70

¹Exceto para a energia bruta dada em kJ g^{-1} .

Tabela 3. Composição proximal das dietas experimentais do ensaio II (base seca).

Dietas experimentais ¹	Matéria seca	Proteína bruta	Extrato etéreo	Energia bruta ²	Matéria mineral	Fibra alimentar total
	g kg^{-1}					
Quirera de arroz	931,60	330,80	42,80	18,64	71,20	83,90
Milho moído	917,70	332,30	52,20	19,46	72,70	102,40
Polpa cítrica	915,00	325,70	48,50	19,37	82,30	172,40
Farelo de trigo	935,40	340,00	53,00	19,12	83,90	173,80
Casca de soja	941,10	334,60	49,60	18,99	78,10	233,20

¹ Compostas, cada qual, por 800 g kg^{-1} da dieta referência (Tabela 1) e 200 g kg^{-1} da respectiva fonte vegetal.

² Exceto para a energia bruta dada em kJ g^{-1} .

alimentar das fontes vegetais testadas ($y = -0,322x + 80,93$, $R^2 = 0,874$, $P = 0,0198$; $y = -0,840x + 85,76$, $R^2 = 0,966$, $P = 0,0026$; $y = -0,765x + 84,23$, $R^2 = 0,937$, $P = 0,0067$, respectivamente). Já para o jundiá, tal declínio não foi evidente para a digestibilidade da proteína e energia bruta ($y = -0,274x + 65,01$, $R^2 = 0,327$, $P = 0,3136$; $y = -0,299x + 54,71$, $P = 0,1199$, $R^2 = 0,608$), apenas para a digestibilidade da matéria seca, a qual remete à digestibilidade do ingrediente como um todo ($y = -0,360x + 55,70$, $R^2 = 0,919$, $P = 0,0099$).

3.2. Ensaio II

Peso final, ganho em peso e taxa de crescimento específico foram superiores para as tilápias alimentadas com QA, seguidas pelo grupo MM; sendo inferiores, de modo geral, para os grupos alimentados com as fontes mais fibrosas, em especial, a CS e a PC (Figura 2). Para o jundiá, não houve diferença entre os grupos, exceto para aqueles alimentados com PC, que apresentaram desempenho inferior em relação aos demais (Figura 2). Entretanto, tal fonte apresentou visualmente baixo consumo pelos jundiás, o que deve ter influenciado as variáveis avaliadas.

O conteúdo de proteína corporal de ambas as espécies não diferiu entre as fontes vegetais (dados não apresentados). Já a gordura corporal foi maior nas tilápias alimentadas com MM, seguidas pelo grupo QA, o qual não diferiu do grupo CS (Tabela 5). No jundiá, o MM propiciou o maior acúmulo de gordura corporal, seguido pela QA (Tabela 5).

O maior índice hepatossomático (IHS) foi obtido nas tilápias alimentadas com QA em relação aos grupos PC e FT, e naquelas alimentadas com MM em comparação à PC (Tabela 5). Para o jundiá, o maior IHS foi obtido nos animais alimentados com QA e FT e o menor naqueles alimentados com PC e CS; enquanto aqueles alimentados com MM apresentaram IHS intermediário (Tabela 5).

A porcentagem de sólidos solúveis no quimo intestinal da tilápia diferiu apenas entre os grupos QA e PC, sendo menor no último, ao passo que, no jundiá, a PC proporcionou menor índice em comparação às demais fontes (Figura 3).

O coeficiente intestinal não foi influenciado pelas diferentes fontes vegetais testadas, em ambas as espécies (Tabela 6). De forma similar, não houve diferença significativa em nenhuma das variáveis histomorfométricas avaliadas para a tilápia. No entanto, para o jundiá, a espessura da camada muscular no intestino distal foi maior para aqueles

Tabela 4. Coeficientes de digestibilidade aparente (CDAs) de fontes vegetais para tilápia e jundiá (média ± desvio padrão).

CDA (%)	Quirera de Arroz	Milho moído	Polpa cítrica	Farelo de trigo	Casca de soja
PROTEÍNA BRUTA					
Tilápia	84,73 ± 9,00 ^{Aa}	71,85 ± 7,98 ^{Aab}	64,96 ± 3,16 ^{Ab}	67,79 ± 2,20 ^{Ab}	56,34 ± 0,69 ^{Ab}
Jundiá	74,33 ± 14,19 ^{Ba}	56,17 ± 15,36 ^{Bab}	34,13 ± 0,03 ^{Bb}	58,72 ± 8,17 ^{Bb}	51,58 ± 13,58 ^{Bb}
MATÉRIA SECA					
Tilápia	89,17 ± 6,90 ^{Aa}	73,28 ± 2,60 ^{Aa}	47,00 ± 5,86 ^{Ab}	40,13 ± 7,13 ^{Abc}	25,37 ± 6,36 ^{Ac}
Jundiá	55,05 ± 4,43 ^{Ba}	50,33 ± 7,11 ^{Ba}	44,49 ± 6,97 ^{Aab}	35,97 ± 11,37 ^{Aab}	26,69 ± 3,28 ^{Ab}
ENERGIA BRUTA					
Tilápia	86,59 ± 5,80 ^{Aa}	71,68 ± 7,53 ^{Aab}	55,64 ± 4,78 ^{Abc}	40,33 ± 2,92 ^{AcCd}	26,86 ± 3,11 ^{Ad}
Jundiá	48,05 ± 8,44 ^{Bab}	55,32 ± 6,08 ^{Ba}	51,77 ± 1,71 ^{Aab}	35,94 ± 10,81 ^{Abc}	27,59 ± 2,38 ^{Ac}
<i>Probabilidade</i>			Proteína bruta	Matéria seca	Energia bruta
<i>Fonte vegetal</i>			0,0003	<0,0001	<0,0001
<i>Espécie</i>			0,0007	<0,0001	<0,0001
<i>Fonte vegetal x Espécie</i>			NS ¹	0,0007	0,0001

^{A, B} Letras diferentes na mesma fonte vegetal indicam diferenças significativas entre as espécies pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

^{a, b, c, d} Letras diferentes na mesma espécie indicam diferenças significativas entre as dietas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

¹ Não significativo.

alimentados com PC e menor para os grupos FT e MM (Tabela 6). As demais fontes proporcionaram valores intermediários (Tabela 6).

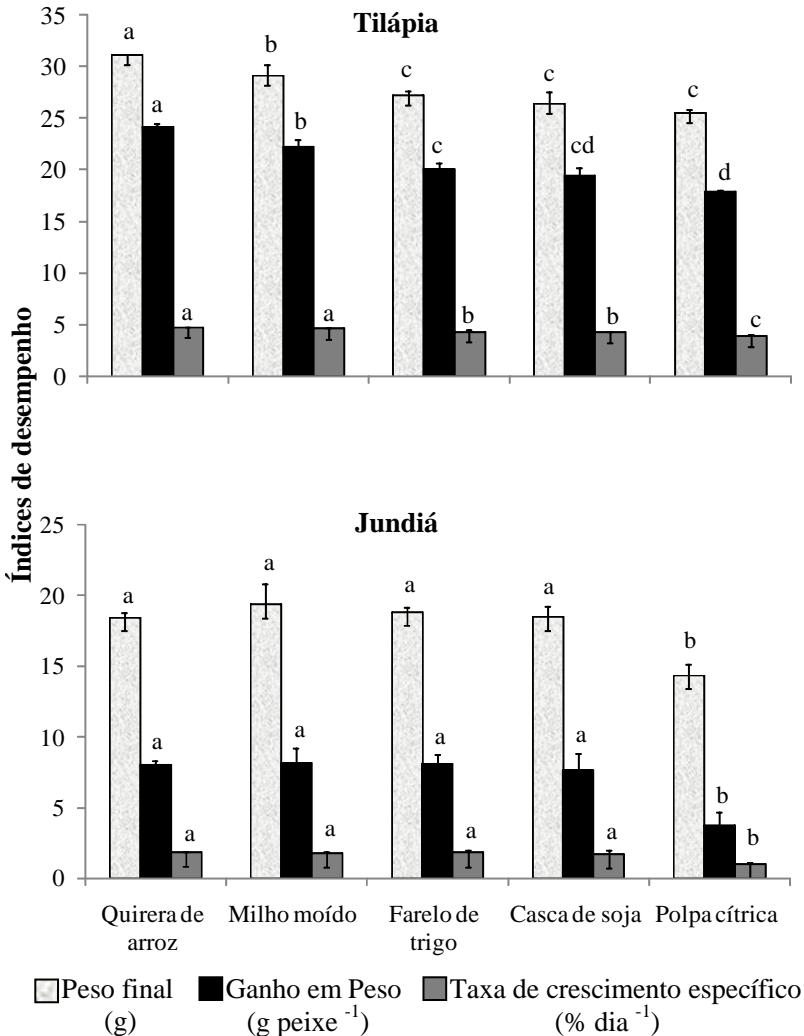


Figura 2. Desempenho de juvenis de tilápia e jundiá alimentados com dietas contendo 200 g kg⁻¹ de fontes vegetais. Letras diferentes entre as fontes vegetais, dentro de cada variável, indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Tabela 5. Matéria seca e extrato etéreo corporal¹ e índice hepatossomático de juvenis de tilápia e jundiá alimentados com dietas contendo diferentes fontes vegetais (média \pm desvio padrão).

Fontes vegetais ²	Matéria seca	Extrato etéreo ³	Índice
			Hepatossomático
%			
TILÁPIA			
Quirera de arroz	23,66 \pm 0,20 ^b	4,57 \pm 0,05 ^b	1,47 \pm 0,17 ^a
Milho moído	25,99 \pm 0,75 ^a	5,89 \pm 0,18 ^a	1,35 \pm 0,23 ^{ab}
Polpa cítrica	22,57 \pm 0,62 ^b	3,37 \pm 0,06 ^{cd}	1,05 \pm 0,26 ^c
Farelo de trigo	22,26 \pm 1,02 ^b	2,74 \pm 0,84 ^d	1,17 \pm 0,11 ^{bc}
Casca de soja	23,91 \pm 1,15 ^{ab}	3,91 \pm 0,43 ^{bc}	1,20 \pm 0,27 ^{abc}
JUNDIÁ			
Quirera de arroz	25,31 \pm 2,09	5,93 \pm 0,55 ^{ab}	2,50 \pm 0,60 ^a
Milho moído	26,45 \pm 0,86	6,85 \pm 0,38 ^a	2,31 \pm 0,35 ^{ab}
Polpa cítrica	23,99 \pm 1,42	5,24 \pm 0,39 ^b	1,85 \pm 0,22 ^b
Farelo de trigo	25,42 \pm 0,32	5,42 \pm 0,34 ^b	2,46 \pm 0,64 ^a
Casca de soja	24,26 \pm 0,30	4,99 \pm 0,22 ^b	1,82 \pm 0,41 ^b

¹Matéria mineral e proteína corporal não diferiram entre as dietas para ambas as espécies.

²Inclusão das fontes vegetais foi 200 g kg⁻¹ na dieta referência (Tabela 1).

³Base úmida.

^{a,b,c,d,e} Letras diferentes na mesma coluna, dentro da mesma espécie, indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

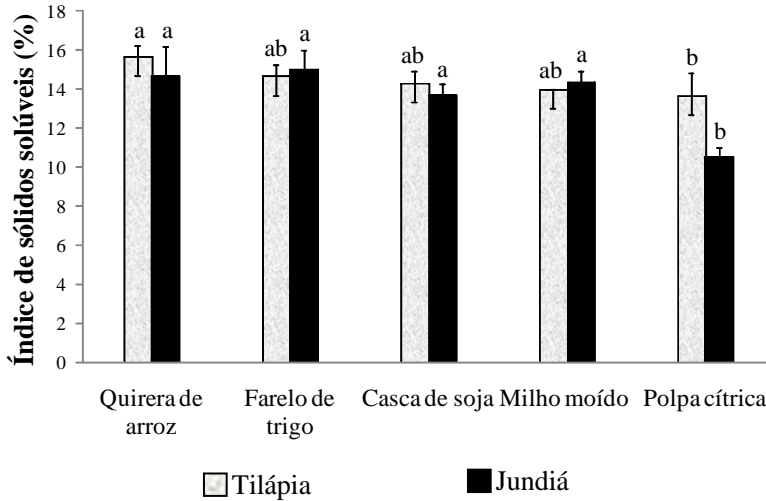


Figura 3. Índice de sólidos solúveis do quimo intestinal de tilápia e jundiá alimentados com dietas contendo 200 g kg⁻¹ de fontes vegetais. Letras diferentes entre as fontes vegetais, dentro da mesma espécie, indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

4. Discussão

Conforme era esperado, as fontes vegetais ricas em fibra (PC, FT e CS) foram menos digestíveis em relação às fontes amiláceas (QA e MM). As fontes fibrosas testadas compõem-se majoritariamente de fibra insolúvel (Tabela 2), capaz de aumentar a velocidade do trânsito gastrointestinal, reduzindo o tempo de digestão e, conseqüentemente, a utilização de nutrientes (Hetland *et al.*, 2004; Krogdahl *et al.*, 2005). Dessas fontes, apenas a PC apresenta uma quantidade expressiva de fibra solúvel (Tabela 2), que, por sua vez, tende a retardar o trânsito gastrointestinal devido as suas propriedades geleificante e adsorvente, o que dificulta o contato enzima-substrato e, por conseqüência, a absorção de nutrientes (Iji, 1999; Krogdahl *et al.*, 2005). Mwachireya *et al.* (1999) concluíram que os principais fatores antinutricionais redutores da digestibilidade de nutrientes e energia no farelo de canola para a truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) foram os altos níveis de fibra deste ingrediente. Efeito similar foi observado para o “red drum” (*Sciaenops ocellatus*), no qual a digestibilidade da matéria seca e energia decresceram proporcionalmente com o aumento de fibra nos

Tabela 6. Coeficiente intestinal e espessura da camada muscular (ECM) e altura das pregas (HP) do intestino proximal e distal de juvenis de tilápia e jundiá, alimentados com dietas contendo diferentes fontes vegetais (média \pm desvio padrão).

Fontes vegetais ¹	Coeficiente intestinal	Intestino proximal		Intestino distal	
		ECM	HP	ECM	HP
		μm	μm	μm	μm
TILÁPIA					
Quirera de arroz	6,00 \pm 0,38	28,16 \pm 5,45	175,44 \pm 46,78	34,09 \pm 11,81	104,06 \pm 17,26
Milho moído	6,57 \pm 0,94	33,50 \pm 7,36	199,99 \pm 33,68	22,73 \pm 4,36	88,66 \pm 14,51
Polpa cítrica	6,63 \pm 1,02	31,34 \pm 8,30	187,87 \pm 35,61	32,80 \pm 13,52	90,55 \pm 30,74
Farelo de trigo	6,00 \pm 0,72	27,95 \pm 5,40	164,16 \pm 43,71	25,79 \pm 12,85	100,22 \pm 57,33
Casca de soja	6,08 \pm 0,71	30,50 \pm 7,73	174,01 \pm 45,31	24,12 \pm 5,33	90,82 \pm 21,71
JUNDIÁ					
Quirera de arroz	1,22 \pm 0,30	95,59 \pm 29,31	519,89 \pm 115,05	108,95 \pm 51,11 ^{ab}	321,94 \pm 96,71
Milho moído	1,05 \pm 0,25	106,56 \pm 23,90	489,46 \pm 95,34	74,86 \pm 23,56 ^b	300,75 \pm 35,89
Polpa cítrica	1,02 \pm 0,16	126,75 \pm 26,44	552,56 \pm 94,15	132,42 \pm 20,89 ^a	317,63 \pm 72,56
Farelo de trigo	0,93 \pm 0,28	106,91 \pm 32,77	487,82 \pm 145,10	78,64 \pm 17,57 ^b	341,98 \pm 60,75
Casca de soja	0,98 \pm 0,24	106,44 \pm 24,62	576,46 \pm 85,45	99,63 \pm 22,97 ^{ab}	343,15 \pm 26,16

¹ Inclusão das fontes vegetais foi 200 g kg⁻¹ na dieta referência (Tabela 1).

^{a,b} Letras diferentes na mesma coluna, dentro da mesma espécie, indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

ingredientes vegetais (McGoogan & Reigh, 1996). Entretanto, neste mesmo estudo, tal relação foi baixa para a digestibilidade da proteína. No presente estudo, houve uma relação inversa entre o aumento da fibra alimentar nas dietas e a digestibilidade protéica para a tilápia, mas o mesmo não foi constatado para o jundiá.

O jundiá e a tilápia responderam de forma similar ao aumento de fibra nas fontes vegetais. O jundiá, porém, demonstrou menor habilidade em digerir as fontes amiláceas e em utilizar a proteína existente nas fontes vegetais. Dessa forma, a baixa relação entre a digestibilidade protéica e energética e a quantidade de fibra nas fontes vegetais para o jundiá é mais um indicativo de sua baixa capacidade em utilizar carboidratos amiláceos do que uma suposta tolerância a fontes fibrosas. Similar ao descrito para peixes carnívoros, Oliveira Filho & Fracalossi (2006) verificaram maior competência do jundiá para digerir ingredientes protéicos do que ingredientes energéticos, ricos em amido. Moro *et al.* (2010) encontraram baixa capacidade de utilização de dextrina (até 157 g kg⁻¹) por juvenis de jundiá e suposta sobrecarga metabólica para níveis acima de 130 g kg⁻¹.

A maior digestibilidade da QA para a tilápia em comparação ao MM provavelmente está relacionada à maior área superficial dos grânulos de amido do arroz, o que os torna mais suscetíveis à hidrólise enzimática (Tatsumi *et al.*, 2007). Os índices de desempenho da tilápia corresponderam aos CDAs das fontes vegetais, corroborando os resultados relatados para o salmão Chinook (Buhler & Halver, 1961), truta arco-íris (Bromley & Adkins, 1983; Hilton *et al.*, 1983) e tilápia-do-Nilo (Anderson *et al.*, 1984).

Excluída a dieta PC, cuja baixa aceitação deve ter afetado os resultados obtidos, o desempenho similar apresentado entre jundiás alimentados com as distintas fontes vegetais provavelmente se relaciona a um período experimental insuficiente (Leenhouders *et al.*, 2006), considerando que a espécie apresenta velocidade de crescimento menor em relação à tilápia.

A maior deposição de gordura corporal, somada aos maiores índices hepatossomáticos (Tabela 5), em tilápias e jundiás alimentados com MM e QA, ricos em amido, sugere que parte da energia proveniente do amido foi utilizada para a biossíntese de lipídios (Hemre *et al.*, 2002; Wu *et al.*, 2007), o que não aconteceu com as dietas ricas em fibra alimentar.

A quantidade de sólidos solúveis no quimo intestinal foi menor para os grupos alimentados com PC em ambas as espécies, mas particularmente para o jundiá. Isto possivelmente reflete uma maior

diluição dos nutrientes solúveis no intestino proporcionada pela presença de fibra solúvel na dieta. Refstie *et al.* (1999) relacionaram o maior teor de água encontrado no intestino distal de salmão-do-Atlântico como possível resposta adaptativa aos NSPs solúveis, viscosos e osmoticamente ativos do alimento. Storebakken *et al.* (1985) e Leenhouders *et al.* (2007) também observaram aumento na umidade da digesta intestinal pela presença de NSPs viscosos na dieta, o que pode explicar o baixo índice de sólidos solúveis no quimo intestinal dos peixes alimentados com PC.

As divergências de aproveitamento de carboidratos entre as espécies de peixes refletem diferenças anatômicas e funcionais do trato gastrointestinal e órgãos anexos (Krogdahl *et al.*, 2005). A ausência de diferença na morfologia intestinal encontrada para a tilápia pode estar ligada a atributos morfofisiológicos da espécie que lhe conferem grande período de retenção da digesta e maior adaptação a itens vegetais (Rust, 2002; Leenhouders *et al.*, 2008). No entanto, a grande variação entre indivíduos do mesmo grupo experimental para ambas as espécies, provavelmente limitou a análise dos dados, sugerindo que seja adotado um número amostral maior para este tipo de análise, em estudos futuros.

Similarmente ao observado para os jundiás do grupo PC, um aumento na espessura da camada muscular intestinal foi relatado em ratos (Brown *et al.*, 1979) e primatas (Paulini *et al.*, 1987) alimentados com fibra solúvel, o que foi justificado como uma adaptação das camadas musculares para propulsar o grande volume de digesta viscosa ao longo do intestino. Kihara & Sakata (1997) observaram tal aumento em tilápias nilóticas alimentadas com dietas contendo amido resistente e quitina, atribuindo-o às propriedades de fibra alimentar de tais ingredientes. Estes autores demonstraram que o aumento na espessura da camada muscular ocorreu por hipertrofia e não por hiperplasia.

A capacidade do jundiá de assimilação de fontes vegetais ricas em amido é comparativamente menor do que aquela exibida por uma espécie tipicamente onívora como a tilápia nilótica. No entanto, a alteração observada na morfologia intestinal do jundiá possivelmente indica certa capacidade adaptativa à dieta, sugerindo à espécie um hábito alimentar onívoro com tendência à carnivoría. Já as fontes fibrosas, de modo geral, foram pouco aproveitadas por ambas as espécies.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao doutorando Rodrigo Vargas Anido pelo auxílio nas análises estatísticas. Ao Professor Pedro Barreto do Laboratório de Reologia e Polímeros Naturais (Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos, UFSC) pelo auxílio nas análises de índice de refração. Ao Prof. Francisco Tanaka do Núcleo de Apoio à Pesquisa em Microscopia Eletrônica Aplicada à Agricultura (NAP/MEPA-ESALQ, USP) pelo auxílio nas análises de histomorfometria. Agradecimentos também são devidos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas bolsas concedidas à primeira e última autora, respectivamente.

6. Referências

- Amirkolaie, A.K.; Leenhouders, 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* L.) (2005) *Aquac. Res.*, **36**, 1157-1166.
- Anderson, J.; Jackson, A.J.; Matty, A.J. & Capper, B.S. Effects of dietary carbohydrate and fibre on the tilapia *Oreochromis niloticus* (Linn.) (1984) *Aquaculture*, **37**, 303-314.
- Association of Official Analytical Chemists—AOAC (1999) *Official Methods of Analysis*. 16th edn. AOAC, Washington, DC, USA.
- Bach Knudsen, K.E. The nutritional significance of “dietary fibre” analysis. (2001) *Anim. Feed Sci. Technol.*, **90**, 3-20.
- Bremer Neto, H.; Graner, C.A.F.; Pezzato, L.E.; Padovani, C.R. & Cantelmo, O.A. Diminuição do teor de óxido de cromo (III) usado como marcador externo. (2003) *Rev. Bras. Zootec.*, **32**, 249-255.
- Bromley, P.J. & Adkins, T.C. The influence of cellulose filler on feeding, growth and utilization of protein and energy in rainbow trout, *Salmo gairdnerii* Richardson. (1983) *J. Fish Biol.*, **24**, 235-244.
- Brown, R.C.; Kelleher, J. & Losowsky, M.S. The effect of pectin on the structure and function of the rat small intestine. (1979) *Br. J. Nutr.*, **42**, 357-365.

- Buhler, D.R. & Halver, J.E. Nutrition of salmonoid fishes. IX. Carbohydrate requirements of Chinook salmon. (1961) *J. Nutr.*, **74**, 307-317.
- Bureau, D.P.; Harris, A.M. & Cho, C.Y. Apparent digestibility of rendered animal protein ingredients for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). (1999) *Aquaculture*, **180**, 345-358.
- Cargnin-Ferreira, E. & Sarasquete, C. (2008) *Histofisiología de Moluscos Bivalvos Marinos*. CSIC, Madrid.
- Cho, C.Y. & Slinger, S.J. (1979) Apparent digestibility measurement in feedstuffs for rainbow trout. In: *Proc. World Symp. on Finfish Nutrition and Fishfeed Technology* (Halver, J. & Tiews, K. eds.), Vol.2, pp. 239-247. Heenemann, Berlin.
- Dias, J.; Huelvan, C.; Dinis, M.T. & Métailler, R. Influence of dietary bulk agents (silica, cellulose and a natural zeolite) on protein digestibility, growth, feed intake and feed transit time in European seabass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. (1998) *Aquat. Living Resour.*, **11**, 219-226.
- Fracalossi, D.M.; Meyer, G.; Santamaria, F.M.; Weingartner, M. & Zaniboni-Filho, E. Desempenho do jundiá, *Rhamdia quelen*, e do dourado, *Salminus brasiliensis*, em viveiros de terra na região sul do Brasil. (2004) *Acta Sci. Anim. Sci.*, **26**, 345-352.
- Fracalossi, D.M.; Moro, G.V. & Yasumaru, F.A. Jundiá catfish farming in Southern Brazil. (2007) *Glob. Aquac. Advocate*, **10**, 68-70.
- Hemre, G.I.; Mommsen, T.P. & Krogdahl, Å. Carbohydrates in fish nutrition: effects on growth, glucose metabolism and hepatic enzymes. (2002) *Aquac. Nutr.*, **8**, 175-194.
- Hetland, H.; Choct, M. & Svihus, B. Role of insoluble non-starch polysaccharides in poultry nutrition. (2004) *World's Poult. Sci. J.*, **60**, 415-422.
- Hilton, J.W.; Atkinson, J.L. & Slinger, S.J. Effect of increased dietary fiber on the growth of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). (1983) *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **40**, 81-85.
- Iji, P.A. The impact of cereal non-starch polysaccharides on intestinal development and function in broiler chickens. (1999) *World's Poult. Sci. J.*, **55**, 375-387.
- Kihara, M. & Sakata, T. Fermentation of dietary carbohydrates to short-chain fatty acids by gut microbes and its influence on intestinal morphology of a detritivorous teleost tilapia (*Oreochromis niloticus*). (1997) *Comp Biochem. and Physiol., Part A*, **118**, 1201-1207.

- Kramer, D. L. & Bryant, M. J. Intestine length in the fishes of a tropical stream: 2. Relationships to diet - the long and short of a convoluted issue. (1995) *Environ. Biol. Fishes*, **42**, 129–141.
- Krogdahl, Å; Hemre, G.-I. & Mommsen, T.P. Carbohydrates in fish nutrition: digestion and absorption in postlarval stages. (2005) *Aquac. Nutr.*, **11**, 103-122.
- 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. (2006) *Aquac. Nutr.*, **12**, 111–116.
- Leenhouwers, J.I.; Pellikaan, W.F.; Huizing, H.F.A.; Coolen, R.O.M.; Verreth, J.A.J. & Schrama, J.W. Fermentability of carbohydrates in an in vitro batch culture method using inocula from Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). (2008) *Aquac. Nutr.*, **14**, 523-532.
- Leenhouwers, J.I.; Ter VELD, M.; Verreth, A.J. & Schrama, J.W. Digesta characteristics and performance of African catfish (*Clarias gariepinus*) fed cereal grains that differ in viscosity. (2007) *Aquaculture*, **264**, 330-341.
- Maina, J.G.; Beames, R.M.; Higgs, D.; Mbugua, P.N.; Iwama, G. & Kisia, S.M. Digestibility and feeding value of some feed ingredients fed to tilapia *Oreochromis niloticus* (L.). (2002) *Aquac. Res.*, **33**, 853-862.
- McDougall, G.J.; Morrison, I.M.; Derek Stewart, D. & Hillman, J.R. Plant cell walls as dietary fibre: range, structure, processing and function. (1996) *J. Sci. Food Agric.*, **70**, 133-150.
- McGoogan, B.B. & Reigh, R.C. Apparent digestibility of selected ingredients in red drum (*Sciaenops ocellatus*) diets. (1996) *Aquaculture*, **141**, 233-244.
- Meyer, G. & Fracalossi, D.M. Protein requirement of jundiá fingerlings, *Rhamdia quelen*, at two dietary energy concentrations. (2004) *Aquaculture*, **240**, 331-343.
- Montes-Girao, P.J. & Fracalossi, D.M. Dietary lysine requirement as basis to estimate the essential dietary amino acid profile for jundiá, *Rhamdia quelen*. (2006) *J. World Aquac. Soc.*, **37**, 388-396.
- Moro, G.V.; Camilo, R.Y.; Moraes, G. & Fracalossi, D.M. Dietary non-protein energy sources: growth, digestive enzyme activities and nutrient utilization by the catfish jundiá, *Rhamdia quelen*. (2010) *Aquac. Res.*, **41**, 394-400.

- Mwachireya, S.A.; Beames, R.M.; Higgs, D.A. & Dosanjh, B.S. Digestibility of canola protein products derived from the physical, enzymatic and chemical processing of commercial canola meal in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) held in fresh water. (1999) *Aquac. Nutr.*, **5**, 73-82.
- Naylor, R.L.; Hardy, R.W.; Bureau, D.P.; Chiu, A.; Elliott, M.; Farrell, A.P.; Forster, I.; Gatlin, D.M.; Goldberg, R.J.; Hua, K. & Nichols, P.D. Feeding aquaculture in an era of finite resources. (2009) *Proc. Natl. Acad. Sci.*, **106**, 15103-15110.
- Oliveira Filho, P.R.C. & Fracalossi, D.M. Coeficientes de digestibilidade aparente de ingredientes para juvenis de jundiá. (2006) *Rev. Bras. Zootec.*, **35**, 1581-1587.
- Øvrum Hansen, J. & Storebakken, T. Effects of dietary cellulose level on pellet quality and nutrient digestibilities in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). (2007) *Aquaculture*, **272**, 458-465.
- Paulini, I.; Mehta, T. & Hargis, A. Intestinal structural changes in African Green monkeys after long term psyllium or cellulose feeding. (1987) *J. Nutr.*, **117**, 253-266.
- Refstie, S.; Svihus, B.; Shearer, K.D. & Storebakken, T. Nutrient digestibility in Atlantic salmon and broiler chickens related to viscosity and non-starch polysaccharide content in different soyabean products. (1999) *Anim. Feed Sci. Technol.*, **79**, p.331-345.
- 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. (2005) *Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos - Composição de Alimentos e Exigências Nutricionais*. 2nd edn. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- Rust, M.B. (2002) Nutritional Physiology. In: *Fish Nutrition* (Halver, J.E. & Hardy, R.W. eds.), 3rd edn. pp.393-412. Academic Press, California.
- Stone, D. A. J. Dietary carbohydrate utilization by fish. (2003) *Rev. Fish. Sci.*, **11**, 337-369.
- Storebakken, T. Binders in fish feeds I. Effect of alginate and guar gum on growth, digestibility, feed intake and passage through the gastrointestinal tract of rainbow trout. (1985) *Aquaculture*, **47**, 11-26.
- Tatsumi, H.; Katano, H. & Ikeda, T. Kinetics analysis of glucoamylase-catalyzed hydrolysis of starch granules from various botanical sources. (2007) *Biosci, Biotechnol. Biochem.*, **71**, 946-950.

- Tengjaroenkul, B., Smith, B.J.; Caceci, T. & Smith, S.A. Distribution of intestinal enzyme activities along the intestinal tract of cultured Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L. (2000) *Aquaculture*, **182**, 317-327.
- Webster, C.D. & Lim, C.E. (2002) *Nutrient requirements and feeding of finfish for aquaculture*. CABI Publishing, Wallingford Oxon, UK.
- Wu, X.-Y.; Liu, Y.-L.; Tian, L.-X.; Mai, K.-S. & Yang, H.-J. Utilization of different raw and pre-gelatinized starch sources by juvenile yellowfin seabream *Sparus latus*.(2007) *Aquac. Nutr.*, **13**, 389-396.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta dissertação constitui parte de um projeto que objetiva o estudo de carboidratos na nutrição do jundiá e da tilápia-do-Nilo. Neste projeto se inserem um trabalho de doutorado, cuja abordagem se concentra no estudo do metabolismo de carboidratos amiláceos, e outro trabalho de mestrado, que visa avaliar o efeito de carboidratos na dieta na microbiologia intestinal das espécies.

O jundiá, em sua fase mais jovem, apresenta grande suscetibilidade à ictioftíriase, doença causada pelo protozoário ciliado *Ichthyophthirius multifiliis* e responsável por altas taxas de mortalidade na produção da espécie. No ensaio que envolveu desempenho e fisiologia intestinal, os exemplares de jundiá foram acometidos duas vezes por esta enfermidade durante o período de aclimatação. Procedeu-se a banhos, em dias intercalados, com cloreto de sódio (8 g L^{-1}) durante uma semana. Como medida profilática, os peixes também foram submetidos a banhos com tetraciclina (70 mg L^{-1}) durante cinco dias consecutivos. Por ocasião do tratamento, os peixes eram alimentados em quantidade restrita, uma vez ao dia. Durante todos os ensaios experimentais, para ambas as espécies, o sistema de recirculação de água foi mantido ligeiramente salinizado (2 g L^{-1}) por profilaxia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DA INTRODUÇÃO

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS (AACC). The definition of dietary fiber. **Cereal Foods World**, v.46, p.112-126, 2001.

AMIRKOLAIE, A. K.; 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* L.). **Aquaculture Research**, v.36, p.1157-1166, 2005.

ANDERSON, J.; JACKSON, A.J.; MATTY, A.J.; CAPPER, B.S. Effects of dietary carbohydrate and fibre on the tilapia *Oreochromis niloticus* (Linn.). **Aquaculture**, v.37, p.303-314, 1984.

ASP, N-G. Dietary carbohydrates: classification by chemistry and physiology. **Food Chemistry**, v.57, p.9-14, 1996.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). **Official Methods of Analysis**. 16.ed. Washington, D.C.: Association of Official Analytical Chemists, 1999. 1141p.

BACH KNUDSEN, K.E. Carbohydrate and lignin contents of plant materials used in animal feeding. **Animal Feed Science Technology**, v.67, p.319-338, 1997.

BACH KNUDSEN, K.E. The nutritional significance of “dietary fibre” analysis. **Animal Feed Science and Technology**, v.90, p.3-20, 2001.

BELAL, I.E.H. Replacing dietary corn with barley seeds in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.), feed. **Aquaculture Research**, v.30, p.265-269, 1999.

BROWN, R.C.; KELLEHER, J.; LOSOWSKY, M.S. The effect of pectin on the structure and function of the rat small intestine. **British Journal of Nutrition**, v.42, p.357-365, 1979.

BRUNSGAARD, G. Effects of cereal type and feed particle size on morphological characteristics, epithelial cell proliferation, and lectin binding patterns in the large intestine of pigs. **Journal of Animal Science**, v.76, p.2787-2798, 1998.

CHAKRABARTI, I.; GANI, Md.A.; CHAKI, K.K.; SUR, R.; MISRA, K.K. Digestive enzymes in 11 freshwater teleost fish species in relation to food habit and niche segregation. **Comparative Biochemistry and Physiology, Part A**, v.112, p.167-177, 1995.

CHAMP, M.; ANNA-MARIA LANGKILDE, A-M; FRED BROUNS, F.; KETTLITZ, B.; COLLET, Y.B. Advances in dietary fibre characterization. 1. Definition of dietary fibre, physiological relevance, health benefits and analytical aspects. **Nutrition Research Reviews**, v. 16, p. 71–82, 2003.

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

CHOCT, M.; HUGHES, R.J.; WANG, J.; BEDFORD, M.R.; MORGAN, A.J.; ANNISON, G. Increased small intestinal fermentation is partly responsible for the anti-nutritive activity of non-starch polysaccharides in chickens. **British Poultry Science**, v.37, p.609-621, 1996.

CUMMINGS, J.H.; EDMOND, L.M.; MAGEE, E.A. Dietary carbohydrates and health: do we still need the fibre concept? **Clinical Nutrition Supplements**, v.1, p.5-17, 2004.

DAS, K.M.; TRIPATHI, S.D. Studies on the digestive enzymes of grass carp, *Ctenopharyngodon idella* (Val.). **Aquaculture**, v.92, p.21-32, 1991.

DE VRIES, J.W.; PROSKY, L.; LI, B.; CHO, S. A historical perspective on defining dietary fiber. **Cereal Foods World**, v.44, p.367-369, 1999.

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

ENGLYST, H.N.; CUMMINGS, J.H. Improved method for measurement of dietary fiber as non-starch polysaccharides in plant foods., **The Journal of AOAC International**, v.71, p.808-814, 1988.

ENGLYST, H.N.; TROWELL, H.; SOUTHGATE, D.A.T.; CUMMINGS, J.H. Dietary fiber and resistant starch. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v.46, p.873-874, 1987.

FOLINO, M.; McINTYRE, A.; YOUNG, G.P. Dietary fibers differ in their effects on large bowel epithelial proliferation and fecal fermentation-dependent events in rats. **Journal of Nutrition**, v.125, p.1521-1528, 1995.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **The state of world fisheries and aquaculture 2008**. FAO, 2008.

FRACALOSSO, D. M.; BORBA, M. R. de; OLIVEIRA-FILHO, P. R. C. de; MONTES-GIRAO, P. J.; CANTON, R. O mito da onivoria do jundiá. **Revista Panorama da Aquicultura**, v. 17, p. 36-40, 2007b.

FRACALOSSO, D.M.; MEYER, G.; SANTAMARIA, F.M.; WEINGARTNER, M.; ZANIBONI-FILHO, E. Desempenho do jundiá, *Rhamdia quelen*, e do dourado, *Salminus brasiliensis*, em viveiros de terra na região sul do Brasil. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v.26, p.345-352, 2004.

FRACALOSSO, D.M.; MORO, G.V.; YASUMARU, F.A. Jundiá catfish farming in Southern Brazil. **Global Aquaculture Advocate**, v.10, n.4, p.68-70, 2007a.

FRENCH, D. Organization of starch granules. In: WHISTLER, R.L.; BEMILLER, J.N.; PASCHAL, E.F. **Starch: chemistry and technology**. 2.ed, London: Academic Press, 1984. p.183-247.

GATLIN III, D.M.; BARROWS, F.T.; BROWN, P.; DABROWSKI, K.; GAYLORD, T.G.; HARDY, R.W.; HERMAN, E.; HU, G.; KROGDAHL, Å.; NELSON, R.; OVERTURF, K.; RUST, M.; SEALEY, W.; SKONBERG, D.; SOUZA, E.J.; STONE, D.; WILSON, R.; WURTELE, E. Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: a review. **Aquaculture Research**, v.38, p.551-579, 2007.

GLENCROSS, B. The influence of soluble and insoluble lupin non-starch polysaccharides on the digestibility of diets fed to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, v.294, p.256–261, 2009.

GOÑI, I.; DÍAZS-RUBIO, M.E.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. Towards an updated methodology for measurement of dietary fiber, including associated polyphenols, in food and beverages. **Food Research International**, v.42, p.840-846, 2009.

GONZÁLEZ-ALVARADO, J.M.; JIMÉNEZ-MORENO, E.; LÁZARO, R.; MATEOS, G.G. Effect of type of cereal, heat processing of the cereal, and inclusion of fiber in the diet on productive performance and digestive traits of broilers. **Poultry Science**, v.86, p.1705-1715, 2007.

HEDEMANN, M.S.; ESKILDSEN, M.; LAERKE, H.N.; PEDERSEN, C.; LINDBERG J.E.; LAURINEN, P.; BACH KNUDSEN, K.E. Intestinal morphology and enzymatic activity in newly weaned pigs fed contrasting fiber concentrations and fiber properties. **Journal of Animal Science**, v.84, p.1375-1386, 2006.

HETLAND, H.; CHOCT, M.; SVIHUS, B. Role of insoluble non-starch polysaccharides in poultry nutrition. **World's Poultry Science Journal**, v.60, p.415-422, 2004.

HETLAND, H.; SVIHUS, B. Effect of oat hulls on performance, gut capacity and feed passage time in broiler chickens. **British Poultry Science**, v.42, p.354-361, 2001.

HILTON, J.W.; ATKINSON, J.L.; SLINGER, S.J. Effect of increased dietary fiber on the growth of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v.40, p.81-85, 1983.

HORN, M.H. Biology of marine herbivorous fishes. In: BARNES, H.; BARNES, M. (Ed.). **Oceanography and Marine Biology: an annual review**. Aberdeen: Aberdeen University Press, 1989. p.167-272.

III, P.A. The impact of cereal non-starch polysaccharides on intestinal development and function in broiler chickens. **World's Poultry Science Journal**, v.55, p.375-387, 1999.

IKEGAMI, S.; TSUCHIHASHI, F.; HARADA, H.; TSUCHIHASHI, N.; NISHIDE, E.; INNAMI, S. Effect of viscous indigestible polysaccharides on pancreatic-biliary secretion and digestive organs in rats. **Journal of Nutrition**, v.120, p.353-360, 1990.

JACOBS, L.R.; SCHNEEMAN, B.O. Effects of dietary wheat bran on rat colonic structure and mucosal cell growth. **Journal of Nutrition**, v.111, p.798-803, 1981.

JIMÉNEZ-MORENO, E.; GONZÁLEZ-ALVARADO, J.M.; LÁZARO, R.; MATEOS, G.G. Effects of type of cereal, heat processing of the cereal, and fiber inclusion in the diet on gizzard pH and nutrient utilization in broilers at different ages. **Poultry Science**, v.88, p.1925-1933, 2009.

KIM, J.C.; MULLAN, B.P.; HAMPSON, D.J.; PLUSKE, J.R. Addition of oat hulls to an extruded rice-based diet for weaner pigs ameliorates the incidence of diarrhoea and reduces indices of protein fermentation in the gastrointestinal tract. **British Journal of Nutrition**, v.99, p.1217-1225, 2008.

KRAMER, D. L.; BRYANT, M. J. Intestine length in the fishes of a tropical stream: 2. Relationships to diet - the long and short of a convoluted issue. **Environmental Biology of Fishes**, v. 42, p. 129–141, 1995.

KRAUGERUD, O.F.; PENN, M.; STOREBAKKEN, T.; REFSTIE, S.; KROGDAHL, Å.; SVIHUS, B. Nutrient digestibilities and gut function in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets with cellulose or non-starch polysaccharides from soy. **Aquaculture**, v.273, p.96-107, 2007.

KROGDAHL, Å.; PENN, M.; THORSEN, J.; REFSTIE, S.; BAKKE, A.M. Important antinutrients in plant feedstuffs for aquaculture: an update on recent findings regarding responses in salmonids. **Aquaculture Research**, v.41, p.333-344, 2010.

KROGDAHL, Å.; HEMRE, G.-I.; MOMMSEN, T.P. Carbohydrates in fish nutrition: digestion and absorption in postlarval stages. **Aquaculture Nutrition**, v.11, p.103-122, 2005.

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.

LEENHOUWERS, J.I.; PELLIKAAN, W.F.; HUIZING, H.F.A.; COOLEN, R.O.M.; VERRETH, J.A.J.; SCHRAMA, J.W. Fermentability of carbohydrates in an in vitro batch culture method using inocula from Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). **Aquaculture Nutrition**, v.14, p.523–532, 2008.

LEENHOUWERS, J.I.; TER VELD, M.; VERRETH, A.J.; SCHRAMA, J.W.; Digesta characteristics and performance of African catfish (*Clarias gariepinus*) fed cereal grains that differ in viscosity. **Aquaculture**, v.264, p.330–341, 2007

LINDSAY, G.J.H.; HARRIS, J.E. Carboxymethylcellulase activity in the digestive tracts of fish. **Journal of Fish Biology**, v. 16, p. 219–233, 1980.

LUPTON, J.R.; KURTZ, P.P. Relationship of colonic luminal short-chain fatty acids and pH to in vivo cell proliferation in rats. **Journal of Nutrition**, v.123, p.1522–1530, 1993.

MARIADASON, J.M.; CATTO-SMITH, A.; GIBSON, P.R. Modulation of distal colonic epithelial barrier function by dietary fibre in normal rats. **Gut**, v.44, p.394–399, 1999.

MATEOS, G.G.; MARTÍN, F.; LATORRE, M.A.; VICENTE, B.; LÁZARO, R. Inclusion of oat hulls in diets for young pigs based on cooked maize or cooked rice. **Animal Science**, v.82, p.57–63, 2006.

McCLEARY, B.V. Dietary fibre analysis. **Proceedings of the Nutrition Society**, v.62, p.3–9, 2003.

McDOUGALL, G. J.; MORRISON, I. M.; DEREK STEWART, D.; HILLMAN, J. R. Plant cell walls as dietary fibre: range, structure, processing and function. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 70, p. 133–150, 1996.

MEURER, S.; ZANIBONI FILHO, E. Hábito alimentar do jundiá, *Rhamdia quelen* (Pisces, Siluriformes, Pimelodidae), na região do alto rio Uruguai. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ICTIOLOGIA, 12., 1997, São Paulo. *Anais...* São Paulo, 1997. p. 29.

MOLIST, F.; GÓMEZ DE SEGURA, A.; GASA, J.; HERMES, R.G.; MANZANILLA, E.G.; ANGUITA, M.; PÉREZ, J.F. Effects of the insoluble and soluble dietary fibre on the physicochemical properties of digesta and the microbial activity in early weaned piglets. **Animal Feed Science and Technology**, v.149, p.346-353, 2009.

MONTAGNE, L.; PLUSKE, J.R.; HAMPSON, D.J. A review of interactions between dietary fibre and the intestinal mucosa, and their consequences on digestive health in young non-ruminant animals. **Animal Feed Science and Technology**, v.108, p.95-117, 2003.

MORO, G.V.; CAMILO, R.Y.; MORAES, G.; FRACALOSI, D.M. Dietary non-protein energy sources: growth, digestive enzyme activities and nutrient utilization by the catfish jundiá, *Rhamdia quelen*. **Aquaculture Research**, v.41, p.394-400, 2010

MOUNTFORT, D.O.; CAMPBELL, J.; CLEMENTS, K.D. Hindgut fermentation in three species of marine herbivorous fish. **Applied and Environmental Microbiology**, v.68, p.1374-1380, 2002.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). **Nutrient Requirements of Fishes**. Washington, DC: National Academic Press, 1993. 102p.

NAYLOR, R.L.; HARDY, R.W.; BUREAU, D.P.; CHIU, A.; ELLIOTT, M.; FARRELL, A.P.; FORSTER, I.; GATLIN, D.M.; GOLDBURG, R.J.; HUA, K.; NICHOLS, P.D. Feeding aquaculture in an era of finite resources. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v.106, p.15103-15110, 2009.

OJEDA, F.P.; CÁCERES, C.W. Digestive mechanisms in *Aplodactylus punctatus* (Valenciennes): a temperate marine herbivorous fish. **Marine Ecology Progress Series**, v.118, p.37-42, 1995.

OLIVEIRA FILHO, P.R.C.; FRACALOSI, D.M. Coeficientes de digestibilidade aparente de ingredientes para juvenis de jundiá. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.4, p.1581-1587, 2006.

ØVRUM HANSEN, J.; STOREBAKKEN, T. Effects of dietary cellulose level on pellet quality and nutrient digestibilities in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, v.272, p.458-465, 2007.

PENG, L.; ZHONG-RONG, L.; GREEN, R.S.; HOLZMAN, I.R.; LIN, J. Butyrate enhances the intestinal barrier by facilitating tight junction assembly via activation of AMP-activated protein kinase in caco-2 cell monolayers. **Journal of Nutrition**, v.139, p.1619-1625, 2009.

PIEL, C.; MONTAGNE, L.; SÈVE, B.; LALLÈS, J.-P. Increasing digesta viscosity using carboxymethylcellulose in weaned piglets stimulates ileal goblet cell numbers and maturation. **Journal of Nutrition**, v.135, p.86-91, 2005.

REFSTIE, S.; SVIHUS, B.; SHEARER, K.D.; STOREBAKKEN, T. Nutrient digestibility in Atlantic 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.

ROCA-CANUDAS, M.; ANGUITA, M.; NOFRARÍAS, M.; MAJÓ, N. PÉREZ DE ROZAS, A.M.; MARTÍN-ORÚE, S.M.; PÉREZ, J.F.; PUJOLS, J.; SEGALÉS, J.; BADIOLA, I. Effects of different types of dietary non-digestible carbohydrates on the physico-chemical properties and microbiota of proximal colon digesta of growing pigs. **Livestock Science**, v.109, p.85-88, 2007.

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. **Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos - Composição de Alimentos e Exigências Nutricionais**. 2.ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Zootecnia, 2005. 186p.

RUST, M.B. Nutritional Physiology. In: Halver, J.E.; Hardy, R.W. (Ed.). **Fish Nutrition**. 3 ed. California: Academic Press, 2002. cap.7, p.393-412.

SCHEDULE, K.; PFAFFL, M.W.; PLITZNER, C.; MEYER, H.H.; WINDISCH, W. Effects of insoluble dietary fibre on intestinal morphology and mRNA expression pattern of inflammatory, cell cycle

and growth marker genes in a piglet model. **Archives of Animal Nutrition**, v.62, p.427-438, 2008.

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

STONE, D. A. J. Dietary carbohydrate utilization by fish. **Reviews in Fishery Science**, v. 11, p. 337-369, 2003.

STONE, D.A.J.; ALLAN, G.L.; ANDERSON, A.J. Carbohydrate utilization by juvenile silver perch, *Bidyanus bidyanus* (Mitchell). III. The protein-sparing effect of wheat starch-based carbohydrates. **Aquaculture Research**, v. 34, p. 123-134, 2003.

STOREBAKKEN, T. Binders in fish feeds I. Effect of alginate and guar gum on growth, digestibility, feed intake and passage through the gastrointestinal tract of rainbow trout, **Aquaculture**, v.47, p.11-26, 1985.

TACON, A.G.J.; METIAN, M. Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: trends and future prospects. **Aquaculture**, v.285, p.146-158, 2008.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Paredes celulares: estrutura, biogênese e expansão. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. cap.15, p.339-364.

TENGJAROENKUL, B., SMITH, B.J.; CACECI, T.; SMITH, S.A. Distribution of intestinal enzyme activities along the intestinal tract of cultured Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L. **Aquaculture**, v. 182, p. 317-327, 2000.

THEANDER, O.; AMAN, P.; WESTERLUND, E.; ANDERSSON, R.; PETTERSSON, D. Total dietary fiber determined as neutral sugar residues, uronic acid residues, and Klason lignin (the Uppsala method): collaborative study. **The Journal of AOAC International**, v.78, p.1030-1044, 1995.

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

VAN SOEST, P. J. Development of a comprehensive system of feed analyses and its application to forages. **Journal of Animal Science**, v. 26, p.119-128, 1967.

VANDERHOOF, J.A. Immunonutrition: the role of carbohydrates. **Nutrition**, v.14, p.595-598, 1998.

VOET, D.; VOET, J. **Bioquímica**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 1616p.

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

WU, X.-Y.; LIU, Y.-L.; TIAN, L.-X.; MAI, K.-S.; YANG, H.-J. Utilization of different raw and pre-gelatinized starch sources by juvenile yellowfin seabream *Sparus latus*. **Aquaculture Nutrition**, v.13, p.389-396, 2007.

ZIMMERMANN, S.; FITZSIMMONS, K. Tilapicultura intensiva. In: CYRINO, J.E.P.; URBINATI, E.C.; FRACALOSSO, D.M.; CASTAGNOLLI, N. (Ed.). **Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva**. São Paulo: TecArt, 2004.cap.9, p.239-266.

ANEXO



Figura 1. Ensaio de desempenho e fisiologia intestinal. (A) Pesagem diária das dietas experimentais a serem fornecidas duas vezes ao dia. (B) Unidades experimentais. (C) Medida rotineira dos parâmetros de qualidade de água.

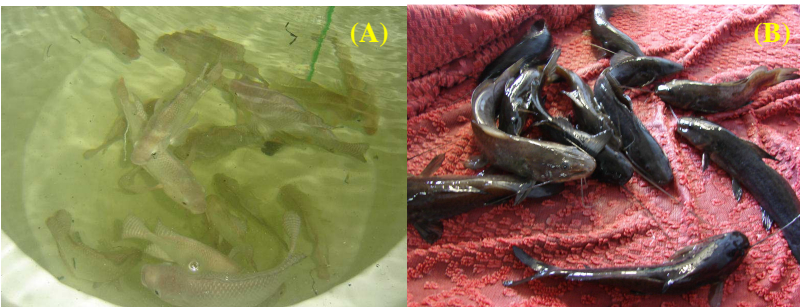


Figura 2. Exemplos utilizados no ensaio de digestibilidade. (A) Tilápias-do-Nilo em unidade experimental. (B) Jundiás em biometria para entrada em unidade experimental



Figura 3. Ensaio de digestibilidade. (A) Unidades experimentais. (B) Tubo coletor de fezes por sedimentação. (C) Isopor com gelo durante coleta de fezes.