

**UFRRJ**

**INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA  
E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

**TESE**

**Formulação e avaliação físico-química e tecnológica de  
rações extrudadas para peixes**

**Arturo Meléndez Arévalo**

**2019**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E  
TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

**FORMULAÇÃO E AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E  
TECNOLÓGICA DE RAÇÕES EXTRUDADAS PARA PEIXES**

**ARTURO MELENDEZ AREVALO**

*Sob a Orientação do Professor DSc.*  
**José Luis Ramírez Ascheri**

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos**, no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Área de Concentração em Tecnologia de Alimentos.

Seropédica - RJ  
Junho de 2019

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M519f Melendez Arevalo, Arturo, 1976-  
Formulação e avaliação físico-química e tecnológica de  
rações extrudadas para peixes / Arturo Melendez  
Arevalo. - Seropédica, 2019.  
77 f.: il.

Orientador: José Luis Ramírez Ascheri.  
Tese(Doutorado). -- Universidade Federal Rural do Rio  
de Janeiro, Programa De Pós-Graduação em Ciência e  
Tecnologia de Alimentos, 2019.

1. Extrusão termoplástica. 2. Aquicultura. 3.  
Ração. 4. Substituição de Proteína. 5. Caracterização  
físico-química. I. Ramírez Ascheri, José Luis, 1955-,  
orient. II Universidade Federal Rural do Rio de  
Janeiro. Programa De Pós-Graduação em Ciência e  
Tecnologia de Alimentos III. Título.

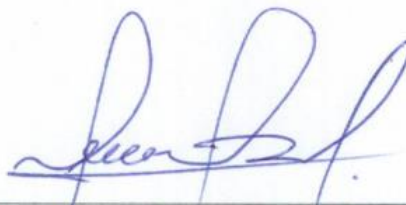
**“ O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001”. “ This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- Brasil (CAPES) – Finance Code 001”**

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE  
ALIMENTOS

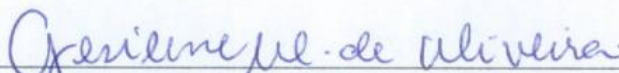
ARTURO MELENDEZ AREVALO

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos**, no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Área de Concentração em Tecnologia de Alimentos.

Tese aprovada em: 07/06/2019



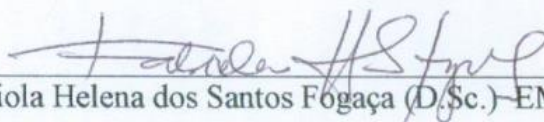
José Luis Ramírez Ascheri (D.Sc.) EMBRAPA-CTAA  
(Orientador)



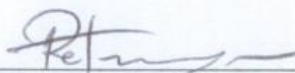
Gesilene Mendonça de Oliveira (D.Sc.) UFRRJ



Leonardo Rocha Vidal Ramos (D.Sc.) UFRRJ



Fabiola Helena dos Santos Fogaça (D.Sc.) EMBRAPA-CTAA



Renata Torrezan (D.Sc.) EMBRAPA-CTAA

## DEDICATÓRIA

Dedico esta tese a minha amadíssima mãe Lizabeth, a minha irmã Rosário, a meu irmão José Luis, a toda minha família, e a meu pai (*in memoriam*). Também a todos meus grandes amigos que conheci aqui no Brasil e que passaram a ocupar um lugar muito importante no meu coração, Camila e Roberto, Amanda e Leandro, Emanuel Araújo, Vinicius Pimentel, Leonardo Sarkis, Marcel Abreu, Fernando Morais Rodrigues e Everson Amaral (Zico) por todo o amor, compreensão, confiança, amizade, força e tempo que sempre me dedicaram.

## AGRADECIMENTOS

À Deus, porque foste tu que me ensinaste que nada é impossível, que perante qualquer dificuldade quem acredita no teu amor encontrará o caminho da superação.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, pela oportunidade concedida para realizar o curso.

À Embrapa Agroindústria de Alimentos, pelas instalações cedidas para a execução do presente estudo.

Ao meu orientador, D.Sc. José Luis Ramírez Ascheri e ao Ph.D. pesquisador Carlos Wanderlei Piler de Carvalho, pela atenção, paciência e orientação, além de todo conhecimento transmitido, pela condução do estudo nas diversas etapas, por todo seu apoio, encorajamento, amizade, e pelo conhecimento transmitido cada dia.

Aos Analistas e Técnicos da Planta Piloto IV EMBRAPA – CTAA, Adriana Minguita, Mariana Mattos, Senhor Francisco (Don Pancho), Neuri Menezes, pela acolhida, orientação e contribuição durante as análises.

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, em especial à professora Maria Ivone Barbosa, por incentivar e acreditar desde o início.

À Secretaria do Programa da Pós-Graduação na pessoa de Lucimar por todo seu apoio valioso.

Aos meus grandes amigos: Amanda Martins, Leandro Cappato, e Fernando Morais Rodrigues pela sua amizade sincera, conselhos, ensinamentos e por estar comigo em todo momento.

Aos meus amigos e colegas conterrâneos, Jhony Vargas e Joel Bazán Colque, pelo apoio e parceria em nossa vida acadêmica no Brasil.

Agradecimento muito especial para meu caro e grande amigo o professor colombiano José Arturo Romero Rodriguez, por todos seus ensinamentos, conselhos, e por sua amizade incondicional e sincera.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a finalização deste projeto.

## RESUMO GERAL

MELENDEZ-AREVALO, Arturo. **Formulação e avaliação físico-química e tecnológica de rações extrudadas para peixes, RJ.** 2019, 77p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Instituto de Tecnologia, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2019.

A aquicultura brasileira é uma atividade que nos últimos anos tem apresentado um expressivo crescimento. O sucesso desta atividade depende da utilização de rações com qualidade nutricional e baixos custos. A ração representa o maior custo de produção, por isso é necessário considerar sua produção utilizando matérias-primas e/o ingredientes alternativos e disponíveis em cada região. O objetivo deste estudo foi estudar o efeito das variáveis do processo de extrusão de duas dietas formuladas com dois níveis de inclusão de farelo de soja (FS) e farinha de carne e ossos (FCO), com teor de 35% de proteína bruta, para peixes em fase juvenil, utilizando uma ração comercial como controle. No capítulo I apresenta-se uma revisão de literatura sobre a importância da qualidade das matérias-primas, vantagens e desvantagens dos processos de fabricação de rações. No capítulo II apresenta-se experimentos com as formulações, processamento, e análises das rações. Foram realizados testes preliminares utilizando farinha de peixe e outras fontes proteicas na formulação, visando obter resultados de extrudabilidade dos ingredientes, aglutinação e formatação, semelhantes aos pellets da ração comercial. Posteriormente realizou-se a formulação final e as avaliações físico-químicas das rações comerciais para efeito de comparação. Processamentos com oito formulações contendo 250g de amostra cada, dieta “A” com 25% de FS e 40% de FCO, e a dieta “B” com 10% de FS e 55% de FCO foram processadas com 28 e 40% de umidade inicialmente, reduzindo depois para 20 e 25%. No processo de extrusão utilizou-se uma extrusora de parafuso único marca Brabender™, modelo 20DN. As temperaturas foram 50, 80, 100 °C, rotação do parafuso de 150 rpm, parafuso de 3:1 e matriz circular de 3mm. Os pellets resultantes foram avaliados quanto ao índice de expansão radial (IER) e índice de expansão seccional, densidade, absorção (IAA) e solubilidade (ISA) em água, propriedades de pasta (RVA), difração de raios-X, composição centesimal, minerais e perfil de aminoácidos. Os resultados obtidos dos testes preliminares não foram os esperados enquanto a sua formatação, impossibilitando sua caracterização física e tecnológica, descartando o material. Posteriormente foram realizadas as substituições dos ingredientes e feito ajustes nos parâmetros do processo. Os resultados com 28 e 40% de umidade, apresentaram valores muito heterogêneos nas propriedades físicas, porém alguns próximos aos valores da ração comercial. Isto foi determinante para reduzir os parâmetros de umidade. Os resultados com umidades de 20 e 25% mostraram que houve uma melhoria enquanto às propriedades físicas, no entanto foi observado resultados elevados de densidade aparente, valores altos de densidade afetam negativamente nas características tecnológicas como a fluabilidade. Os IER e IES, apresentaram um aumento como efeito da redução da umidade próximos da ração comercial. Enquanto aos resultados do IAA, observou-se um leve aumento quando processadas com 25% de umidade, sendo próximos da ração comercial, isto como efeito da redução do grau de cozimento. Em relação ao ISA observou-se que não houve notória diferença, pois, os valores estão próximos da ração comercial. Os resultados de viscosidade máxima de pasta com 28 e 40% de umidade, apresentaram valores muito heterogêneos, maiores que a ração comercial, no entanto, com teor reduzido (20 e 25%) apresentaram valores mais baixos, indicando também baixo grau de cozimento. Enquanto a Difração de raios-X, os valores obtidos estão muito próximos à amostra comercial, com exceção da dieta A28, indicando que ainda existe cristalinidade do amido. As análises químicas foram realizadas apenas para os experimentos com 20 e 25% de umidade por apresentar melhores

características físicas. Os resultados da composição proximal das dietas A e B quanto a proteína bruta (PB), foi em média de 38%, o efeito da secagem pós extrusão disponibilizou maior teor de PB comparado com a ração comercial (30.19%). O Extrato etéreo das dietas B20 e B25 apresentaram valores maiores que a amostra comercial. Na composição de minerais os resultados foram superiores da amostra comercial, especialmente em Ca e P. Isto pode estar relacionado com o nível de inclusão de FCO. Os resultados do perfil de aminoácidos apresentaram valores superiores frente à ração comercial, destacando-se os aminoácidos essenciais. Conclui-se que os pellets podem ter uma densidade maior, não apenas devido à sua formulação e umidade de processamento, mas também devido ao seu baixo grau de cozimento no processo. Pode-se melhorar a densidade e o grau de expansão se a umidade de processo for reduzida em combinação com outras variáveis. Devido ao grau de cozimento reduzido, os valores de absorção de água, viscosidade de pasta e cristalinidade do amido foram elevados. A presença de minerais, a proporção de Ca e P, consideram-se um pouco acima do ideal relatado na literatura, a proporção da farinha de carne e ossos na formulação pode ter influenciado no resultado. Do ponto de vista da qualidade dos aminoácidos, as dietas quando processadas por extrusão com os parâmetros adequados, diminuí perdas por aquecimento excessivo durante a cocção, apresentando-se em maior percentagem, e por tanto com maior benefício na nutrição de peixes. O presente trabalho sugere realizar ajustes nos parâmetros do processo de extrusão e formulação das dietas, com a finalidade de obter melhores características físico-químicas, e tecnológicas dos pellets.

**Palavras chave:** Aquicultura, alimentos, matéria prima, extrusão, peletização



## GENERAL ABSTRACT

MELLENDEZ-AREVALO, Arturo. **Physicochemical and technological formulation and evaluation of extruded fish feed, RJ.** 2019, 77p. Thesis (Doctorate in Food Science and Technology). Institute of Technology, Department of Food Technology, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2019.

Brazilian aquaculture is an activity that has shown significant growth in recent years. The success of this activity depends on the use of rations with nutritional quality and low costs. The feed represents the highest cost of production, so it is necessary to consider its production using raw materials and/or alternative ingredients available in each region. The objective of this study was to study the effect of the extrusion process variables of two diets formulated with two inclusion levels of soybean meal (SBM) and meat and bone meal (MBM), with a crude protein content of 35% fish in the juvenile phase, using a commercial feed as control. In Chapter I, to show a literature review about the importance of raw material quality, advantages and disadvantages of feed manufacturing processes. In Chapter II present experiments with the formulations, processing, and feed analysis. Preliminary tests were carried out using fishmeal and other protein sources in the formulation, aiming to obtain results of ingredients extrudability, agglutination, and formatting, similar to the commercial feed pellets. Subsequently, the final formulation and physical-chemical evaluations of commercial feed were carried out for comparison purposes. Processes with eight formulations containing 250 g of sample each, diet "A" with 25% FS and 40% MBM, and diet "B" with 10% FS and 55% MBM were processed with 28 and 40% moisture initially, then reducing to 20 and 25%. In the extrusion process a single screw extruder brand Brabender™, model 20DN was used. Temperatures were 50, 80, 100 ° C, screw rotation of 150 rpm, 3: 1 screw and 3mm circular die. The resulting pellets were evaluated for radial expansion index (REI) and sectional expansion index (SEI), density, absorption (WAI) and water solubility (WSI), paste properties (RVA), X-ray diffraction, proximal composition, minerals, and amino acid profile. The results obtained from the preliminary tests were not as expected while their formatting, making their physical and technological characterization impossible, discarding the material. Subsequently, the substitutions of the ingredients were made and adjustments to the process parameters. The results with 28 and 40% moisture presented very heterogeneous values in the physical properties, but some close to the values of the feed commercial. This was instrumental in reducing moisture parameters. The results with 20 and 25% moisture showed that there was an improvement while physical properties, however, it was observed high results of apparent density, high values of density negatively affect the technical characteristics such as buoyancy. The REI and SEI showed an increase as a result of the reduction of the moisture close to the feed commercial. While the results of the WAI, a slight increase was observed when processed with 25% moisture, being close to the feed commercial, this as an effect of reducing the degree of cooking. Regarding WSI, it was observed that there was no significant difference since the values are close to the commercial feed. The results of the maximum pasting viscosity with 28 and 40% of moisture presented very heterogeneous values, higher than the commercial ration. However, with low content (20 and 25%) they presented lower values, indicating also a low degree of cooking. While X-ray diffraction, the values obtained are very close to the commercial sample, except for diet A28, indicating that there is still crystallinity of the starch. The chemical analyses were carried out only for the experiments with 20 and 25% moisture because they presented better physical characteristics. The results of the proximal composition of the diets A and B for the crude protein (CP), was on average 38%, the effect of drying after extrusion provided a higher CP content compared to the commercial diet (30.19%). The ethereal

extract (EE) of the diets B20 and B25 presented higher values than the commercial sample. In the mineral composition, the results were higher in the commercial sample, especially in Ca and P. This may be related to the inclusion level of MBM. The results of the amino acid profile showed higher values compared to the commercial feed, especially the essential amino acids. It is concluded that the pellets may have a higher density, not only due to their formulation and processing moisture but also due to their low degree of the cooking process. The density and expansion degree can be improved if the process moisture is reduced in combination with other variables. Due to the reduced cooking degree, the values of WAI, paste viscosity and crystallinity of the starch were high. The presence of minerals, the Ca and P ratio, are considered to be slightly above the ideal reported in the literature, the proportion of MBM meal in the formulation may have influenced the result. From the point of view of amino acid quality, the diets when processed by extrusion with the appropriate parameters, reduce losses due to excessive heating during cooking, presenting in a higher percentage, and therefore with greater benefit in fish nutrition. The present work suggests making adjustments in the parameters of the extrusion process and the formulation of the diets, in order to obtain better physicochemical and technological characteristics of the pellets.

**Keywords:** Aquaculture, feeds, raw material, extrusion, pelleting.

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO I

<b>Tabela 1.</b> Efeitos de diferentes componentes nas características físicas dos pellets de ração para peixes e desempenho dos processos de fabricação.....	14
<b>Tabela 2.</b> Efeitos dos ingredientes da ração na qualidade dos pellets. ....	14
<b>Tabela 3.</b> Parâmetros típicos utilizados em processos de extrusão. ....	15
<b>Tabela 4.</b> Níveis de proteína e gordura e tamanho de pellets recomendados para ração de peixes carnívoros e onívoros. ....	16
<b>Tabela 5.</b> Comparação entre tecnologias de processamento de rações. ....	17

### CAPÍTULO II

<b>Tabela 1.</b> Formulações dos testes preliminares com inclusão de farinha de peixe e outras fontes de origem vegetal.....	33
<b>Tabela 2.</b> Proporção dos ingredientes das dietas experimentais.....	36
<b>Tabela 3.</b> Condicionamento de umidade para o processo de extrusão .....	37
<b>Tabela 4.</b> Composição centesimal dos ingredientes utilizados na formulação das dietas experimentais.....	42
<b>Tabela 5.</b> Composição centesimal das dietas experimentais e comerciais .....	43
<b>Tabela 6.</b> Composição centesimal das dietas experimentais após o processo de extrusão.....	43
<b>Tabela 7.</b> Composição em minerais das dietas experimentais e da ração controle com 20 e 25% de umidade de processamento .....	46
<b>Tabela 8.</b> Perfil de aminoácidos das rações e experimentais processadas com 20 e 25% de umidade .....	49
<b>Tabela 9.</b> Propriedades físicas das rações comercial e experimentais: Volume (mm <sup>3</sup> ); Densidade Aparente (kg/m <sup>3</sup> ); índice de expansão radial (IER); índice de expansão seccional (IES); índice de expansão longitudinal (IEL); índice de expansão volumétrico (IEV); índice de solubilidade em água (ISA); índice de absorção de água (IAA) .....	52
<b>Tabela 10.</b> Propriedades de pasta das rações experimentais e controle.....	53
<b>Tabela 11.</b> Grau de cristalinidade calculado das rações experimentais e controle.....	58

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO I

**Figura 1.** Tempo necessário para obter uma mistura com homogeneidade apropriada em um misturador helicoidal. Adaptado de Lamoine e Gaytan (2015)..... 13

### CAPÍTULO II

**Figura 1.** Parafuso (3: 1) da extrusora mono rosca Brabender™.....38

**Figura 2.** Padrões de difração de raios - X das rações experimentais e comercial processadas com 28 e 40% de umidade final. ....59

**Figura 3.** Padrões de difração de raios - X das rações experimentais e comercial processadas com 20 e 25% de umidade final. ....59

## LISTA DE ABREVIATURAS

CDA	Coeficiente de digestibilidade aparente
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura
FCA	Fator de conversão alimentar
FCO	Farinha de carne e ossos
FSA	Farinha de subprodutos de aves
HTST	High-Temperature Short-time
IAA	Índice de solubilidade em água
IER	Índice de expansão radial
IEL	Índice de expansão longitudinal
IEV	Índice de expansão volumétrico
IES	Índice expansão seccional
IFFO	International fishmeal and fish oil organization
ISA	Índice de absorção de água
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
PUFAs	Ácidos Graxos Poliinsaturados
RVA	Rapid Viscosity Analyzer

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL .....	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	3
CAPÍTULO I.....	4
ALIMENTOS PARA AQUICULTURA: UMA REVISÃO DE MATÉRIA-PRIMA, PROCESSO DE FABRICAÇÃO, PRODUTO E QUALIDADE.....	4
RESUMO .....	5
1 INTRODUÇÃO.....	7
2 MATÉRIA-PRIMA .....	8
2.1 Farinha de peixe.....	8
2.2 Farinha de sangue .....	8
2.3 Farinha de carne e ossos (FCO).....	9
2.4 Subproduto de aves (FSA).....	9
2.5 Fonte de carboidratos.....	10
3 QUALIDADE E PREPARAÇÃO DE INGREDIENTES .....	11
3.1 Características associadas aos ingredientes que influenciam a moagem .....	12
3.2 Associação entre moagem e peletização .....	12
4 TECNOLOGIAS DE PROCESSAMENTO DE RAÇÕES .....	13
4.1 Peletização .....	13
4.2 Extrusão .....	14
5 APLICAÇÕES PRÁTICAS .....	18
6 CONCLUSÕES .....	18
7 AGRADECIMENTOS .....	18
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	19
CAPÍTULO II.....	23
FORMULAÇÃO E AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E TECNOLÓGICA DE RAÇÕES EXTRUDADAS PARA PEIXES .....	23
RESUMO .....	24
1 INTRODUÇÃO.....	28
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	29
2.1 Fatores importantes para a produção de rações .....	29
2.2 Parâmetros de qualidade na avaliação nutricional de rações para peixes.....	30
2.2.1 Proteína e aminoácidos essenciais .....	30
2.2.2 Lipídios.....	30
2.2.3 Minerais .....	31
2.2.4 Teor de fibra .....	32
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	33

3.1 Local de execução dos experimentos .....	33
3.2 Material.....	33
3.2.1 Preparação dos testes preliminares .....	33
3.2.2 Preparação das dietas experimentais .....	36
3.2.3 Condicionamento de umidade de processo das dietas experimentais .....	37
3.3 Métodos .....	37
3.3.1 Produção da ração.....	37
3.3.2 Caracterização química.....	38
3.3.3 Caracterização física.....	39
3.3.4 Análises estatísticas .....	41
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	42
4.1 Composição centesimal .....	42
4.2 Composição em minerais.....	45
4.3 Perfil de aminoácidos .....	48
4.4 Propriedades físicas .....	51
4.4.1 Densidade aparente ( $\rho$ ) .....	54
4.4.2 Índice de expansão radial, seccional, longitudinal e volumétrico .....	55
4.4.3 Índice de absorção de água (IAA) e índice de solubilidade em água (ISA).....	56
4.4.4 Viscosidade de pasta (RVA).....	57
4.4.5 Difração de raios – X.....	57
5 CONCLUSÕES .....	59
6 AGRADECIMENTOS .....	60
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	61

## INTRODUÇÃO GERAL

De acordo com o relatório da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, 2018), “O Estado Mundial da Pesca e Aquicultura 2018” (SOFIA, The State of World Fisheries and Aquaculture) a produção mundial de pescado, em 2016, atingiu cerca de 171 milhões de toneladas, sendo a aquicultura responsável por 47% deste total e espera-se que, até 2030, o consumo total de pescado aumente em todas as regiões do planeta, com um forte crescimento (33%) projetado na América Latina, ao mesmo tempo espera-se que o consumo mundial per capita de pescado alcance 21,5 kg/habitante. Cabe ressaltar que em outros relatórios (FAO, 2013) afirma-se que o consumo de peixe representou quase 17% do consumo de proteína no mundo, sendo em alguns países costeiros e insulares de até 70%. O relatório destaca a importância crítica da pesca e da aquicultura para a alimentação, nutrição e trabalho de milhões de pessoas, muitas das quais lutam para manter meios de subsistência razoáveis (FAO, 2018).

As condições naturais, clima favorável e sua matriz energética, fazem do Brasil um país propício para o desenvolvimento da aquicultura. Essas condições estão relacionadas com sua extensão costeira, que tem mais de oito mil km, além de possuir aproximadamente 13% da água doce renovável do planeta (ROCHA et al., 2013). A piscicultura brasileira tem sido, nos últimos anos, uma atividade em constante crescimento. De acordo com a Associação Brasileira da Piscicultura (PEIXE BR, 2018), o crescimento foi de 8% em 2017 com uma produção de 691.700 toneladas de peixes cultivados. Destaca-se também que o Brasil ocupa o 4º lugar na produção mundial de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus 1758) atrás da China, Indonésia e Egito, com uma produção de 357.639 toneladas em 2017, o que representa 51,7% da piscicultura brasileira, superando Filipinas e Tailândia. A expectativa do desempenho da piscicultura nacional é o aumento do consumo interno de pescado que atualmente está na faixa dos 11 kg/hab./ano (Brasil, 2014), e se manter na rota de crescimento em 2019.

Nos últimos anos, diversos estudos na nutrição e genética de pescado estão sendo realizados com a finalidade de aumentar a produtividade através de uma produção eficiente no crescimento e uso de novas espécies na aquicultura. Atualmente, pesquisas referentes à formulação de rações são realizadas com o objetivo de conhecer as exigências nutricionais das espécies cultivadas, visando aperfeiçoar o uso dos ingredientes em percentagens ideais na elaboração das dietas. Visto que, se faz necessário introduzir na formulação quantidades apropriadas de proteínas, carboidratos, vitaminas e minerais, esperando ter como resultado o desenvolvimento maximizado da espécie do ponto de vista sustentável e considerando custos/benefício (SCHORER et al., 2009).

Dentro deste cenário, para contribuir com o crescimento da piscicultura no país, é importante considerar a produção da ração com matérias-primas de qualidade, que garantam a perfeita interação metabólica e consequente eficiência de aproveitamento dos constituintes nutricionais para o seu uso na aquicultura e especialmente na piscicultura. A produção de rações para diferentes espécies, em diferentes fases de crescimento, é um fator importante vinculado à qualidade dos ingredientes na formulação. É de fundamental importância superar aspectos econômicos ligados à disponibilidade das matérias-primas, como exemplo, a utilização de novas fontes proteicas, considerando que a ração é o insumo com maior custo de produção na aquicultura entre 40 a 80% dependendo do empreendimento (BOSCOLO et al., 2004; CUZON et al., 2004).

De acordo com GUIMARÃES et al. (2008), o farelo de soja é o principal ingrediente utilizado para a formulação de dietas comerciais para peixes onívoros como fonte proteica, devido a sua alta qualidade, custo e disponibilidade, quando comparada com a utilização de farinha de peixe. Outra fonte de substituição muito utilizada é a farinha de carne e ossos, por



sua composição química e seu baixo custo. No entanto, o conteúdo proteico e de aminoácidos desse ingrediente é muito variável, apresentando valores de proteína bruta entre 34 e 52 % (POZZA et al., 2004).

Para obter uma ração com qualidade é preciso conhecer a composição química dos ingredientes, além dos parâmetros tecnológicos a serem controlados no equipamento. A extrusão termoplástica é uma tecnologia que gera diferenças importantes no produto quando comparado com outros processos, como o aumento da digestibilidade, e a melhor palatabilidade, resultado do cozimento dos ingredientes sobre variáveis controladas no processo, além de contribuir na diminuição da seletividade alimentar e redução na perda de nutrientes por lixiviação (VIEIRA et al., 2005).

A redução do teor de proteína animal e/ou vegetal em dietas para peixes é importante para a formulação de dietas de baixo custo, especialmente quando os peixes são criados intensivamente, em que a maior parte da exigência dos peixes é atendida pela energia e por nutrientes dos alimentos da dieta. Reduzir o teor de proteína animal e/ou total em dietas para algumas espécies é uma estratégia para aumentar a sustentabilidade pela menor entrada de nitrogênio sem prejuízos econômicos (FURUYA, 2013). O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito das variáveis do processo de extrusão de duas dietas formuladas com dois níveis de inclusão de farelo de soja e farinha de carne e ossos como fontes proteicas, e quatro níveis de umidade no processo de extrusão, na procura do melhor custo/benefício sem prejudicar o seu valor nutricional.

- **Capítulo I – “Alimentos para aquicultura: uma revisão de matéria-prima, processo de fabricação, produto e qualidade”**, que compreende uma visão ampla sobre importância da qualidade das matérias-primas disponíveis, as vantagens e desvantagens das duas manufaturas comumente usadas nos processos de fabricação de rações (peletização e extrusão) e a necessidade de fornecer alimentos adequados às necessidades nutricionais das espécies-alvo.
- **Capítulo II – “Formulação e avaliação físico-química e tecnológica de rações extrudadas para peixes”**. Neste capítulo apresenta-se um estudo sobre o processamento por extrusão de duas dietas formuladas com dois níveis de ingredientes proteicos, diferentes parâmetros de umidade no equipamento, e a avaliação físico-químicas antes e depois do processo, utilizando como referência as características tecnológicas de amostras comerciais, visando demonstrar que é possível obter pellets com as mesmas características, utilizando poucos ingredientes na formulação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOSCOLO, W. R.; HAYASHI, C.; MEURER, F.; FEIDEN, A.; BOMBARDELLI, R. A. Digestibilidade aparente da energia e proteína das farinhas de resíduo da filetagem da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e da corvina (*Plagioscion squamosissimus*) e farinha integral do camarão canela (*Macrobrachium amazonicum*) para a tilápia do Nilo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, p. 8-13, 2004.

CUZON, G.; LAWRENCE, A.; GAXIOLA, G.; ROSAS, C.; GUILLAUME, J. Nutrition of *Litopenaeus vannamei* reared in tanks or in ponds. **Aquaculture**, v. 235, n. 1-4, p. 513-551, 2004.

FAO. **The State of World Fisheries and Aquaculture**, Meeting the sustainable development goals. Rome, 2018. Disponível em: < <http://www.fao.org/3/i9540en/I9540EN.pdf> >. Acesso em: 22/10/2018.

FURUYA, W. M. Nutrição de tilápias no Brasil. **Varia Scientia Agrárias**, v. 3, n. 1, p. 133-150, 2013.

GUIMARÃES, I. G.; PEZZATO, L. E.; BARROS, M. M.; TACHIBANA, L. Nutrient Digestibility of Cereal Grain Products and By-products in Extruded Diets for Nile Tilapia. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 39, n. 6, p. 781-789, 2008.

PEIXE BR, A. B. D. P. **Anuário peixebr da piscicultura**. São Paulo: PeixeBR, 2018, 2018. Disponível em: < <https://www.peixebr.com.br/anuario2018> >. Acesso em: 22/10/2018.

POZZA, P. C.; GOMES, P. C.; DONZELE, J. L.; ROSTAGNO, H. S.; POZZA, M. d. S.; NOGUEIRA, E. T. Digestibilidade ileal aparente e verdadeira de aminoácidos de farinhas de carne e ossos para suínos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 5, p. 1181-1191, 2004.

ROCHA, C. M. C. d.; RESENDE, E. K. d.; ROUTLEDGE, E. A. B.; LUNDSTEDT, L. M. Avanços na pesquisa e no desenvolvimento da aquicultura brasileira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, p. iv-vi, 2013.

SCHORER, M.; FERNANDES, J. B. K.; URBINATI, E. C.; TIMPONE, I. T. DESEMPENHO PRODUTIVO DE JUVENIS DE PACU (*Piaractus mesopotamicus*) SUBMETIDOS A DIETAS SUPLEMENTADAS COM  $\beta$ -GLUCANO. **Revista Acadêmica: Ciência Animal**, v. 7, n. 4, p. 433-443, 2009.

VIEIRA, J. S.; LOGATO, P. V. R.; RIBEIRO, P. A. P.; FREITAS, R. d.; FIALHO, E. T. Efeito do processamento do milho sobre o desempenho e composição de carcaça de piaba (*Leporinus friderici*) criada em tanques-rede. **Ciência e Agrotecnológica**, v. 29, n. 2, p. 453-458, 2005.

# **CAPÍTULO I**

**ALIMENTOS PARA AQUICULTURA: UMA REVISÃO DE MATÉRIA-PRIMA, PROCESSO DE FABRICAÇÃO, PRODUTO E QUALIDADE**

**AQUAFEEDS: A REVIEW OF RAW MATERIAL, MANUFACTURING PROCESS AND PRODUCT QUALITY**

Artigo publicado na revista  
Journal of Food, Agriculture & Environment – ISSN 1459-0263  
Vol.16 (3&4): 17-10-2018

## RESUMO

No campo da aquicultura, a alimentação é o principal item de despesa que pode fazer a diferença entre o sucesso ou o fracasso de um empreendimento de piscicultura. Nesta revisão, examinamos a qualidade das matérias-primas disponíveis, as vantagens e desvantagens das duas manufaturas comumente usadas nos processos (peletização e extrusão) e a necessidade de fornecer alimentos adequados às necessidades nutricionais das espécies-alvo. Análises dos resultados relatados na literatura indicam que os alimentos extrudados são de qualidade superior em comparação com aqueles obtidos usando o processo de peletizado, e que a extrusão é mais econômica e receptiva às necessidades da aquicultura do que a peletização. No entanto, o valor nutricional real dos alimentos extrudados é ainda pouco compreendido e a pesquisa deve-se concentrar em entender o impacto dos processos de alta temperatura em curto prazo de tempo na qualidade das rações aquáticas.

**Palavra-chave:** Alimentos, matéria-prima, extrusão, peletização.

## **ABSTRACT**

In the field of aquaculture, the feed is the principal item of expenditure that can make the difference between success or failure of a fish farming venture. In this review, we examine the quality of available raw materials, the advantages and disadvantages of the two commonly used manufacturing processes (pelleting and extrusion), and the necessity of delivering feeds appropriate for the nutritional requirements of the target species. Analyses of results reported in the literature indicate that extruded feeds are better quality compared with those obtained using the pelleting process and that extrusion is more cost effective and amenable to the needs of aquaculture than pelleting. However, the real nutritional value of extruded feed is still poorly understood, and research must focus on understanding the impact of high-temperature short-time processes on the quality of aquatic feeds.

**Keywords:** Feeds, raw material, extrusion, pelleting.

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, 2015) a aquicultura é provavelmente o setor que mais cresceu na produção de alimentos e contribuiu com mais de 43% do peixe consumido globalmente em 2013. A aquicultura é um negócio altamente competitivo que requer habilidade especializada, e conhecimento das novas tecnologias. Além disso, a aquicultura sustentável esforça-se para produzir mais com menos, ou seja, empregando menos recursos (alimentação, energia, água e terra) enquanto obtém maior produtividade. Embora o sucesso da aquicultura dependa fortemente do melhoramento genético para aumentar as taxas de crescimento, reduzir insumos e melhorar a relação custo-benefício, o desenvolvimento de sistemas de criação de alevinos e sistemas de engorda tem um papel importante nas operações da aquicultura.

Neste contexto, o alimento representa um dos principais itens de despesa na piscicultura intensiva podendo variar entre 40 e 80% dos custos totais da produção. No entanto, os criadores não apenas estarão influenciados pelo valor nutricional da ração, mas também pelo grau de conversão alimentar, mas há que incluir a questão da saúde, eficiência da reprodutibilidade, inclusive tolerância à manipulação e transporte bem como a preservação e qualidade final do produto (KUBITZA, 2009). Nesse sentido, a eficiência no manejo será essencial para minimizar os custos de produção mantendo a alta qualidade da produção.

Ao formular e fabricar alimentos para peixes é importante acomodar as necessidades alimentares das espécies-alvo em diferentes estágios de crescimento, a fim de obter produtos com propriedades físicas e qualidade nutricional. A este respeito, a densidade dos pellets da ração é um atributo essencial que determina a capacidade de flutuar ou permanecer em suspensão, bem como a sua taxa de desintegração ao longo do tempo.

A qualidade das rações depende de uma grande variedade de aspectos, tais como as proporções e composição do material empregado na formulação, como tipo de aminoácidos, ácidos graxos, fatores antinutricionais, vitaminas, minerais e potencial energético estabelecido na fórmula. O valor específico de um determinado ingrediente está relacionado com o potencial de promover o crescimento, e este vai em definitivo refletir no preço final da ração. No entanto, a capacidade de utilização de diferentes valores energia e aproveitamento dos nutrientes, varia segundo a espécie, já que estes possuem ligação direta com seus hábitos alimentares, por exemplo, a capacidade reprodutiva dos carnívoros e onívoros, está relacionado ao balance adequando da dieta.

Experimentos descritos na literatura relatam que os alimentos para peixes que contêm componentes de origem animal (farinha de peixe, farinha de carne e osso, vísceras de aves, etc.) tendem a promover um melhor crescimento do que aqueles formulados usando ingredientes derivados de fontes alternativas. Teoricamente, os alimentos devem conter uma alta proporção de proteína animal para produzir o máximo de grau de conversão alimentar, embora na prática isso aumente o custo do alimento e, conseqüentemente, o preço final do produto.

Esta revisão visa fornecer uma visão geral dos processos envolvidos no projeto de fabricação de alimentos para peixes, com ênfase especial na seleção de matérias-primas e nas técnicas e equipamentos de processamento utilizados, e possa servir como referência teórica para os empreendedores da aquicultura.

## 2 MATÉRIA-PRIMA

O sucesso e a sustentabilidade da indústria da aquicultura dependem da disponibilidade de alimentos de alta qualidade que sejam nutricionalmente equilibrados e com preços competitivos. No entanto, existe a preocupação de que os sistemas intensivos de produção empregados na piscicultura moderna sejam prejudiciais ao meio aquático. Em particular, a alta densidade populacional de peixes exige o uso de alimentos que proporcionem alta densidade nutricional, digestibilidade e palatabilidade, ao mesmo tempo gerando uma quantidade mínima de resíduos ricos em fósforo e nitrogênio. De fato, devido ao custo das matérias-primas disponíveis, o setor manufatureiro está sempre sob pressão para desenvolver formulações de rações que gerem o mínimo de resíduos. Assim, a formulação de alimentos adequados requer um conhecimento detalhado sobre as necessidades nutricionais específicas das espécies-alvo, bem como as características de disponibilidade e processamento dos ingredientes. Além disso, na seleção de ingredientes para formulação de rações, como proteínas de origem animal ou vegetal, carboidratos, lipídios (óleo de peixe ou vegetal), vitaminas, agentes aromatizantes e compostos bioativos, é importante considerar o destino desses componentes no ambiente aquícola. Nesta parte da revisão trata-se sobre as fontes de proteína mais utilizadas, como farinha de peixe (FP), farinha de sangue (FS), farinha de carne e ossos (FCO), farinha e subprodutos de aves (FSA), assim como algumas fontes de carboidratos (milho, sorgo, farinha de mandioca) no processamento de rações para peixes no Brasil e em outros países.

### 2.1 Farinha de peixe

A farinha de peixe é um dos principais ingredientes das dietas formuladas para animais aquáticos, pois é rica em proteínas, com excelente perfil de aminoácidos, minerais, vitaminas, ácidos graxos e oligoelementos. A farinha de peixe é tipicamente apresentada como uma farinha de cor castanha produzida a partir de peixe fresco cru e / ou pedaços de peixe e vísceras após os processos de cozimento, trituração e secagem para reduzir o teor de água e extrair qualquer óleo presente no produto final. Os peixes brancos são mais comumente empregados na produção de farinha de peixe devido ao baixo teor de gordura, enquanto os peixes gordos, como a cavala, são usados com pouca frequência (IFFO, 2015). A demanda por farinha de peixe, que foi estimada estar em torno de quatro milhões de toneladas em 2013, aumentou substancialmente nos últimos tempos levando a aumentos significativos no preço de mercado dessa *commodity*. Assim, os fabricantes de alimentos para peixes desenvolveram alimentos alternativos contendo proteínas vegetais, a fim de reduzir os gastos com a produção, mantendo a qualidade e o rendimento do produto (NAYLOR et al., 2000).

### 2.2 Farinha de sangue

A farinha de sangue é um composto vermelho escuro a preto produzido pela secagem do sangue coletado dos matadouros como um subproduto do abate de bovinos e suínos. As técnicas de produção empregadas no processo de secagem incluem os secadores por spray-, flash-, drum-dryers, sendo os dois primeiros os mais comuns (LOAR II e CORZO, 2011). O farelo de sangue é insolúvel em água, tem uma densidade típica de 0,61 g/cm<sup>3</sup> e consiste principalmente de proteína bruta (80%) que é rica em lisina, triptofano, treonina e fenilalanina, mas deficiente em outros aminoácidos. A qualidade da farinha de sangue e a digestibilidade da proteína contida nela depende da técnica de produção utilizada, uma vez que cada processo opera sob diferentes parâmetros específicos (TORRES, 1977; HENN et al., 2006). Por exemplo,

processos que operam sob altas temperaturas geram complexos de lisina, tornando esse aminoácido indisponível para animais (BELLAVAR, et al., 2001).

### **2.3 Farinha de carne e ossos (FCO)**

É amplamente utilizado em formulações comerciais de todos os tipos de alimentos para animais, a fim de melhorar o teor de proteína e reduzir os custos de alimentação (FARIA FILHO et al., 2002). Para cada tonelada de carne preparada para consumo humano, cerca de 300 kg são descartados como produtos não comestíveis e, deste, 200 kg é convertido em FCO (LEESON ; SUMMERS, 2005). Após o cozimento, o produto (conhecido como farinha de carne e ossos-50) tipicamente contém 48-52% de proteína e contribui significativamente para a formulação de rações, uma vez que é uma boa fonte de aminoácidos sulfurados essenciais (metionina e cisteína) e fósforo totalmente biodegradável (<4,0%) e cálcio (~ 8%). Um produto alternativo, a farinha de carne e ossos-36 é menos rica em proteína, mas contém mais de 4% de fósforo.

Investigações realizadas por Lazzari et al. (2006) em juvenis de jundiá (*Leiarius marmoratus* Gill 1870), comumente conhecido como bagre-comprido ou jundiá da Amazônia no Brasil, revelaram que o peso, comprimento total, taxa de crescimento específico, teor de gordura e proteína aumentaram quando a farinha de peixe ou farinha de carne e ossos foi combinada com farelo de soja, embora o rendimento da carcaça e da carne não tenham sido influenciados pelo tratamento dietético. Yang et al. (2015) estudaram o efeito da substituição da farinha de peixe pelo farelo de soja em rações extrudadas sobre a digestibilidade aparente e nutrientes no crescimento de juvenis de camarão branco do Pacífico (*Litopenaeus vannamei*, Boone 1931).

Em um estudo realizado com alevinos revertidos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus* Linnaeus 1758.) por Miranda et al. (2000) sobre a disponibilidade de fósforo observou-se que este parâmetro variou de acordo com as fontes de origem animal e vegetal. No entanto enquanto a própria farinha de ossos apareceu como uma fonte particularmente rica de fósforo (54,59%), a disponibilidade do elemento foi baixa (apenas 27,15%). Além disso, o farelo de soja foi uma opção melhor para a suplementação de fósforo (35,13%) em comparação com farinha de trigo (30,49%) ou milho (7,33%).

### **2.4 Subproduto de aves (FSA)**

A farinha de subproduto de aves (FSA), é obtida por cozimento, esmagamento e moagem de vísceras de aves limpas (especialmente o estômago e intestinos), juntamente com pescoços, cabeças e pés, mas excluindo as penas. O óleo extraído durante o cozimento é separado e a torta restante é comprimida para produzir um produto com baixo teor de gordura (7 a 9%). Antioxidantes são normalmente adicionados ao produto para evitar a rancificação durante o armazenamento e, conseqüentemente, a perda de valor nutricional (SA, 2005). Poucos matadouros têm o equipamento apropriado para tratar vísceras e penas, que requerem o uso de altas temperaturas, pressão e tempo de espera, em processos separados, implicando que a qualidade da FSA produzido pode ser negativamente afetada. Outro problema diz respeito ao uso de instalações inadequadas para a separação de gorduras, resultando em produtos contendo altos níveis de gorduras insaturadas que devem ser submetidos a tratamento adicional com antioxidantes. Signor et al. (2008) avaliaram a inclusão de FSA (0 a 20%) em ração fornecida a lambaris (*Astyanax altiparanae*, Garutti ; Britski 2000) e concluíram que 5% de FSA, melhoraram o peso, comprimento final e o teor de proteína do peixe.



## 2.5 Fonte de carboidratos

Os carboidratos são os principais componentes da alimentação dos peixes e representam excelentes fontes de carbono e energia (HONORATO et al., 2013; ZHOU et al., 2013). A fonte de carboidratos para a formulação de rações depende, em primeira instância, da disponibilidade e custo da matéria-prima na região onde o processamento está localizado. Fontes de carboidratos baseados em grãos, especialmente milho (*Zea mays*, Linnaeus 1758), trigo (*Triticum aestivum*, Linnaeus 1758), aveia (*Avena sativa*, Linnaeus 1758.), arroz (*Oryza sativa* Linnaeus 1758), sorgo [*Sorghum bicolor* (Linnaeus 1758) Moench] e o milheto comum (*Panicum miliaceum*, Linnaeus 1758) é abundante no Brasil. Raízes e tubérculos, particularmente mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), batata (*Solanum tuberosum*, Linnaeus 1758) taro (*Colocasia esculenta*, Linnaeus 1758. Schott) e inhame (*Dioscorea alata*, Linnaeus 1758) também são boas alternativas. No entanto, a seleção da fonte de carboidratos e as proporções empregadas na formulação devem ser compatíveis com as exigências do peixe-alvo e as características da matéria-prima.

O milho moído é uma das principais fontes energéticas para peixes onívoros e herbívoros, mas sua inclusão na dieta deve levar em conta não apenas a acessibilidade e a viabilidade econômica, mas também o teor de umidade e a presença de micotoxinas, resíduos de pesticidas e outras toxinas. O uso do sorgo na alimentação dos peixes é mais comum que o do milho, mas pode ser problemático devido à presença de taninos que são tóxicos para os peixes. Deve-se notar, no entanto, que variedades de sorgo que produzem níveis mais baixos de tanino estão atualmente disponíveis. Farelo de arroz e subprodutos de arroz, como farelo de arroz desengordurado e farelo de arroz com gérmen, podem substituir outros grãos em formulações de ração para peixes. No entanto, os antioxidantes devem ser adicionados a todos os subprodutos do arroz, com exceção do farelo de arroz desengordurado, que são introduzidos nos alimentos para peixes a fim de evitar a rancidez. Portanto, é melhor usar farelo de arroz estabilizado que tenha sido tratado termicamente para desativar as lipoxidases responsáveis pela rancificação e, assim, prolongar a vida de prateleira.

A farinha de mandioca é uma matéria-prima barata e abundante que é rica em carboidratos. Além disso, o material tem um efeito aglutinante que é altamente desejável para formulações de ração para aquicultura, uma vez que reduz a dissolução de sólidos na água, evitando assim a perda de nutrientes e proporcionando uma utilização mais completa da ração pelos peixes (SEIXAS et al., 1997). Eusebio e Coloso (1998) avaliaram a inclusão de 13% de farinha de mandioca em dietas para camarão branco, e relataram que o desempenho do crustáceo foi adequado.

A tolerância à glicose no peixe é dependente da espécie e intimamente associada aos hábitos alimentares. Além disso, a capacidade de uma espécie-alvo de regular a homeostase da glicose é indicativa de seu potencial para o uso de carboidratos na dieta, conforme afirmado por Conde-Sierra et al. (2015). Neste contexto, Simon (2009) foi capaz de demonstrar que a adição de carboidratos à dieta de crustáceos melhorou a eficiência da produção, fornecendo uma fonte de energia de baixo custo que poderia liberar proteína dietética para o crescimento.

Segundo Ren et al. (2015) que investigaram os efeitos do amido de trigo, amido de milho, dextrina, maltose, glicose e celulose como fontes de carboidratos na dieta sobre o desempenho de crescimento, coeficientes de digestibilidade aparente e atividade da enzima glicose hepática em juvenis de sargo (*Megalobrama amblycephala* Yih, 1955). Os melhores valores de peso corporal final, taxa de crescimento específico, FCR e taxa de eficiência proteica foram observados em peixes alimentados com dieta de dextrina, enquanto os valores mais pobres foram observados no grupo alimentado com a dieta de celulose.

Em um estudo realizado por Zhou et al. (2015) para determinar o melhor teor de carboidratos na dieta para juvenis de pampo dourado (*Trachinotus ovatus* Linnaeus 1758),

dietas isoproteicas e isoenergéticas contendo amido de milho foram formuladas para conter diferentes níveis de carboidratos (descrever os níveis aqui). Os resultados mostraram que o ganho de peso, taxa de crescimento específico, consumo de ração e eficiência proteica aumentaram significativamente com o aumento do teor de amido na dieta de 0 para 16,8% ( $P < 0,05$ ), enquanto a conversão alimentar diminuiu nesta faixa, mas aumentou quando os níveis de carboidrato variaram. 16,8 a 28%. Os autores concluíram que o nível ideal de carboidratos para a espécie durante essa fase de vida seria de 11,2 a 16,8% da dieta.

Resultados contrastantes foram relatados por Young et al. (2006) em experimentos envolvendo a substituição gradual de óleo de peixe por outras fontes de carboidratos (trigo, milho ou ervilha pré-extrudados) em rações de salmão do Atlântico (*Salmo salar* Linnaeus, 1758.) para produzir dietas com baixo teor de gordura/alto carboidrato e vice-versa. A taxa de crescimento e o peso final da despesca não foram afetados pela fonte de carboidratos, mas foram dependentes do conteúdo lipídico da dieta, exibindo os níveis mais baixos em peixes alimentados com baixo teor de óleo e alta ingestão de carboidratos. As diferenças observadas no teor de gordura do filé e na cor da carne também foram devidas ao conteúdo lipídico e não à fonte de carboidratos. Os autores concluíram que a viabilidade de substituir os lipídios por carboidratos nas rações para salmão do Atlântico é limitada e não necessariamente custo-efetiva.

Segundo Moreira et al. (2008) investigou o efeito do amido dietético sobre o desempenho de crescimento, utilização de nutrientes, composição corporal e atividade de enzimas hepáticas em juvenis de lubina europeia (*Dicentrarchus labrax*, Linnaeus 1758.). Os autores relataram que o nível de amido na dieta não teve nenhum efeito sobre o crescimento, utilização de nitrogênio ou proteína total do corpo e teor de cinzas. Em contraste, o conteúdo lipídico e energético corporal, o glicogênio hepático, o índice hepatossomático e o índice viscerossomático aumentaram com os níveis de amido na dieta, enquanto a eficiência alimentar diminuiu. Além disso, os níveis de amido na dieta afetaram as atividades da glicocinase e da glicose-6-fosfato desidrogenase, mas não das outras enzimas glicolíticas avaliadas.

### **3 QUALIDADE E PREPARAÇÃO DE INGREDIENTES**

As vantagens econômicas e nutricionais da substituição de matérias-primas na alimentação dos peixes são influenciadas pelas técnicas de processamento utilizadas para aumentar a palatabilidade da ração, melhorar a disponibilidade e digestibilidade dos nutrientes e inativar e/ou remover fatores antinutricionais endógenos. Além disso, o processo de produção deve garantir o equilíbrio do produto em relação à razão de formulação, enzimas dietéticas, minerais, aminoácidos essenciais (forma cristalizada ou conjugada) e estimulantes do apetite.

A moagem é o processo pelo qual partículas de tamanho irregular, grandes fragmentos e aglomerados de ingredientes são convertidos em farinha ou farelo. A moagem representa um passo importante na fabricação de ração, uma vez que afeta as propriedades de mistura dos ingredientes e, conseqüentemente, a homogeneidade da mistura e do produto final (pellets ou extrudados). O tamanho final de partícula especificado depende do tipo de alimento a ser fabricado e deve ser otimizado para a população-alvo. Por exemplo, o tamanho de partícula da ração destinada aos camarões na etapa inicial de criação deve ser consideravelmente menor ( $< 100 \mu\text{m}$ ) do que o oferecido aos camarões adultos na fase de engorda ou de crescimento ( $< 250 \mu\text{m}$ ).

A moagem pode ser realizada usando vários tipos de operações mecânicas e moinhos, incluindo aqueles projetados para moer grãos. No entanto, do ponto de vista do custo, é provável que o processo seja o passo limitativo da produção, uma vez que representa 50 ou 60% do total das despesas de produção.

### **3.1 Características associadas aos ingredientes que influenciam a moagem**

Peixe, lula, krill, cabeça de camarão, marisco, farelo de soja/farinha e farinha de carne e ossos (FCO) são responsáveis por cerca de 25 a 65% da proteína total em ração para peixes e camarões, e a maioria desses ingredientes é rica em óleo. Infelizmente, componentes com alto teor de óleo tendem a interferir no processo de moagem ao entupir pequenos furos na malha de moinhos de martelos. Para este problema ser evitado, o nível de óleo no moinho não deve exceder 13% e deve, idealmente, ser inferior a 6%. Uma forma de garantir que o teor de óleo esteja abaixo do limite prescrito é misturar os ingredientes oleosos com um cereal, como trigo, que seja pobre em óleo antes de realizar o processo de moagem (LAMOINE ; GAYTAN, 2015). Esta técnica é conhecida como pós-moagem, e é atualmente o método preferido para a mistura de ingredientes alimentares. Em geral, o método envolve pré-pesagem e mistura de todos os ingredientes principais em um misturador estático (tremonha em cascada), após o qual a mistura é passada através de uma série de peneiras selecionadas em um moinho de martelo. Os ingredientes pulverizados são então transferidos para tanques de alimentação/misturador, onde são adicionados líquidos, pré-misturas de vitaminas e outros ingredientes (KLEIN, 2009). A principal vantagem do método de pós-moagem, é que ele fornece misturas pulverizadas com tamanho de partícula uniforme, independentemente da presença de ingredientes ricos em óleo.

### **3.2 Associação entre moagem e peletização**

Segundo Lamoine e Gaytan (2015) a peletização de qualidade depende do processo de moagem devido à influência que esse procedimento exerce na compactação. À medida que o tamanho da partícula diminui, a área de superfície de contato entre os componentes da mistura aumenta, e isso serve para aumentar a ligação entre as moléculas de proteína (glúten) e amido resultando em uma estrutura sólida que suporta maiores forças de compressão e é mais resistente à degradação em água. A moagem afeta tanto o processo de mistura quanto a homogeneidade da mistura e, assim, exerce uma influência direta na qualidade do produto final (o pellet). Quando os tamanhos das partículas dos ingredientes são uniformes, os componentes podem ser adequadamente e uniformemente compactados e submetidos com sucesso ao processo de peletização, gerando assim um produto com uma textura apropriada. Em contraste, quando os tamanhos das partículas dos ingredientes variam amplamente, o produto final pode conter agregados indesejáveis com diferentes graus de compressão (densidade), o que diminui a aparência, qualidade e palatabilidade da alimentação.

A aplicação de aditivos líquidos ou em pó e elementos secundários na formulação requerem tecnologia avançada, equipamento moderno e técnicas de alto padrão. A homogeneidade e a preservação dos aditivos para alimentação animal são aspectos-chave na preparação de produtos de alta qualidade e a obtenção desses atributos requer conhecimento das propriedades químicas e físicas dos diferentes materiais da formulação. Portanto, a ordem em que os ingredientes são adicionados e os tempos de mistura empregados são de extrema importância (Fig. 1). O tamanho e a forma das partículas, bem como, a densidade e a elasticidade durante a mistura dos ingredientes, estão diretamente relacionados à segregação, percolação e elutriação de partículas. O último processo mencionado envolve a separação de partículas usando um contra-fluxo de gás ou líquido e é usado principalmente para partículas menores que 1  $\mu\text{m}$ . Em ambos os processos, a extrusão e a peletização exigem que a mistura dos ingredientes tenha um passo importante: o pré-condicionamento. É uma operação unitária que tem sido associada ao processamento de extrusão e a outros métodos de processamento de rações, como a moagem de pellets. Embora seja um processo aparentemente simples, existem muitas variantes de design disponíveis. Há também vários parâmetros operacionais que

precisam ser considerados cuidadosamente ao selecionar e/ou projetar um aplicativo de processo.

O pré-condicionamento, quando aplicado à fabricação de rações, envolve a adição de umidade e calor à formulação de ração antes da extrusão ou peletização. Isso envolve a adição de água, normalmente parcialmente como água líquida, e parcialmente como vapor, enquanto mistura e mantém a mistura. Portanto, os principais objetivos do pré-condicionamento na extrusão de alimentos são garantir a hidratação uniforme. Isto é conseguido através da adição de água suficiente, assegurando que é aplicado uniformemente (o que se relaciona com as características de mistura dentro do sistema), e permitindo tempo suficiente para a água penetrar nas partículas de alimentação, o que também depende do tamanho das partículas. Iniciar o processo de cozimento, a reação de cozimento ou o grau de cozimento é principalmente função da temperatura e do tempo, na presença de água suficiente (HILTON et al., 1981; ROLFE et al., 2001; BUTOLO, 2002; DE CRUZ et al., 2015).

<b>Carga do alimentador</b>	<b>Mistura a seco</b>		<b>Injeção do líquido principal</b>		<b>Mistura inteira</b>			<b>Descarregar</b>
30 s	30 s	30 s	30 s	30 s	30 s	30 s	30 s	30 s
<b>Tempo total de mistura = 4 min</b> <b>Duração do processo = 5 min</b>								

**Figura 1.** Tempo necessário para obter uma mistura com homogeneidade apropriada em um misturador helicoidal. Adaptado de Lamoine e Gaytan (2015).

## 4 TECNOLOGIAS DE PROCESSAMENTO DE RAÇÕES

Nos primórdios da aquicultura, os ingredientes da ração pulverizada eram fornecidos diretamente ao peixe sem processamento adicional, mas essa prática criou muitos problemas, incluindo desperdício de alimentos, falta de homogeneidade de ingredientes e insumos, tamanho e distribuição de partículas inadequados, flutuabilidade e afundamento de alimentos, para não mencionar a redução concomitante da qualidade da água. Nos últimos 20 anos, a tecnologia de rações para peixes passou por um progresso substancial com base em um conhecimento detalhado das necessidades nutricionais dos peixes, experiência nas matérias-primas que satisfazem essas necessidades e novos métodos de produção de ração.

Atualmente, a indústria de fabricação de ração usa dois processos principais de produção, a peletização e extrusão, que trabalham com diferentes princípios, usam equipamentos específicos e oferecem suas próprias vantagens e desvantagens.

### 4.1 Peletização

A produção de pellets envolve compressão e/ou aglomeração do ingrediente ou mistura de ingredientes moídos por um processo mecânico em combinação com umidade, pressão e calor (BELLAVÉR ; NONES, 2000). Pellets de diferentes tamanhos produzidos a partir de pós finos são aplicados em muitos campos, particularmente nas indústrias farmacêutica,

alimentícia, fertilizante, cerâmica, aço, purificação de água e metalurgia (LAMOINE ; GAYTAN, 2015). Segundo Lamoine e Gaytan (2015), o uso da peletização na produção de ração oferece: (i) facilidade de manuseio (os pellets podem passar por linhas de alimentação sem quebra excessiva); (ii) eliminação de partículas finas e poeira; (iii) separação reduzida de ingredientes; (iv) aumento da densidade e, portanto, menores custos de transporte e menor espaço de armazenamento necessário; e (v) melhor palatabilidade, digestibilidade e valor nutricional da ração.

Vários fatores afetam a qualidade dos pellets, incluindo: (i) o perfil químico dos ingredientes misturados (LOAR II ; CORZO, 2011; SOH, 2013), (Tabela 1); (ii) as características das matérias primas empregadas na formulação (BELLAYER; NONES, 2000), (Tabela 2); (iii) tamanho de partícula da mistura de ingredientes pulverizados; (iii) a matriz de peletização empregada e (iv) o estado de desgaste do anel e do rolo de compactação.

**Tabela 1.** Efeitos de diferentes componentes nas características físicas dos pellets de ração para peixes e desempenho dos processos de fabricação.

Componentes	Efeitos no pellet	Efeitos no processamento
Gordura	Diminui a qualidade	As propriedades hidrofóbicas das gorduras afetam negativamente a adesão entre os ingredientes e o excesso de lubrificação altera a pressão da máquina
Amido	Aumenta a qualidade	A gelatinização do amido afeta positivamente a adesão de ingredientes
Fibra insolúvel	Aumenta a qualidade, mas isso depende da moagem dos ingredientes	O tamanho e a forma das partículas afetam a adesão entre os ingredientes
Proteína	Aumenta a qualidade	A desnaturação da proteína facilita a adsorção de partículas em suas superfícies
Umidade	Aumenta a qualidade	A presença de água, juntamente com o calor, quebra o amido facilitando a gelatinização e a desnaturação da proteína.

Adaptado: (LOAR; CORZO, 2011).

**Tabela 2.** Efeitos dos ingredientes da ração na qualidade dos pellets.

Ingrediente	Proteína (%)	Lipídio (%)	Fibra (%)	Palatabilidade	Abrasividade
Farelo de alfafa desidratado	20	3	20	Média	Alto
Cevada	10	2	6	Média	Média
Milho	8,4	3,8	2,5	Média	Baixo
Casca de aveia	3,5	1	34	Muito baixo	Alto
Farelo de arroz	14	0,6	15,5	Baixo	Alto
Farinha de soja	45	2	5	Alto	Baixo
Farelo de trigo	15	3,8	8	Alto	Baixo

Adaptado: (BELLAYER ; NONES, 2000).

## 4.2 Extrusão

O cozimento por extrusão é um método de processamento de tempo curto e de alta temperatura (high-temperature short-time, HTST), que é usado para produzir uma ampla gama

de produtos alimentícios para consumo humano e animal, usando o mesmo equipamento básico com pouca ou nenhuma modificação. A técnica tem sido aplicada extensivamente com matérias-primas como milho, trigo, arroz e, mais recentemente, soja (SIMON, 2009). Durante o processo de extrusão, as moléculas constituintes da mistura de rações são submetidas a uma sucessão de tratamentos quase instantâneos envolvendo altas tensões de cisalhamento, pressões e temperaturas, todos os quais representam um desafio na avaliação do teor de nutrientes retidos no produto tratado (PLATTNER, 2007). A qualidade do produto extrudado e a perda de valor nutricional durante a extrusão são determinadas por uma série de fatores, incluindo tamanho de partícula e nível de umidade da mistura de alimentação, pré-condicionamento do material antes da extrusão, configuração da extrusora, comprimento do parafuso e velocidade de rotação, pressão do cilindro e perfil de temperatura. Parâmetros típicos empregados em processos de extrusão são mostrados na Tabela 3.

**Tabela 3.** Parâmetros típicos utilizados em processos de extrusão.

Processo	Temperatura (°C)	Pressão máxima do barril (bar)	Umidade (%)	Gordura Máxima (%)	Taxa de cozimento (%)
Prensa de pellet	60 - 100		12 - 18	12	15 - 30
Prensa expansora/pellet	90 - 130	35 - 40	12 - 18	12	20 - 25
Extrusão a seco	110 - 140	40 - 65	12 - 18	12	60 - 90
Extrusão úmida	120 - 160	35 - 50	25 - 30	18	80 - 100
Parafuso único	80 - 140	15 - 30	15 - 35	22	80 - 100
Parafuso duplo	60 - 160	15 - 40	10 - 45	27	80 - 100

Adaptado: (STARK ; FERKET 1994) United States Patent 2011.

As instalações de processamento de alimentos normalmente recebem grãos integrais que precisam ser reduzidos a um pó grosso (malha de 1000 µm) antes da mistura e depois submetidos a moagem adicional antes da extrusão, a fim de obter o tamanho final de partícula desejado. Estabelecer um tamanho de partícula consistente na mistura de ingredientes crus, assegura a hidratação adequada e cozimento uniforme durante a extrusão, evitando assim a presença de partículas duras ou parcialmente cozidas que diminuem a aparência e a palatabilidade do produto. As partículas que são maiores aos orifícios da matriz do extrusor, causam entupimento ou obstrução parcial, resultando em uma redução na capacidade e estabilidade do processo, e como resultado pode-se obter um produto final com aparência não desejada.

O tamanho de partícula é especialmente crítico na fabricação de pellets pequenos e delicados. A moagem deve ser realizada de forma suficiente quando os orifícios da matriz tiverem menos de 3 mm de diâmetro, para garantir que as partículas não sejam maiores do que um terço da abertura da matriz. Quando esta recomendação é observada, todas as partículas passam facilmente pelo orifício da matriz sem o risco de obstrução. Um dispositivo de peneiramento é frequentemente inserido entre o triturador e a extrusora, a fim de remover todo o material estranho e partículas que são maiores que o orifício da matriz. Misturas brandas, úmidas e semiúmidas muitas vezes requerem matérias-primas farinhasas contendo partículas com diâmetro máximo de 425 µm para produzir um produto final homogêneo e macio.

De acordo com Plattner (2007), o uso de ingredientes com tamanho de partícula adequado oferece inúmeros benefícios, incluindo melhor aparência do pellet, obstrução infrequente dos orifícios da matriz, maior facilidade de cozimento, menor quebra do produto e formação de finos, maior estabilidade e absorção de água, menor volume densidade, níveis mais

elevados de gelatinização do amido, maior rendimento para um determinado tamanho de extrusora e pré-condicionador, menor desgaste nos componentes da extrusora, melhor pasteurização, textura mais macia, melhor digestibilidade e palatabilidade e melhor retenção de revestimentos líquidos em virtude da pequena estrutura celular. A Tabela 4 denota a composição adequada e os tamanhos dos pellets para rações para peixes carnívoros e onívoros preparados com uma extrusora de parafuso único de 85 mm (KUBITZA, 2009).

**Tabela 4.** Níveis de proteína e gordura e tamanho de pellets recomendados para ração de peixes carnívoros e onívoros.

Peso dos peixes (g)	Peixe Onívoro			Peixe Carnívoro		
	Proteína (%)	Gordura (%)	Tamanho do grânulo (mm)	Proteína (%)	Gordura (%)	Tamanho do grânulo (mm)
> 0.5	40 - 50	10 - 15	< 0.5	40 - 50	15 - 20	0.5 - 0.8
0.5 - 4.9	40 - 45	10 - 15	0.5 - 1.0	40 - 50	15 - 20	0.8 - 1.5
5 - 19.9	35 - 40	8 - 10	2.0	40 - 45	10 - 15	2 - 3
20 - 199	32 - 35	8 - 10	3.0 - 4.0	40 - 45	10 - 15	4 - 6
200 - 999	28 - 32	6 - 08	4.0 - 6.0	36 - 40	10 - 12	6 - 8
1000 - 2000	28 - 32	6 - 08	6.0 - 8.0	36 - 40	10 - 12	10 - 15

Adaptado: (KUBITZA, 2009).

Os efeitos de diferentes níveis de cisalhamento, nível de umidade dos extrudados, a temperatura de descarga do pré-condicionador na gelatinização do amido, estabilidade dos pellets e desempenho de crescimento e na conversão alimentar do camarão branco do Pacífico foram estabelecidos por Obaldo et al. (2000) para extrusão úmida e seca nos processos. Os resultados obtidos com a extrusão por via úmida revelaram que a gelatinização do amido foi fortemente influenciada pelo cisalhamento, enquanto a estabilidade do pellet e o crescimento do camarão foram determinados principalmente pelo teor de umidade do extrudado. Altas temperaturas de pré-condicionamento e níveis de cisalhamento, produziram alimentos que favoreceram o crescimento e conversão alimentar de camarões, enquanto extrudados contendo 20 a 35% de umidade deram pellets com maior estabilidade de água que favoreceu o crescimento do camarão.

Ainda, durante o processo de extrusão a seco, que envolveu o uso de cisalhamento e umidade, o cisalhamento elevado com temperaturas variando de 134 a 167 ° C produziu um alto grau de gelatinização do amido e estabilidade da água, enquanto os níveis de umidade variaram de 20 a 22% produziu o melhor crescimento em camarão. Os camarões criados com alimentos que foram produzidos utilizando parâmetros de processamento ótimos exibiram um peso vivo de 5,94 g, uma taxa de crescimento semanal de 0,60 g, uma conversão alimentar de 1,55 e uma taxa de sobrevivência de 75%.

A Tabela 5 resume as principais características dos processos de extrusão e peletização. A extrusão parece oferecer muitas vantagens sobre a peletização para a produção de alimentos de alta qualidade, ricos em gordura e estáveis na água. Usando esta tecnologia, é possível controlar várias características do produto final, como densidade (que determina a velocidade de afundamento), diâmetro (0,8 a 30 mm) e inclusão de matérias-primas frescas no pré-condicionador. Além disso, alimentos extrudados apresentam maior digestibilidade, alta estabilidade da água, menor risco de contaminação bacteriana, aumento da quantidade de matérias-primas de baixo custo (grãos de cereais) e maior durabilidade para manuseio e armazenamento. O equipamento de extrusão é mais caro que o equipamento de peletização

(BANDYOPADHYAY; ROUT, 2001). Que, claro, são compensados com os benefícios descritos acima.

**Tabela 5.** Comparação entre tecnologias de processamento de rações.

Extrusão	Peletização
Versatilidade do equipamento de extrusão - permite a produção de rações com diferentes densidades (flutuante, submersão rápida ou lenta)	O equipamento de peletização permite a produção de uma gama limitada de pellets (pellets de afundamento rápido)
Flexibilidade - muitas fórmulas podem ser extrudadas em alimentos aceitáveis para peixes, camarões, suínos, frangos, animais de estimação, etc.	As formulações são restritas a alguns tipos de alimentos (frango e suínos incluídos)
Alta digestibilidade de ingredientes crus, principalmente da fração de amido (grãos de cereais), portanto alta taxa de conversão alimentar	Melhor digestibilidade de ingredientes crus, mas não tão eficientemente quanto os extrudados, e menor taxa de conversão da ração
Teor máximo de umidade de até 55%. Pode usar ingredientes úmidos	Teor máximo de umidade de 16 a 17%
Taxa de cozimento $\geq 90\%$	Taxa de cozimento em torno de 50% usando vários pré-condicionadores
Risco mínimo de contaminação bacteriana devido à alta temperatura e pressão	Risco de contaminação bacteriana no produto final. A temperatura de cozimento é muito baixa para ser adequada para a destruição de fatores antinutricionais, organismos patogênicos e vírus na ração.
Pellets com alta estabilidade de água podem ser facilmente obtidas	Pellets com estabilidade de água exigem aditivos aglutinantes e boas habilidades de operador
Alta durabilidade do produto, alimenta-se com matriz interna uniforme	Os ingredientes se comprimem podendo se descompor, gerando finos. O conteúdo de nutrientes pode diferir nos pellets.
Proporções de ingredientes derivados de plantas podem ser aumentadas, enquanto farinha de peixe e outras matérias-primas caras podem ser reduzidas	É difícil aumentar a quantidade de ingredientes derivados de plantas em formulações, portanto, matérias-primas caras, como farinha de peixe, devem ser empregadas.
Alta pressão e temperatura aumentam a gelatinização do amido, gerando produtos uniformes e de alta qualidade, quase sem finos	Os alimentos são preparados em temperaturas e pressões mais baixas, de modo que os finos estão frequentemente presentes no alimento
Formulações de baixo custo	Formulações limitadas pelo projeto da máquina, exigindo farinhas de peixe caras para atender às necessidades de proteína.
A formulação pode conter níveis de gordura de até 22%	Níveis de gordura limitados a 4-5%, caso contrário a produção de pellets é impraticável
Requer moagem de matéria-prima tamanho da malha de 20	Requer uma moagem mais fina da matéria-prima, tamanho da malha de 60
Alto investimento de capital	Menor investimento de capital
Uso utilitário longo	Uso utilitário mais curto



## **5 APLICAÇÕES PRÁTICAS**

Aquicultores piscicultores precisam de mais informações sobre a alimentação que fornecem em suas fazendas. Primeiramente, em relação às fontes de proteínas, carboidratos e materiais bioativos necessários (flavonoides, carotenóides, carnitina, colina, coenzima Q, creatina, dithiolthiones, fitoesteróis, polissacarídeos, fitoestrógenos, glucosinolatos, polifenóis, antocianinas prebióticos, taurina, etc.), e de acordo com os tipos de processos submetidos à preparação dos pellets, considerando o processo de peletização e extrusão termoplástica. Uma análise completa dos benefícios em ambos os casos pode ajudar a definir a melhor aplicação na fazenda. A tecnologia hoje fornece equipamentos modernos com resultados cada vez melhores e mais eficientes na elaboração de alimentos. Desta forma, para cada caso, a alimentação elaborada para uma determinada espécie pode ser competitiva, com melhores resultados para o agricultor.

## **6 CONCLUSÕES**

Alimentos para aquicultura devem conter altos níveis de energia digestível e aminoácidos para sustentar o crescimento dos peixes, e estes precisam ser dispensados na forma de grânulos ou formas extrudadas. A fim de permitir o progresso contínuo e a rentabilidade da indústria de alimentos para peixes, ingredientes como farinha e óleo de peixe terão que ser usados com parcimônia no futuro. Os alimentos extrudados não são apenas de qualidade superior em comparação aos produtos peletizados, mas o processo parece ser mais econômico devido a sua versatilidade e adequado às necessidades da aquicultura do que a peletização. No entanto, foram levantadas questões sobre o valor nutricional dos extrudados. Embora os efeitos básicos dos métodos de processamento térmico mais tradicionais sobre a qualidade nutricional sejam bem compreendidos, pouco se sabe sobre os efeitos combinados do processo HTST em materiais de alimentação relativamente secos. Entender os complexos fenômenos envolvidos ajudará a melhorar e otimizar a qualidade nutricional de alimentos extrudados.

## **7 AGRADECIMENTOS**

Este trabalho contou com o apoio da Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ; concessão no. E-26 / 010.001222 / 2015); BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento, pela Fundação Eliseu Alves; e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) Brasil.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BANDYOPADHYAY, S.; ROUT, R. K. Aquafeed Extrudate Flow Rate and Pellet Characteristics from Low-Cost Single-Screw Extruder. **Journal of Aquatic Food Product Technology**, v. 10, n. 2, p. 3-15, 2001.
- BELLAVER, C.; BRUM, P.; LIMA, G.; BOFF, J.; KERBER, J. Substituição Parcial do Farelo de Soja pela Farinha de Vísceras de Aves em Dietas Balanceadas com Base na Proteína e em Aminoácidos Totais ou Digestíveis para Frangos de Corte. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v. 3, p. 233-240, 2001.
- BELLAVER, C.; NONES, K. A importância da granulometria, da mistura e da peletização da ração avícola. **Simpósio Goiano de Avicultura**, v. 4, p. 57-78, 2000.
- BUTOLO, J. E. **Qualidade de ingredientes na alimentação animal** 2<sup>nd</sup> edn. . SP, Brasil: JE Butolo, 2002.
- CONDE-SIEIRA, M.; SOENGAS, J. L.; VALENTE, L. M. Potential capacity of Senegalese sole (*Solea senegalensis*) to use carbohydrates: metabolic responses to hypo-and hyperglycaemia. **Aquaculture**, v. 438, p. 59-67, 2015.
- DE CRUZ, C.; KAMARUDIN, M.; SAAD, C.; RAMEZANI-FARD, E. Effects of extruder die temperature on the physical properties of extruded fish pellets containing taro and broken rice starch. **Animal Feed Science and Technology**, v. 199, p. 137-145, 2015.
- EUSEBIO, P. S.; COLOSO, R. M. Evaluation of leguminous seed meals and leaf meals as plant protein sources in diets for juvenile *Penaeus indicus*. **The Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh**, v. 50, n. 2, p. 47-54, 1998.
- FAO. Global Aquaculture Production statistics database updated to 2013 Summary information. **Fisheries and Aquaculture Department.**, Rome, Italy, 2015. Disponível em: < <http://www.fao.org/3/a-i4899e.pdf> >. Acesso em: January 2017.
- FARIA FILHO, D.; FARIA, D.; JUNQUEIRA, O. M.; RIZZO, M.; ARAÚJO, L.; ARAÚJO, C. Avaliação da farinha de carne e ossos na alimentação de frangos de corte. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, 2002.
- HENN, J. D.; RIBEIRO, A. M. L.; KESSLER, A. d. M. Comparação do valor nutritivo de farinhas de sangue e de farinhas de vísceras para suínos utilizando-se o método da proteína e gordura digestíveis e o método de substituição. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, p. 1366-1372, 2006.
- HILTON, J.; CHO, C.; SLINGER, S. Effect of extrusion processing and steam pelleting diets on pellet durability, pellet water absorption, and the physiological response of rainbow trout (*Salmo gairdneri* R.). **Aquaculture**, v. 25, n. 2-3, p. 185-194, 1981.

HONORATO, C. A.; ALMEIDA, L.; MORAES, G. Processamento de dieta: seus efeitos no aproveitamento de carboidrato para peixes. **Revta Eletrôn. Nutritime**, v. 10, n. 5, p. 2700-2715, 2013.

IFFO (International Fishmeal and Fish Oil Organization). **Fishmeal Industry Overview**. London, UK, 2015. Disponível em: < <http://www.iffonet.es> >. Acesso em: Janeiro, 2018.

KLEIN, A. A. Peletização de rações: aspectos técnicos, custos e benefícios e inovações tecnológicas. Conferência Apinco de Ciência e Tecnologia Avícolas, , FACTA Porto Alegre, p.173-193, 2009.

KUBITZA, F. Manejo na produção de peixes. **Panorama da Aqüicultura. Rio de Janeiro**, v. 19, n. 14, p. 14-27, 2009.

LAMOINE, J.; GAYTAN., I. **Factores clave para la perfecta aplicación de aditivos en polvo y líquidos al alimento balanceado.**, 2015. Disponível em: < <http://www.engormix.com/MA-balanceados/formulacion/articulos/factores-clave-perfecta-aplicacion-t7355/800-p0.htm> >. Acesso em: Fevereiro, 2017.

LAZZARI, R.; RADÜNZ NETO, J.; EMANUELLI, T.; PEDRON, F. d. A.; COSTA, M. L.; LOSEKANN, M. E.; CORREIA, V.; BOCHI, V. C. Diferentes fontes protéicas para a alimentação do jundiá (*Rhamdia quelen*). **Ciência Rural**, v. 36, p. 240-246, 2006.

LEESON, S.; SUMMERS., D. J. . **Commercial Poultry Nutrition**. . Nottingham, UK. : p. 398, 2005.

LOAR II, R. E.; CORZO, A. Effects of feed formulation on feed manufacturing and pellet quality characteristics of poultry diets. **World's Poultry Science Journal**, v. 67, n. 1, p. 19-28, 2011.

MIRANDA, E.; PEZZATO, A.; PEZZATO, L.; FURUYA, W. Disponibilidade aparente de fósforo em ingredientes pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Acta Scientiarum**, v. 22, n. 3, p. 669-675, 2000.

MOREIRA, I.; PERES, H.; COUTO, A.; ENES, P.; OLIVA-TELES, A. Temperature and dietary carbohydrate level effects on performance and metabolic utilisation of diets in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. **Aquaculture**, v. 274, n. 1, p. 153-160, 2008.

NAYLOR, R. L.; GOLDBURG, R. J.; PRIMAVERA, J. H.; KAUTSKY, N.; BEVERIDGE, M. C. M.; CLAY, J.; FOLKE, C.; LUBCHENCO, J.; MOONEY, H.; TROELL, M. Effect of aquaculture on world fish supplies. **Nature**, v. 405, p. 1017, 2000.

OBALDO, L. G.; DOMINY, W. G.; RYU, G. H. Extrusion Processing and Its Effect on Aquaculture Diet Quality and Shrimp Growth. **Journal of Applied Aquaculture**, v. 10, n. 2, p. 41-53, 2000/06/01 2000.

PLATTNER, B. Raw materials and their impact on the extrusion of aqua feeds. **Wenger Manufacturing**, Sabetha, KS, USA, 2007. Disponível em: < <http://www.aquafeed.com/docs/ah2007/PLATTNER.pdf> >. Acesso em: Janeiro, 2017.

REN, M.; HABTE-TSION, H.-M.; XIE, J.; LIU, B.; ZHOU, Q.; GE, X.; PAN, L.; CHEN, R. Effects of dietary carbohydrate source on growth performance, diet digestibility and liver glucose enzyme activity in blunt snout bream, *Megalobrama amblycephala*. **Aquaculture**, v. 438, p. 75-81, 2015.

ROLFE, L.; HUFF, H.; HSIEH, F. Effects of particle size and processing variables on the properties of an extruded catfish feed. **Journal of aquatic food product technology**, v. 10, n. 3, p. 21-34, 2001.

SA, L. M. Ingredientes alternativos na alimentação de suínos - Economia e segurança (Parte II). Artigo técnico. **Poli-Nutri Nutrição Animal Feed Science and Technology**, Osasco, SP, Brasil., 2005. Disponível em: < <http://www.polinutri.com.br/upload/artigo/171.pdf>. >. Acesso em: Janeiro, 2017.

SEIXAS, J.; ROSTAGNO, H.; QUEIROZ, A. Avaliação do desempenho de pós-larvas de camarão de água doce (*Macrobrachium rosenbergii* de Man) alimentados com dietas balanceadas contendo diferentes aglutinantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 26, n. 4, p. 638-644, 1997.

SIGNOR, A. A.; BOSCOLO, W. R.; BITTENCOURT, F.; FEIDEN, A.; REIDEL, A. Farinha de vísceras de aves na alimentação de alevinos de lambari. **Ciência Rural**, v. 38, p. 2339-2344, 2008.

SIMON, C. J. Identification of digestible carbohydrate sources for inclusion in formulated diets for juvenile spiny lobsters, *Jasus edwardsii*. **Aquaculture**, v. 290, n. 3-4, p. 275-282, 2009.

SOH, J. L. P., Sarkar, S., Heng, P. W. S. and Liew, C. V. **Pelletization techniques**. In **Swarbrick, J. (ed.)**. 4th edn. CRC Press/Taylor & Francis Group. Boca Raton, FL, USA: p. 2515-2524, 2013.

TORRES, A. P. **Alimentos e nutrição das aves domésticas**. São Paulo, Brasil: 324 p, 1977.

YANG, Q.; TAN, B.; DONG, X.; CHI, S.; LIU, H. Effect of replacing fish meal with extruded soybean meal on growth, feed utilization and apparent nutrient digestibility of juvenile white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). **Journal of Ocean University of China**, v. 14, n. 5, p. 865-872, 2015.

YOUNG, A.; MORRIS, P.; HUNTINGFORD, F.; SINNOTT, R. Replacing fish oil with pre-extruded carbohydrate in diets for Atlantic salmon, *Salmo salar*, during their entire marine grow-out phase: Effects on growth, composition and colour. **Aquaculture**, v. 253, n. 1-4, p. 531-546, 2006.

ZHOU, C.; GE, X.; LIU, B.; XIE, J.; XU, P.; ZHOU, Q.; PAN, L.; CHEN, R. Effect of dietary carbohydrate level on growth performance, blood chemistry, hepatic enzyme activity, and growth hormone gene expression in Wuchang bream (*Megalobrama amblycephala*). **Isr. J. Aquac.-Bamidgeh**, v. 65, p. 1-8, 2013.

ZHOU, C.; GE, X.; NIU, J.; LIN, H.; HUANG, Z.; TAN, X. Effect of dietary carbohydrate levels on growth performance, body composition, intestinal and hepatic enzyme activities, and growth hormone gene expression of juvenile golden pompano, *Trachinotus ovatus*. **Aquaculture**, v. 437, p. 390-397, 2015.

## **CAPÍTULO II**

**FORMULAÇÃO E AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E TECNOLÓGICA  
DE RAÇÕES EXTRUDADAS PARA PEIXES**

**PHYSICAL-CHEMICAL AND TECHNOLOGICAL EVALUATION OF  
FORMULATIONS OF EXTRUDED FISH FEED**

## RESUMO

Nos últimos anos, o contínuo crescimento da aquicultura no país, gerou a necessidade do fornecimento de alimentos para organismos aquáticos com qualidade nutricional e baixos custos. Dentro deste cenário, é importante considerar a produção de rações com matérias-primas de qualidade, que garantam a perfeita interação metabólica e consequente eficiência de aproveitamento dos constituintes nutricionais presentes no alimento. Para a obtenção de rações para aquicultura, uns dos fatores relevantes a considerar é a tecnologia, sendo a Extrusão Termoplástica de Alimentos considerada a alternativa mais acertada. Através deste processo, com o adequado controle dos parâmetros do processo (umidade, temperatura, velocidade do parafuso etc.) pode-se controlar o grau de cozimento até alcançar os melhores níveis de eficiência de conversão alimentar. Por outro lado, deve-se considerar a disponibilidade e o custo dos ingredientes na sua formulação. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito das variáveis do processo de extrusão de duas dietas formuladas com dois níveis de inclusão de farelo de soja (FS) e farinha de carne e ossos (FCO), contendo um teor de 35% de proteína bruta para peixes em fase juvenil, utilizando uma ração comercial como controle. Foram realizados testes preliminares com o objetivo de verificar a extrudabilidade fusão e formatação dos ingredientes, utilizando diferentes percentagens de inclusão de farinha de peixe e outras fontes proteicas de origem vegetal como: farelo de arroz, farelo de trigo, farelo de soja, glúten de trigo, e fontes de carboidratos como: grits e fubá de milho, óleo de soja, e emulsificante, processados com parâmetros de umidade : 18, 21, 24, 28, 30% ; temperaturas variando na terceira zona do extrusor entre: 80, 100, 120, 140 °C ; velocidade de rotação do parafuso entre: 120, 150, 180, 200 rpm, parafuso de 3:1, e matriz circular de 3mm. Para este processamento utilizou-se uma extrusora de parafuso único marca Brabender™, modelo 20DN. Os resultados obtidos dos testes preliminares não foram os esperados enquanto a sua formatação, impossibilitando sua caracterização física e tecnológica, descartando o material. O teor de fibra presente em alguns ingredientes, umidades altas, e adição de óleo vegetal antes do processo, dificultou a compactação do pellet, resultando quebradiço e sem o formato desejado. Posteriormente foram realizadas as substituições dos ingredientes como descrito no objetivo deste experimento e feitos ajustes nos parâmetros do processo de extrusão. As temperaturas do canhão foram ajustadas a 50, 80, 100 °C, a velocidade do parafuso foi de 150 rpm, matriz de 3mm e parafuso de 3:1. A variação do teor final de umidade de cada formulação foi condicionada em 28 e 40% para o primeiro bloco, e 20 e 25% para o segundo, bem como a proporção de ingredientes das dietas. Os pellets foram avaliados quanto ao grau de expansão, densidade, absorção e solubilidade em água, propriedades de pasta (RVA), difração de raios-X, composição centesimal, minerais e perfil de aminoácidos. Os resultados com 28 e 40% de umidade, apresentaram valores muito heterogêneos nas propriedades físicas, porém alguns próximos aos valores da ração comercial. Isto foi determinante para reduzir os parâmetros de umidade. Os resultados do processamento com umidades de 20 e 25% mostraram que houve uma melhoria enquanto às propriedades físicas, no entanto foi observado resultados altos não esperados de densidade aparente: a dieta B25 ( $623,11 \pm 41,40$ ) foi o valor mais alto. Valores altos de densidade prejudicam características tecnológicas importantes como a flutuabilidade. Os IER e IES, apresentaram um aumento como efeito da redução de umidade: as dietas A20 e B20 apresentaram valores de ( $1,04 \pm 0,46$ ) e ( $1,09 \pm 0,48$ ) próximos da ração comercial (IER:  $1,13 \pm 0,06$ ; IES:  $1,29 \pm 0,14$ ). O grau de expansão dos pellets é uma característica que está relacionada com a flutuabilidade e a desintegração, por isso é importante o correto manejo dos parâmetros do processo. Enquanto aos resultados do IAA, observou-se um leve aumento quando processadas com 25% de umidade (A25:  $22,73 \pm 1,38$ ; B25:  $23,27 \pm 1,97$ ), ficando próximos da ração comercial ( $31,04 \pm 1,72$ ), isto devido à redução do grau de cozimento da

parte amilácea dos ingredientes, favorecendo a aglutinação, formatação e durabilidade do pellet. Em relação ao ISA observou-se que não houve notória diferença, pois, os valores estão próximos da ração comercial ( $1,23 \pm 0,03$ ). Os resultados da viscosidade máxima de pasta (RVA) processadas com 28 e 40% de umidade, apresentaram valores muito heterogêneos (A28:  $131 \pm 38,18$ ; A40:  $66,5 \pm 0,71$ ; B28:  $182,5 \pm 37,48$ ; B40:  $118 \pm 0$  cP), maiores que a ração comercial ( $36,5 \pm 0,71$  cP). Já com teor reduzido em 20 e 25% apresentaram resultados sem diferenças notáveis ( $115 \pm 7$   $117 \pm 5$   $116 \pm 1$   $119 \pm 2$  cP) porém, maiores que a ração comercial. Isto indica que o tratamento térmico não foi tão severo para quebrar toda a estrutura amilácea, formando o gel com o amido ainda presente após processo. Enquanto a Difração de raios-X os valores estão muito próximos à amostra comercial (22,80%) com exceção da dieta A28 (43,80), indicando que ainda existe cristalinidade do amido, em ambos casos os resultados favorecem à aglutinação e formatação do pellet. As análises químicas foram realizadas apenas para os experimentos com 20 e 25% de umidade por ter melhores resultados das análises físicas. Os resultados da composição proximal das dietas A e B quanto a PB, foi em média de 38%, o efeito da secagem pós extrusão disponibilizou maior teor de PB comparado com a ração comercial (30,19%). Enquanto ao EE, as dietas B20 e B25 apresentaram valores de 11,30%, acima da amostra comercial (6,36%), isto pode ter acontecido devido que a dieta B contém a maior percentagem de FCO (55%). Na composição de minerais os resultados foram superiores frente à amostra comercial, especialmente em Ca e P, a dieta B apresenta maior valor, isto pode estar relacionado com o nível de inclusão de FCO. Os resultados do perfil de aminoácidos apresentaram valores superiores frente à ração comercial (1,50%), destacando a Lisina (B25: 2,63%), Metionina (B25: 1,26%) , Arginina (B20: 3,84%), Treonina (B20: 1,79). Conclui-se que os pellets podem ter uma densidade maior, não apenas devido à sua formulação e umidade de processamento, mas também devido ao seu baixo grau de cozimento no processo. Pode-se melhorar a densidade e o grau de expansão se a umidade de processo for reduzida em combinação com outras variáveis. Devido ao pouco esforço mecânico, temperatura moderada e altas umidades, o grau de cozimento foi baixo, tendo como resultados valores altos de absorção de água, viscosidade de pasta e cristalinidade do amido. A proporção de Ca e P, consideram-se um pouco altos nas rações experimentais, sendo menor na ração comercial, isto devido à proporção da farinha de carne e ossos na formulação. Do ponto de vista da qualidade dos aminoácidos, as dietas quando processadas por extrusão com os parâmetros adequados, diminui perdas por aquecimento excessivo durante a cocção, apresentando-se em maior percentagem, e por tanto com maior benefício na nutrição de peixes. O presente trabalho sugere realizar ajustes nos parâmetros do processo de extrusão e formulação das dietas, com a finalidade de obter melhores características físico-químicas, e tecnológicas nos pellets.

**Palavras-chave:** caracterização físico-química, pellets, extrusão, ração.



## ABSTRACT

In recent years, the continued growth of aquaculture in the country has generated the need to provide food to aquatic organisms with nutritional quality and low costs. Within this scenario, it is important to consider the feed production with quality raw materials, which guarantee the perfect metabolic interaction and consequent efficiency of nutritional utilization of food constituents. In order to obtain aquaculture feed, one of the relevant factors to consider is the technology, being the Food Thermoplastic Extrusion considered the most appropriate alternative. Through this manufacturing, with the proper control process parameters (moisture, temperature, screw speed, etc.) is possible control cooking degree until reach the best levels of conversion feed efficiency. On the other hand, consideration should be given to the availability and cost of ingredients in their formulation. The objective of this study was to evaluate the effect of the extrusion process variables of two diets formulated with two inclusion levels of soybean meal (SBM) and meat and bone meal (MBM), containing 35% crude protein in juvenile phase fish, using a commercial feed as control. Preliminary tests were carried out with the objective of verifying the extrudability, melting and ingredients formatting, using different fish meal percentages and other vegetable protein sources: rice bran, wheat bran, soybean meal, wheat gluten, and carbohydrates from corn grits and soybean oil, and emulsifier, processed with moisture parameters: 18, 21, 24, 28, 30%; temperatures varying in the third zone of the extruder between: 80, 100, 120, 140 °C; screw speed between: 120, 150, 180, 200 rpm. Screw compression 3: 1, and 3 mm circular die. A single screw extruder Brabender™, model 20DN was used for this processing. The results obtained from preliminary tests were not as expected while their formatting, making their physical and technological characterization impossible, discarding the material. The fiber content in some ingredients, high moisture, and addition of vegetable oil prior to the process made it difficult to pellet the compaction, resulting brittle and lacking the desired shape. Subsequently, the substitutions of the ingredients were performed as described in the purpose of this experiment and adjustments were made in the parameters of the extrusion process. Barrel temperatures were set at 50, 80, 100 °C, screw speed was 150 rpm, 3mm die and 3:1 screw compression. The final moisture content variation of each formulation was conditioned in 28 and 40% for the first block, and 20 and 25% for the second, as well as the proportion of ingredients of the diets. The pellets were evaluated by radial expansion index (REI) and sectional expansion index (SEI), density, water absorption (WAI) and water solubility index (WSI), pasting properties (RVA), X-ray diffraction, proximal composition, minerals and amino acid profile. The results with 28 and 40% moisture showed very heterogeneous values in the physical properties, but some close to the values of feed commercial. This was instrumental in reducing moisture parameters. The processing results with 20 and 25% moisture showed that there was an improvement over physical properties, however, unexpected high apparent density results were observed: diet B25 ( $623.11 \pm 41.40$ ) was the highest value. High density values undermine important technological features such as buoyancy. The REI and SEI showed an increase as a reduction effect: the A20 and B20 diets presented values of ( $1.04 \pm 0.46$ ) and ( $1.09 \pm 0.48$ ) close to the commercial feed (REI:  $1.13 \pm 0.06$ , SEI:  $1.29 \pm 0.14$ ). The pellet expansion degree is a characteristic that is related to buoyancy and disintegration, so it is important to correctly handle the process parameters. While the results of the IAA, a slight increase was observed when processed with 25% moisture (A25:  $22.73 \pm 1.38$ , B25:  $23.27 \pm 1.97$ ), being close to the commercial feed ( $31.04 \pm 1.72$ ), due to degree starchy cooking reduction, part of the ingredients, favoring agglutination, formatting and durability of the pellet. Regarding WSI, it was observed that there was no noticeable difference, since the values are close to the feed commercial ( $1.23 \pm 0.03$ ). The maximum pasting viscosity (RVA) results was at 28 and 40% moisture showing very heterogeneous

values (A28:  $131 \pm 38.18$ , A40:  $66.5 \pm 0.71$ , B28:  $182.5 \pm 37.48$ , B40:  $18 \pm 0$  cP), higher than commercial feed ( $36.5 \pm 0.71$  cP). However, with a reduced content of 20 and 25% showed results with no significant differences ( $115 \pm 7b$   $117 \pm 5b$   $116 \pm 1bc$   $119 \pm 2$  cP), but higher than the commercial diet. This indicates that the heat treatment was not so severe to break down the entire starchy structure, forming the gel with the starch still present after the process. While the X-ray diffraction values are very close to the commercial sample (22.80%) except for diet A28 (43.80), indicating that there is still crystallinity of the starch, in both cases the results favor agglutination and pellet formation. The chemical analyses were performed only for the experiments with 20 and 25% moisture having better results of physical analyzes. The results of the proximal composition diets A and B for BP were on average 38%, the effect of post extrusion drying provided a higher BP content compared to the commercial feed (30.19%). While in the EE, the B20 and B25 presented values of 11.30%, above the commercial sample (6.36%), this may have happened because diet B contains the highest percentage of MBM (55%). In the minerals composition, the results were higher than the commercial sample, especially in Ca and P, diet B presents higher value, and this may be related to the inclusion level of MBM. The results of the amino acid profile presented higher values than the commercial diet (1.50%), with Lysine (B25: 2.63%), Methionine (B25: 1.26%), Arginine (B20: 1.79). It is concluded that the pellets may have a higher density, not only due to their formulation and processing moisture but also due to their low degree of cooking in the process. The density and degree of expansion can be improved if the process moisture is reduced in combination with other variables. Due to the low mechanical strength, moderate temperature, and high humidity, the degree of cooking was low, resulting in high values of water absorption, pasting viscosity and crystallinity of the starch. The proportion of Ca and P, are considered a little high in the feed experimental, being smaller in the feed commercial, this due to the proportion of the MBM in the formulation. From the quality of the amino acids, the diets when processed by extrusion with the appropriate parameters, reduce losses due to excessive heating during cooking, showing a higher percentage, and therefore with greater benefit in nutrition fish. The present work suggests making adjustments in the extrusion process parameters and diets formulation, to obtain better physicochemical and technological characteristics in the pellets.

**Keywords:** physic-chemical characterization, pellets, extrusion, feed

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com (TIDWELL ; BRIGHT, 2019), a atividade de produção de alimentos que mais cresce no mundo é a aquicultura, pois ela possui atributos próprios, e métodos eficientes com baixo impacto ambiental para produzir proteína de alta qualidade para o consumo humano. Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), no relatório SOFIA (The State of World Fisheries and Aquaculture), em 2016, a produção mundial de pescado foi de aproximadamente 171 milhões de toneladas, com participação de 47% da aquicultura, destinando-se 151 milhões de toneladas para consumo humano. Para o ano 2030, a estimativa da aquicultura e contribuir com o 60% da produção mundial, FAO (2018). Enquanto à produção nacional, segundo dados publicados pela Associação Brasileira de Piscicultura no “Anuário PeixeBR da Aquicultura”, a produção brasileira de peixes cultivados foi de 691.700 toneladas, 8% mais que em 2016 (PEIXE BR, 2018).

O sucesso e a sustentabilidade da indústria da aquicultura dependem da disponibilidade de alimentos de alta qualidade nutricional bem balanceados e com preços competitivos. No entanto, existe a preocupação de que os sistemas intensivos de produção empregados na piscicultura moderna sejam prejudiciais ao meio aquático. Em particular, a crescente produção de peixes requer o uso de alimentos que forneçam alta qualidade nutricional, digestibilidade, palatabilidade e geração mínima de resíduos, em especial o fósforo e nitrogênio. No entanto, devido ao custo das matérias-primas disponíveis, o setor manufatureiro está sempre sob pressão para desenvolver formulações de rações que gerem o mínimo de resíduos no processamento. Assim, a formulação de alimentos adequados requer um conhecimento detalhado sobre as necessidades nutricionais específicas das espécies de peixe alvo, bem como as características de disponibilidade e processamento dos ingredientes. Além disso, na seleção de ingredientes para formulações de alimentos, como proteínas de origem animal ou vegetal, carboidratos, lipídios (peixes ou óleos vegetais), vitaminas, agentes aromatizantes e compostos bioativos, é importante considerar o destino desses componentes na aquicultura e no meio ambiente (MELENDEZ et al., 2018).

De acordo com o boletim informativo, publicado pelo Sindicato Nacional da Indústria de Alimentação Animal (SINDIRAÇÕES), a produção de rações para peixes e camarões no Brasil alcançou 940 mil toneladas em 2017, apresentando um crescimento pouco mais de 4%, exclusivamente por causa do desempenho da piscicultura, a pesar dos problemas ocasionados pela estiagem que comprometeu diversos reservatórios a produtividade da aquicultura foi favorecida pelos empreendimento feitos na criação de tilápias e na produção mais intensiva de camarões. A reidratação de diversos polos produtores nas regiões Sudeste, Norte e Centro-Oeste e o contínuo avanço da piscicultura em regime de integração podem levar à produção de mais de 1,2 milhões de toneladas, um avanço de 4% em relação ao apurado em 2017 (SINDIRAÇÕES, 2018).

A formulação e processamento de dietas para peixes têm como finalidade facilitar a retenção da ração pelo animal, acrescentando desta forma, a eficiência do alimento e minimizando perdas para o sistema aquático (RODRIGUES ; KOCHENBORGER FERNANDES, 2006). Segundo Kubitz (1999), o processamento contribui na melhoria do valor nutritivo, na aceitação e a estabilidade da ração na água. O objetivo deste experimento foi avaliar o efeito das variáveis do processo de extrusão de duas dietas, substituindo a farinha de peixe com dois níveis de inclusão de farelo de soja (25 e 10%), farinha de carne e ossos 40 e 55%), com teores de proteína bruta de 35% aproximadamente, e com quatro níveis de umidade de processamento (28,40% e 20, 25%, baseado nas formulações comerciais e pesquisas na área para espécies em fase juvenil.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Fatores importantes para a produção de rações

As indústrias de rações demandam com frequência um grande volume de ingredientes, sendo frequente a escassez de ingredientes alternativos ao milho e ao farelo de soja (CAMPESTRINI, 2005). Pesquisas sobre o valor nutritivo de alimentos utilizados na indústria da ração têm sido realizadas visando o uso de fontes alternativas na formulação, no entanto, o uso dessas fontes não deve resultar em efeitos negativos sobre o desempenho, saúde dos peixes e qualidade da água. Na fabricação de rações, a formulação das dietas com ingredientes previamente selecionados, os parâmetros de coeficientes de digestibilidade aparente da energia e nutrientes, demandam conhecimento prévio, pois diversos fatores podem afetar estes indicadores de eficiência (PEZZATO et al., 2009).

De acordo com Bell et al. (2001) a grande variação de preço e disponibilidade no mercado internacional leva a procurar fontes alternativas a estes ingredientes. Diante desse cenário, pesquisas relacionadas com a substituição de óleo e farinha de peixe, por exemplo, por outras fontes de origem vegetal na formulação e fabricação de rações, vêm sendo desenvolvidas permitindo assim, a expansão sustentável da indústria global de aquicultura (MOURENTE et al., 2005).

A presença de ingredientes específicos, tais como a farinha de peixe, que é desejada em quantidades excessivas, a farinha de penas e sangue que é rejeitada e a conformidade do produto com o especificado pelo fabricante como teor de nitrogênio não proteico, micro minerais, vitaminas, são fatores importantes na definição do produto (KUBITZA, 2009).

Segundo Campestrini (2005), as definições dos produtos de origem animal são muito importantes para sua padronização, permitindo que o produto seja classificado da mesma forma em diferentes locais e por diferentes profissionais.

A qualidade de uma ração depende de muitos fatores, dentre os quais a qualidade dos ingredientes utilizados na fórmula; o balanceamento nutricional da ração e, a qualidade do processamento, visto que, o grau de moagem dos ingredientes e controle do processo de extrusão podem interferir no resultado (KUBITZA, 2009). É de extrema importância conhecer a origem e o processamento do ingrediente em questão, pois isso permite que se conheça a formulação, as limitações do ingrediente, o que determinará o sucesso ou não sobre a redução dos custos da ração e o efeito no desempenho do animal com o ingrediente alternativo. Assim, a rastreabilidade de ingredientes usados no sistema produtivo é ponto importante ao longo da produção (CAMPESTRINI, 2005).

Há diversas formas de se avaliar a qualidade das rações usadas na piscicultura dentre elas, a avaliação visual e sensorial das rações, utilizando critérios tais como, o tamanho e a uniformidade dos pellets, a flutuabilidade dos pellets, a cor do produto, a existência de odores e sabores específicos, o grau de moagem dos ingredientes. Outra forma é a avaliação “*in vivo*” da qualidade das rações, com testes com os próprios animais, avaliando-se o desempenho dos peixes alimentados por elas (KUBITZA, 2009). De acordo com Sena e Nunes (2007), a estabilidade das rações em água pode ser avaliada por diferentes métodos, o que muitas vezes torna difícil a comparação entre os resultados.

No processo de fabricação da farinha de origem animal para a ração deve-se ter cuidado com a rancificação. As gorduras presentes nas farinhas são muito susceptíveis a peroxidação e por isso devem ser estabilizadas com antioxidantes para prevenir o início da peroxidação, acidez e putrefação. As análises podem ser realizadas por testes bioquímicos. Outro ponto, que se deve ter cuidado é com o tamanho das partículas, visto que, isso pode afetar a disponibilidade de alguns nutrientes, como o fósforo, por exemplo (CAMPESTRINI, 2005). Ressalta-se que os

ingredientes devem ser testados antes da sua utilização na fabricação das rações para garantir a ausência de adulterantes ou problemas de qualidade que possam afetar a integridade do produto. O produto deverá ser testado para determinar a segurança e ou o nível de qualidade (FRANÇA et al., 2011).

## **2.2 Parâmetros de qualidade na avaliação nutricional de rações para peixes**

### **2.2.1 Proteína e aminoácidos essenciais**

De acordo com Glencross (2016), a proteína tem um valor nutricional de 4.5 kcal/g nos peixes, e é a principal fonte de nitrogênio e aminoácidos. As requisições de proteína para peixes carnívoros correspondem em até 50% na sua alimentação. As exigências proteicas de cada espécie estão influenciadas por fatores como: tamanho do animal, número de exemplares no sistema de criação, temperatura da água, e níveis de oxigênio dissolvido. A qualidade da proteína está determinada pela composição, origem e disponibilidade dos aminoácidos, sendo indispensáveis para os peixes os aminoácidos essenciais: arginina, histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptofano e valina. A origem das fontes de proteína utilizadas como ingredientes nas rações, pode ser de origem animal ou vegetal, porém é necessário conhecer sua composição química, visando compreender os efeitos nutricionais em cada espécie Glencross, (2016).

Segundo Santos (2017), peixes, principalmente carnívoros, aparentam ter melhor desenvolvimento quando consomem rações com elevados teores proteicos, até 35% da matéria seca. As exigências para espécies herbívoras conseguem-se desenvolver com baixos níveis relativos de proteína, até 20% ou menos da matéria seca. A maioria de rações para peixes contém entre 24 a 49% de proteína bruta, mais comumente de 25 a 35%.

A correta utilização, e conhecimento da composição química dos ingredientes na formulação, podem fazer a diferença nos custos na fabricação de rações. Experimentos conduzidos por Neto et al. (2017), objetivaram comparar e avaliar, o desempenho zootécnico do tambaqui (*Colossoma macropomum*, Cuvier 1816), utilizando diferentes teores de proteína bruta (22 e 28% PB) em sua alimentação. Para o experimento utilizou 300 peixes, pesando  $\approx 1.0$  kg, até atingirem 3.0 kg, durante 12 meses. Os resultados obtidos, demonstraram que entre os valores médios de peso final ( $3,25 \pm 0,36$  kg e  $3,37 \pm 0,32$ kg); biomassa (500,56 e 518,80 kg) e conversão alimentar aparente (2,17 e 2,27) não existiram diferenças significativas, para os peixes tratados com as dietas de 22 e 28% PB. Os autores concluíram que a ração com 22% de PB, foi a mais viável economicamente para o tambaqui nessa fase de peso de criação, acima dessa percentagem pode estar contribuindo para o aumento nos custos de produção.

A diferença percentual de proteína bruta (6%), existente entre as dietas testadas no trabalho de Neto et al. (2017), embora a simples vista pode parecer não dispendioso, em termos de produção fabril em toneladas, pode representar um custo operacional muito alto para as indústrias de rações.

### **2.2.2 Lipídios**

Segundo Ribeiro et al. (2008), os lipídios são compostos considerados importantes na dieta dos peixes, pois proveem de forma eficiente energia e ácidos graxos essenciais. No entanto, níveis elevados de lipídeos nas dietas, podem prejudicar o metabolismo e a carcaça dos animais, gerando excesso de gordura indesejável. Na alimentação animal, os ácidos graxos mais utilizados são de origem vegetal, que podem ser encontrados nos mercados com baixos preços, sendo os mais comuns os óleos vegetais, que podem ser de oliva, milho e soja. Estas fontes de lipídeos são ricas em ácidos graxos monoinsaturados e poli-insaturados ômega-6 (PUFAs

ômega-6) e os de linhaça e de peixe constituem fontes de ácidos graxos poliinsaturados ômega-3 (PUFAs ômega-3) (RIBEIRO et al., 2008).

Em nutrição animal, a inclusão de óleos em rações é uma atividade comumente realizada. A inclusão de óleos antes do processo de extrusão é limitada, devido à sua interferência na expansão da parte amilácea presente nos componentes da formulação. Por isso, é necessário adicionar um banho de óleo na ração depois do processo de extrusão, com a finalidade de diminuir a percentagem de finos e a aparência. Esta prática nem sempre é aprovada por todos os fabricantes, devido que é observada a perda de óleo no ambiente (MOREIRA et al., 2018).

Experimentos conduzidos por Moreira et al. (2018), tiveram como objetivo avaliar o efeito da inclusão de óleo de soja sob diferentes formas de aplicação nas rações sobre o desempenho produtivo de juvenis de tilápia do Nilo. Utilizando 192 peixes com peso médio de  $15,34 \pm 0,60$  g e comprimento total médio de  $8,61 \pm 2,11$  cm. Foram formuladas rações isoenergéticas em três formas de aplicação: óleo pós-extrusão, óleo anterior à extrusão, óleo anterior e posterior à extrusão, além de ração controle isenta de óleo de soja. Parâmetros de desempenho produtivo, composição centesimal do filé e bioquímicos do sangue foram avaliados. Os resultados indicaram que não houve diferenças entre as formas de aplicação do óleo, no entanto a ração controle apresentou os melhores resultados de desempenho produtivo. Os autores concluíram que a forma de aplicação do óleo de soja não afetou as variáveis analisadas, recomendando o seu uso, considerando suas características nutricionais para a espécie.

Como parâmetro de controle de qualidade nas rações, é importante medir o grau de rancificação e acidez dos lipídios. Rações com lipídios rancificados tem menos valor energético, e pode afetar o aproveitamento de outros ingredientes como as vitaminas. Enquanto a acidez, quanto mais alta seja, mais degradada estarão os lipídios, e menor será seu valor nutricional na ração.

### 2.2.3 Minerais

De acordo com Santos (2017), os minerais são os responsáveis pela formação dos tecidos e vários processos metabólicos, e devem estar presentes em quantidades suficientes para a formação do sistema ósseo. Com exceção do cálcio e fósforo, as necessidades dos outros minerais são consideradas traços, alguns minerais servem como ativadores de enzimas e componentes de sistemas metabólicos estruturais.

As exigências dos minerais têm sido estudadas em algumas espécies em condições estritamente controladas. Santos (2017) relata, que estudos sobre a relação cálcio/fósforo demonstraram deficiências em teores de fosfatos em grande parte das dietas analisadas, como consequência da indisponibilidade nos subprodutos da agricultura utilizados como ingredientes na elaboração de rações, enquanto à proporcionalidade no balanço de cálcio/fósforo, as dietas devem conter entre 3 a 5g de cada mineral por kg.

Para a relação sódio/potássio, estes elementos precisam ser equacionados nas dietas, para espécies de água doce, os teores devem estar de 1 a 3g de sódio, e 1 a 3g de potássio por cada kg da dieta, acima destes níveis ocasiona desorganização metabólica e baixo índice de crescimento (SANTOS, 2017). Outros elementos como o magnésio, é essencial para o metabolismo, importante para o catabolismo dos carboidratos e as exigências podem estar entre 300 a 500 mg/kg da dieta, o cobalto está presente em forma de compostos orgânicos vinculados à vitamina B12 e, portanto, pode-se incluir em pequenas quantidades nas rações (SANTOS, 2017).

Ferro, zinco, cobre, manganês e outros minerais-traços servem para ativar diversos sistemas enzimáticos, são requeridos para peixes em crescimento acentuado. Como resultado, esses elementos são suplementados na maioria das dietas, mesmo que as quantidades requeridas deles ainda não tenham sido catalogadas (SANTOS, 2017).

Segundo relatado por Pontes et al. (2016), o fósforo em dietas formuladas com ingredientes de origem vegetal, encontram-se de forma indisponível para animais monogástricos devido à falta da enzima fitase, tornando-se necessário a inclusão da enzima na formulação de rações realizadas com fontes de origem vegetal, a fim de aumentar a capacidade de absorção do fósforo, e ao mesmo tempo diminuir a perda por excreção deste elemento para o ambiente aquático.

De Miranda et al. (2000), avaliaram o efeito da relação  $\text{Ca}/\text{P}_{\text{disp}}$  em rações para alevinos de tilápia do Nilo, sobre o desempenho produtivo e a mineralização óssea, utilizaram sete rações isoprotéicas e isoenergéticas (28% de PB e 3100 kcal de ED/kg de ração). Concluindo que se faz necessário fornecimento mínimo de 0,25% de  $\text{P}_{\text{disp}}$  para uma mineralização óssea satisfatória. Os melhores resultados de desempenho foram obtidos com rações cujas relações  $\text{Ca}/\text{P}_{\text{disp}}$  apresentavam-se entre 1,0:1,0 e 1,0:1,5.

#### 2.2.4 Teor de fibra

Ingredientes com altos teores de fibras, são difíceis de serem digeridos pelos peixes, isto acontece com a maioria dos ingredientes básicos utilizados na formulação de rações. Na sua estrutura corporal, os peixes praticamente não têm fibras, então as fibras presentes nas dietas, servem como volume, e só em alguns casos como fonte de energia. Nas rações peletizadas, ajudam na aglutinação dos pellets. Na nutrição de peixes, alguns profissionais da área, insistem que o teor de fibras nas dietas, devem ser menores do que 10%, não entanto outros recomendam até 20% (SANTOS, 2017). De acordo com Dalsgaard et al. (2016), as fibras podem ser divididas em solúveis e insolúveis, que podem ter efeitos antinutricionais em animais endotérmicos.

Bonvini et al. (2018), relataram que existe uma mudança de tendências na formulação de rações para peixes, cada vez o nível de inclusão de ingredientes vegetais é mais alto, por conseguinte os níveis de fibra estão aumentando progressivamente, apesar do fato que a maioria dos peixes não aproveitam esse componente.

Bonvini et al. (2018), realizaram experimentos para avaliar os efeitos do aumento do nível de fibra alimentar insolúvel em robalos (*Dicentrarchus labrax*, Linnaeus 1758). Foram realizadas cinco dietas isoprotéicas com aumento dos níveis de fibra insolúvel, (fibra em detergente neutro, NDF 7,2, 8,9, 11,5, 13,1 e 15,5%). As dietas foram formuladas com farinha de peixe e com uma mistura de ingredientes vegetais. O teor de fibras foi aumentado pelo aumento dos níveis de uma combinação de casca de girassol e casca de soja para fornecer a mesma proporção de fibra de cada ingrediente. Os resultados obtidos pelos autores indicaram não foram observadas diferenças significativas devido aos níveis de inclusão de fibra no peso corporal final, taxa de crescimento específico, consumo de ração, taxa de conversão alimentar, eficiência proteica e lipídica. A conclusão deste estudo foi, que os diferentes níveis de fibra insolúvel testados não têm efeitos no desempenho global e eficiência alimentar no robalo europeu, enquanto à formulação para o crescimento do robalo europeu, a fibra insolúvel derivada de cascas de girassol e cascas de soja pode ser incluído em um nível de até 15,5%.

A fundamentação teórica apresentada no capítulo I, e no início do capítulo II, nos permitiu ter uma visão mais clara do processo tecnológico utilizado neste experimento, a importância da seleção das matérias-primas, da composição nutricional de cada ingrediente que forma parte da formulação, assim como das variáveis e parâmetros envolvidos na avaliação da qualidade das rações.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Local de execução dos experimentos

O processo de formulação, e extrusão das rações, foram realizadas na Embrapa Agroindústria de Alimentos, na planta piloto IV. Assim como as avaliações físicas das matérias-primas, ingredientes, e produtos pós processo. A composição química dos ingredientes das dietas e produto final, foram realizadas nos laboratórios de físico-química, minerais e cromatografia da unidade.

#### 3.2 Material

##### 3.2.1 Preparação dos testes preliminares

Para a realização deste trabalho foram realizados testes preliminares, utilizando farinha de peixe, e outras fontes de proteína de origem vegetal com diferentes percentagens de inclusão nas formulações, tais como: farelo de arroz, farelo de trigo, farelo de soja, glúten de trigo, e fontes de carboidratos como: grits, fubá de milho, óleo de soja, e emulsificante. Os parâmetros do processo foram: umidade: 18, 21, 24, 28, 30%; temperaturas variando na terceira zona do canhão da extrusora: 80, 100, 120, 140 °C; velocidade de rotação do parafuso entre: 120, 150, 180, 200 rpm, parafuso de 3:1, e matriz circular de 3mm. Utilizou-se uma extrusora de parafuso único marca Brabender™, modelo 20DN. As formulações testadas são apresentadas na Tabela 1:

**Tabela 1.** Formulações dos testes preliminares com inclusão de farinha de peixe e outras fontes de origem vegetal

Teste	Ingredientes (%)									Total (%)
	FP	FS	FA	FT	GT	GM	FM	OS	EM	
1	29,25	29,25	-	-	10,00	-	30,00	-	1,50	100
2	29,10	19,40	-	-	10,00	-	40,00	-	1,50	100
3	37,45	16,05	-	-	10,00	30,00	-	5,00	1,50	100
4	27,75	27,75	-	-	10,00	30,00	-	3,00	1,50	100
5	37,45	-	16,05	-	5,00	35,00	-	5,00	1,50	100
6	29,25	-	-	29,25	5,00	-	30,00	5,00	1,50	100
7	37,45	-	8,02	8,02	10,00	-	32,00	3,00	1,50	100
8	27,75	-	13,87	13,87	10,00	30,00	-	3,00	1,50	100
9	37,45	5,35	5,35	5,35	5,00	-	35,00	5,00	1,50	100
10	50,00	20,00	-	-	5,00	-	20,00	5,00	-	100

FP: farinha de peixe; Farelo de soja; Farelo de arroz; Farelo de trigo; GT: glúten de trigo; GM: grits de milho; FM: fubá de milho; OS: óleo de soja; EM: emulsificante.

O cálculo das proporções dos ingredientes para cada dieta testada, foi realizado tomando como base 500g de tamanho de amostra, e foi calculada da seguinte forma:



Proporção dos ingredientes do teste 1 :

• Farinha de peixe 146,25g (29,25%)	}	58,50%	}	100%
• Farelo de soja 146,25 (25,25%)				
• Glúten de trigo 50,00g (10%)	}	41,50%		
• Fubá de milho 150,00g (30%)				
• Emulsificante 7,50g (1,5%)				
Total: 500,00g				

Proporção dos ingredientes do teste 2:

• Farinha de peixe 145,50g (29,10%)	}	48,50%	}	100%
• Farelo de soja 97,00g (19,40%)				
• Glúten de trigo 50,00g (10%)	}	51,50%		
• Fubá de milho 200,00g (40%)				
• Emulsificante 7,50g (1,5%)				
Total: 500,00g				

Proporção dos ingredientes do teste 3:

• Farinha de peixe 187,25g (37,45%)	}	53,50%	}	100%
• Farelo de soja 80,25g (16,05%)				
• Glúten de trigo 50,00g (10%)	}	46,50%		
• Grits de milho 150,00g (30%)				
• Óleo de soja 25,00g (5%)				
• Emulsificante 7,50g (1,5%)				
Total: 500,00g				

Proporção dos ingredientes do teste 4:

• Farinha de peixe 138,75g (27,75%)	}	55,50%	}	100%
• Farelo de soja 138,75g (27,75%)				
• Glúten de trigo 50,00g (10%)	}	44,50%		
• Grits de milho 150,00g (30%)				
• Óleo de soja 15,00g (3%)				
• Emulsificante 7,50g (1,5%)				
Total: 500,00g				

Proporção dos ingredientes do teste 5:

• Farinha de peixe	187,25g (37,45%)	}	53,50%	}	100%
• Farelo de arroz	80,25g (16,05%)				
• Glúten de trigo	25,00g (5%)	}	46,50%		
• Grits de milho	175,00g (35%)				
• Óleo de soja	25,00g (5%)				
• Emulsificante	<u>7,50g (1,5%)</u>				
Total:	500,00g				

Proporção dos ingredientes do teste 6:

• Farinha de peixe	146,25g (29,25%)	}	58,50%	}	100%
• Farelo de trigo	146,25g (29,25%)				
• Glúten de trigo	25,00g (5%)	}	41,50%		
• Fubá de milho	150,00g (30%)				
• Óleo de soja	25,00g (5%)				
• Emulsificante	<u>7,50g (1,5%)</u>				
Total:	500,00g				

Proporção dos ingredientes do teste 7:

• Farinha de peixe	187,25g (37,45%)	}	53,49%	}	100%
• Farelo de trigo	40,10g (8,02%)				
• Farelo de arroz	40,10g (8,02%)				
• Glúten de trigo	50,00g (10%)	}	46,51%		
• Fubá de milho	160,00g (32%)				
• Óleo de soja	15,00g (3%)				
• Emulsificante	<u>7,50g (1,5%)</u>				
Total:	500,00g				

Proporção dos ingredientes do teste 8:

• Farinha de peixe	138,75g (27,75%)	}	55,49%	}	100%
• Farelo de trigo	69,35g (13,87%)				
• Farelo de arroz	69,35g (13,87%)				
• Glúten de trigo	50,00g (10%)	}	44,51%		
• Grits de milho	150,00g (30%)				
• Óleo de soja	15,00g (3%)				
• Emulsificante	<u>7,50g (1,5%)</u>				
Total:	500,00g				

Proporção dos ingredientes do teste 9:

• Farinha de peixe	187,25g (37,45%)	} 53,50%	} 100%
• Farelo de soja	26,75g (5,35%)		
• Farelo de arroz	26,75g (5,35%)		
• Farelo de trigo	26,75g (5,35%)		
• Glúten de trigo	25,00g (5%)	} 46,50%	
• Fubá de milho	175,00g (35%)		
• Óleo de soja	25,00g (5%)		
• Emulsificante	7,50g (1,5%)		
Total: 500,00g			

Proporção dos ingredientes do teste 10:

• Farinha de peixe	250,00g (50,00%)	} 70,00%	} 100%
• Farelo de soja	100,00g (20,00%)		
• Glúten de trigo	25,00g (5%)	} 30,00%	
• Fubá de milho	100,00g (20%)		
• Óleo de soja	25,00g (5%)		
Total: 500,00g			

### 3.2.2 Preparação das dietas experimentais

Os experimentos foram constituídos por duas dietas com diferentes níveis de inclusão de proteína vegetal e animal (farelo de soja e farinha de carne e ossos). Para a formulação foram utilizados cinco ingredientes (Tabela 2), padronizando o tamanho de partícula com ajuda de um moinho de disco modelo (DM) LM3600, marca Perten Instruments AB, Huddinge (Suécia), ajustado para abertura de luz N° 0 entre discos. Foi determinado o teor inicial de umidade das misturas de acordo com a metodologia descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (1985) para farinhas e produtos similares – Determinação de umidade a 130°C, para seu condicionamento com os parâmetros do processo de extrusão.

**Tabela 2.** Proporção dos ingredientes das dietas experimentais

Ingredientes	Mistura (%)	
	Dieta A	Dieta B
1 Farelo de soja	25	10
2 Farinha carne/ossos	40	55
3 Farinha de trigo	33,5	33,5
4 Premix de minerais*	1	1
5 Vitamina C	0,5	0,5

\*Ácido fólico, ácido nicotínico, ácido pantotênico, B.H.T. (hidróxido de tolueno butilado), biotina, cloreto de colina, iodato de cálcio, inositol, selenito de sódio, sulfato de cobalto, sulfato de cobre, sulfato de ferro, sulfato de manganês, sulfato de zinco, vitamina A, vitamina B1, vitamina B12, vitamina K3, vitamina B2, vitamina B6, vitamina D3, vitamina E.

### 3.2.3 Condicionamento de umidade de processo das dietas experimentais

O condicionamento das misturas (Dieta A e B) para o processo de extrusão foi realizado da seguinte forma: foi preparado 1000g de mistura de cada formulação, as quais foram divididas em 8 amostras de 250g. O teor final de umidade foi estabelecido em 28 e 40% para o primeiro bloco de 4 amostras, e o segundo bloco foi condicionado com 20 e 25% respectivamente (Tabela 3). O teor final de umidade foi calculado e condicionado tendo em conta a umidade inicial das misturas, realizadas seguindo a metodologia descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (1985), determinação de umidade a 130°C por uma hora.

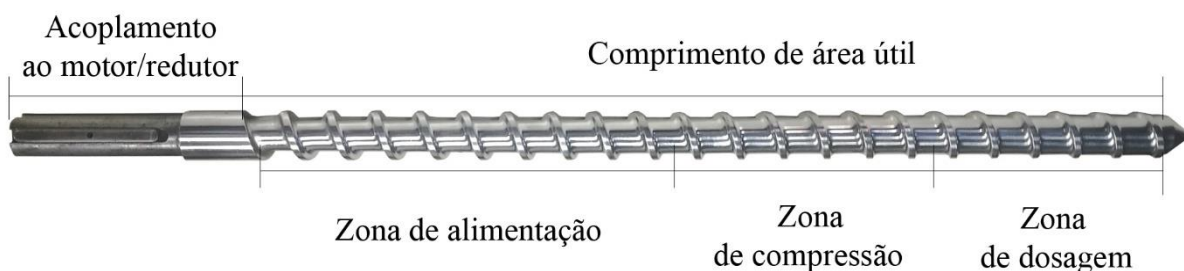
**Tabela 3.** Condicionamento de umidade para o processo de extrusão

Amostra	Umidade Inicial (%)	Massa Inicial (g)	Umidade Final (%)	Adição massa de Água (g)	Massa Final (g)
Dieta A	6,63	250	28	74,20	324,20
Dieta B	6,47	250	28	74,76	324,76
Dieta A	8,35	250	40	131,88	381,88
Dieta B	6,83	250	40	138,21	388,21
Dieta A	10,37	250	20	30,08	280,08
Dieta B	9,68	250	20	32,24	282,24
Dieta A	10,37	250	25	48,75	298,75
Dieta B	9,68	250	25	51,06	301,06

### 3.3 Métodos

#### 3.3.1 Produção da ração

A formulação e elaboração das rações pelo processo de extrusão termoplástica foram elaboradas na Planta Piloto IV (Cereais) da Embrapa Agroindústria de Alimentos no Rio de Janeiro. O processo foi realizado em uma extrusora da marca Brabender, modelo 20DN (Duisburg, Alemanha), de rosca simples, parafuso com taxa de compressão de 3:1 (Fig. 1), taxa de alimentação: 2,5 kg/h, e matriz de 3 mm de diâmetro. O extrusor possui três zonas de aquecimento no cilindro controladas por termostato e um registrador de pressão na saída da matriz. As temperaturas nas 3 zonas do barril foram estabelecidas em 50, 80, 100 °C, e a velocidade de rotação do parafuso foi de 150 rpm, a variação do teor de umidade de processamento para os experimentos foi determinada e condicionada antes do processamento em 28 e 40 % para os primeiros 4 ensaios (A28, A40, B28, B40) e 20 e 25% para o segundo (A20, A25, B20, B25) bem como a composição de cada dieta. Após o processamento, amostras de cada tratamento foram coletadas para determinadas análises físicas, e o restante foi encaminhado para secagem em secador de ar forçado a 60°C durante 24 horas, e posteriormente embalados em sacos de polietileno, reservando uma parte para o processo de moagem para posteriores análises químicas e físicas.



**Figura 1.** Parafuso (3: 1) da extrusora mono rosca Brabender™.

### 3.3.2 Caracterização química

As caracterizações químicas dos ingredientes das dietas, e das amostras comerciais utilizadas como controle, foram realizadas seguindo as seguintes metodologias:

#### 3.3.2.1 Composição proximal

Para o cálculo das dietas com teores desejados de proteína bruta de 35% tomando como referência uma ração comercial, e pesquisas de literatura sobre exigências nutricionais de espécies em fase juvenil, os ingredientes das dietas experimentais, e rações comerciais, foram quantificados de acordo a sua composição química. As determinações de composição centesimal foram realizadas em duplicata seguindo as metodologias descritas pela AOAC (2010). Para a determinação de umidade utilizou-se o método gravimétrico, através da perda de peso da amostra submetida a aquecimento em estufa a 105 °C até a obtenção de peso constante (método 925.09). As cinzas foram determinadas por incineração do material em mufla a 550 °C (método 923.03). O extrato etéreo foi determinado utilizando-se o extrator Soxhlet, extração com solvente orgânico, (éter de petróleo) segundo o método 945.38. O teor de nitrogênio foi determinado pelo método 2001.11 modificado (AOAC, 2010). O fator de conversão para converter nitrogênio em proteína foi 5,75. Para a determinação de fibra em detergente neutro utilizou-se o método 2002,04. O teor de carboidratos total foi calculado por diferença; Carboidratos Totais = 100 – (umidade + cinzas + proteína + extrato etéreo).

#### 3.3.2.2 Composição em minerais

O perfil de minerais foi determinado em duplicata pelo método de digestão em micro-ondas Millestone (EUA) pelo método 999.10 da AOAC (2005) e foi quantificado seguindo os procedimentos do método, ICP-OES - AOAC 2005, rev.2010 - Método 990.08, item 9.2.39 em espectrofotômetro de emissão de plasma ICP Spectroflama Flame, sendo a determinação feita por espectrometria de emissão atômica, após digestão completa da amostra com ácido nítrico e ácido perclórico.

#### 3.3.2.3 Perfil de aminoácidos

O perfil de aminoácidos foi realizado de acordo com os métodos 994.12 da AOAC (2005), determinando-se os seguintes aminoácidos essenciais: asparagina, glutamina, serina, histidina, glicina, treonina, alanina, arginina, valina, isoleucina, leucina, lisina e prolina, e os sulfurados fenilalanina e tirosina. A quantificação foi realizada em cromatógrafo líquido de alta eficiência (CLAE), modelo Alliance, marca Waters 2695, com detector de fluorescência modelo Alliance, Waters 2475 (EUA). As amostras foram hidrolisadas com HCl 6N a 110°C

durante 24 horas. A coluna de separação foi uma ACCQ-TAG de dimensões: 150 mm × 3,9 mm; tamanho de partícula 4 µm. A fase móvel consistiu em dois eluentes: (A) ACCQTAG e (B) acetonitrila em água. Um conjunto de padrões de aminoácidos foi analisado por cada amostra. A identificação dos aminoácidos nas amostras foi realizada por comparação dos tempos de retenção dos padrões.

### 3.3.3 Caracterização física

As caracterizações físicas dos pellets após do processo de extrusão, e da amostra comercial utilizada como controle, foram realizadas seguindo as seguintes metodologias:

#### 3.3.3.1 Umidade

Para o condicionamento da umidade final das misturas antes do processamento (Dietas A e B), foram realizadas análises de teor de umidade por gravimetria em estufa regulada a 130°C durante 1 hora conforme a metodologia descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (1985).

#### 3.3.3.2 Índice de expansão seccional (IES)

O índice de expansão seccional foi calculado através da medição dos diâmetros, nos extremos e no centro de cada pellet cilíndrico, utilizando um paquímetro digital de 150 mm (ZAAS Precision, SP, Brasil). Um total de vinte amostras foram selecionadas de cada tratamento e da amostra comercial. O cálculo foi realizado de acordo com a equação (1) (ALVAREZ-MARTINEZ et al., 1988).

$$IES = \left( \frac{D}{D_0} \right)^2 \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde  $D_0$  é o diâmetro do furo da matriz ( $D_0 = 3\text{mm}$ ) e  $D$  é o diâmetro médio de um pellet após atingir temperatura ambiente.

#### 3.3.3.3 Densidade aparente ( $\rho$ )

A densidade aparente ( $\rho$ ) dos peletes (em  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) foi calculada usando a equação (2) (FAN et al., 1996).

$$\rho = \frac{4 m}{\pi \times D^2 \times L} \times 1000 \quad \text{Eq. (2)}$$

Onde,  $m$  é a massa (g) de um pellet,  $L$  o comprimento (mm) e  $D$  o diâmetro do pelete após atingir temperatura ambiente. Foram realizadas um total de vinte leituras de cada tratamento e amostra comercial.

#### 3.3.3.4 Índice de expansão longitudinal (IEL)

O índice de expansão longitudinal dos pellets foi determinado utilizando a equação (3) de acordo com a metodologia descrita por Alvarez-Martinez et al. (1988)

$$IEL = \left( \frac{\rho_m}{\rho_e} \right) \left( \frac{1}{IES} \right) \left( \frac{100 - U_m}{100 - U_e} \right) \quad \text{Eq. (3)}$$

Onde  $\rho_m$  é a densidade da massa entrando no extrusor, considerada como 1400 kg·m<sup>-3</sup>; (densidade do amido);  $\rho_e$  é a densidade do pellet extrudado, calculado com a equação (1);  $U_m$  é a umidade de processamento da massa;  $U_e$  é a umidade do pellet saído do extrusor após atingir temperatura ambiente, determinado de acordo com o método do Instituto Adolfo Lutz (1985).

### 3.3.3.5 Índice de expansão volumétrico (IEV)

O índice de expansão volumétrico (IEV) dos pellets foi calculado seguindo a metodologia descrita por Alvarez-Martinez et al. (1988) de acordo com a equação (4):

$$IEV = IER \cdot IEL \quad \text{Eq. (4)}$$

### 3.3.3.6 Índice de solubilidade em água (ISA) e Índice de absorção de água (IAA)

Para esta análise, os pellets secos das dietas foram moídos em um moinho de martelos (MM) LM3100 (*Perten Instruments AB, Huddinge, Suécia*) equipado com uma peneira de 0,8 mm de abertura e em seguida peneiradas usando peneiras com aberturas de 0,212; 0,106 mm e um fundo. A fração retida na peneira de 0,106 mm foi usada para a determinação do ISA, IAA (BECKER et al., 2001). Para efeitos de comparação, as propriedades hidrotérmicas também foram determinadas na amostra comercial.

As determinações dos índices foram realizadas em quadruplicata de acordo com a metodologia descrita por Anderson (1969), com modificações. Foram pesadas  $1 \pm 0.0005$  g de amostra e transferidas para tubos de centrífuga previamente tarados, em seguida adicionou-se 5 ml de água destilada, e homogeneizado por 20 s em um agitador mecânico tipo vortex (*Genie 2 Scientific Industries, Bohemia, NY, USA*) e em seguida foram adicionados mais 5 ml de água destilada para lavar qualquer partícula aderida à parede do tubo. Em seguida, a fim de promover a hidratação completa, os tubos foram colocados a  $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$  durante 30 min em banho maria sobre agitação tipo Dubnoff NT 232 (Novatecnica, Piracicaba, SP, Brasil). O gel formado foi centrifugado a 9000 rpm a  $25^\circ\text{C}$  durante 15 min em uma centrífuga Universal 320R (*Hettich, Tuttingen, Alemanha*).

Os líquidos sobrenadantes foram colocados em cadinhos de alumínio, previamente tarados e submetidas ao processo de secagem em estufa com circulação de ar (*WTB Binder, Tuttlinger, Alemanha*) durante 4 horas a  $105^\circ\text{C}$  para a medição de sólidos solúveis totais. Após secagem, os cadinhos foram colocados em dessecador por 20 min e logo pesados. O cálculo do ISA foi realizado de acordo com a equação 5:

$$ISA = \frac{\text{Peso do resíduo evaporado (g)}}{\text{Peso da amostra (g)}} \times 100 \quad \text{Eq. (5)}$$

Após a retirada do líquido sobrenadante os tubos de centrífuga foram pesados, e o IAA foi calculado de acordo com a seguinte equação (6) adaptada por Hashimoto e Grossmann (2003):

$$IAA = \frac{\text{Peso do resíduo centrifugado (g)}}{\text{Peso da amostra (g)}} \times g \frac{\text{gel}}{\text{g}} \text{ matéria seca} \quad \text{Eq. (6)}$$

### 3.3.3.7 Propriedades de pasta

As propriedades de pasta foram analisadas utilizando um analisador de viscosidade da série 4 Rapid Visco Analyser (RVA) (*Newport Scientific PTY Ltd, Warriewood, Austrália*). Aproximadamente, 3 g de farinhas processadas com tamanhos de partículas entre 212 e 106 µm e umidade ajustada para 14 g de água / 100 g foram adicionadas a 25 g de água destilada. O perfil de temperatura incluiu inicialmente misturar e segurar a amostra com as pás girando a 160 rpm a 25 °C por 2 min, aquecendo a 95 °C (mantida por 3 min) e resfriada a 25 °C, resultando em um tempo total de 20 min. As fases de aquecimento e resfriamento foram realizadas com gradientes de temperatura de 6 °C / min. Os picos de viscosidade (V) em cP, e o tempo correspondente (t) em min, foram registrados por um computador utilizando o software Thermocline (*Newport Scientific, Warriewood, NSW, Austrália*), usando o perfil de análise “extrusion 1 no-alcohol (BECKER et al., 2001). As propriedades de pasta foram avaliadas tomando em consideração os seguintes parâmetros:

- a) Temperatura de início de formação de pasta, temperatura inicial de formação de pasta, correspondente ao ponto onde se inicia a formação da curva;
- b) Viscosidade máxima (V<sub>Máx</sub>): é o valor da viscosidade no ponto máximo da curva, obtido durante o ciclo de aquecimento, expresso em cP;
- c) Viscosidade mínima, menor valor da viscosidade após ter atingido a temperatura constante 95 °C (V<sub>Min</sub>);
- d) Quebra da viscosidade "breakdown" é a diferença entre a viscosidade máxima e a viscosidade mínima a 95°C;
- e) Viscosidade final no ciclo de resfriamento (V<sub>Final</sub>): é o valor da viscosidade em cP, ao final da análise (a 50 °C);
- f) Tendência à retrogradação (TR) ou “Setback”: é a diferença entre o menor valor de viscosidade mínima durante a manutenção à 95 °C e a viscosidade final.

### 3.3.3.8 Difração de raios – X (XRD)

O padrão de cristalinidade dos grânulos de amido foi determinado usando um difratômetro de raios-X D2 *Phaser* (*Bruker, Karlsruhe, Alemanha*), que opera com uma diferença de potencial igual a 40 kW e corrente elétrica de 30 mA, usando radiação gerada em um comprimento de onda de 0,154 nm, o ângulo de difração foi de 2 Θ, na faixa de 2 a 32°.

### 3.3.4 Análises estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software Excel and Statistic v.7.0 (*Statsoft Inc., Tulsa, EUA*). As diferenças entre os resultados foram determinados através da análise de variância (ANOVA). Foi feito o teste Fisher com um nível de confiança de 95% na comparação de médias dos resultados.



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando os principais fatores que influenciam as características físicas dos pellets, e os parâmetros tecnológicos do processo como a configuração do extrusora, tipo de parafuso simples, temperaturas, umidades e velocidades de rotação do parafuso, utilizadas. Os resultados dos testes preliminares, formulados a base de farinha de peixe a diferentes níveis, não foram as adequadas para esse tipo de formulação. A inclusão de diversas fontes de proteína de origem vegetal na formulação, influenciou no produto final, apresentando resultados não desejados, como a formatação adequada dos pellets. Essa foi a principal limitação para o desenvolvimento das demais caracterizações físicas e químicas do material processado. Isto pode estar relacionado com a composição química dos ingredientes, pois a maioria dos farelos utilizados em elaboração de rações contem altos teores de fibra, dificultando a aglutinação dos ingredientes, somado ao elevado teor de gordura produzido pela inclusão da farinha de peixe e óleo vegetal na fórmula. Acredita-se, que melhores resultados podem-se obter, utilizando um extrusor com parafuso duplo em sua configuração, considerados mais versáteis por seu melhor desempenho, podendo trabalhar com altos teores de fibra e gordura.

### 4.1 Composição centesimal

A Tabela 4 mostra os resultados de composição centesimal dos ingredientes utilizados nas formulações das dietas antes do processo de extrusão.

**Tabela 4.** Composição centesimal dos ingredientes utilizados na formulação das dietas experimentais

Ingredientes	Componentes (g/100 g)							EB Kcal/kg
	MS	PB	EE	FDN	MM	CNF <sup>a</sup>	UM.	
Farelo de soja	89,83	46,25	1,58	13,79	6,38	32,00	10,17	4553
Farinha/carne e ossos	92,98	48,44	16,79	-	25,11	9,66	7,02	4285
Farinha de Trigo	87	14,09	1,95	3,04	0,54	80,38	13,00	4339
Premix de minerais	100	-	-	-	-	-	100	-
Vitamina C	100	-	-	-	-	-	100	-

MS: matéria seca; PB: proteína bruta; EE: extrato etéreo; FDN: fibra em detergente neutro; MM: matéria mineral; CNF: carboidratos não fibrosos; UM.: umidade; EB: energia bruta; <sup>a</sup>% CNF: 100 – (% PB + % FDN + % EE + % MM).

A Tabela 5 descreve os resultados de composição centesimal das dietas experimentais, calculadas a partir dos resultados obtidos de cada ingrediente apresentados na Tabela 4, e das proporções percentuais de cada componente das dietas (Tabela 2), visando obter um teor de proteína bruta de 35% aproximadamente. Cabe mencionar que estes resultados são antes do processo de extrusão. Na mesma Tabela, também são apresentados os resultados das rações comerciais, que serviram como referência para determinar a ração controle.

Os resultados de proteína bruta (PB) das dietas experimentais A e B, foram calculadas através de um balanço dos ingredientes, a partir de suas características químicas, conseguindo os teores desejados de 35% aproximadamente. A partir desses resultados, foi realizada a comparação com as rações comerciais, sendo a mais próxima a “ Ração-comercial 7”, pois, além de possuir um teor de PB cerca das dietas experimentais, os pellets possuem 3mm de tamanho, e está destinada para peixes em fase juvenil.

**Tabela 5.** Composição centesimal das dietas experimentais e comerciais

Rações	Componentes (g/100 g)							EB
	MS	PB	EE	FDN	MM	CNF <sup>a</sup>	UM.	kcal/kg
Dieta A	90,29	35,65	7,76	4,47	11,82	38,79	9,71	4305
Dieta B	90,77	35,99	10,04	2,40	14,62	35,44	9,23	4265
Ração-comercial 1	92,82	29,15	4,56	-	9,29	-	7,18	-
Ração-comercial 2	93,13	29,10	5,79	-	10,27	-	6,87	-
Ração-comercial 3	93,67	28,58	4,65	-	8,30	-	6,30	-
Ração-comercial 4	92,34	29,04	4,29	-	12,86	-	7,66	-
Ração-comercial 5	92,03	26,11	3,48	-	7,21	-	7,97	-
Ração-comercial 6	91,06	25,36	5,35	-	14,67	-	8,94	-
Ração-comercial 7	92,50	30,19	6,36	12,82	8,57	34,56	7,50	-

MS: matéria seca; PB: proteína bruta; EE: extrato etéreo; FDN: fibra em detergente neutro; MM: matéria mineral; CNF: carboidratos não fibrosos; UM.: umidade; EB: energia bruta; <sup>a</sup>% CNF: 100 – (% PB + % FDN + % EE + % MM).

As análises de composição centesimal após o processo de extrusão, foram apenas realizadas para as dietas processadas com 20 e 25% de umidade, isto porque física e tecnologicamente apresentavam melhores resultados, quanto a formatação do pellet. Os resultados de composição centesimal das dietas experimentais depois do processo de extrusão, estão apresentados na Tabela 6, e tem como destaque o teor de proteína bruta diferenciado das dietas experimentais A e B, com aproximadamente 38% em média, quando comparado com o teor da ração controle (Ração-comercial 7), com 30,19%.

**Tabela 6.** Composição centesimal das dietas experimentais após o processo de extrusão

Rações	Componentes (g/100 g)							EB
	MS	PB	EE	FDN	MM	CNF <sup>a</sup>	UM.	kcal/kg
Dieta A20	96,76	38,12	9,20	3,50	2,52	46,66	3,24	4250,0
Dieta A25	95,44	38,00	8,78	2,50	2,32	48,40	4,56	4270,0
Dieta B20	95,90	38,31	11,30	2,78	3,57	44,04	4,10	4340,0
Dieta B25	95,90	38,12	11,30	3,11	3,01	44,47	4,10	4350,0
Ração comercial 7	92,50	30,19	6,36	12,82	8,57	34,56	7,50	2746,3

MS: matéria seca; PB: proteína bruta; EE: extrato etéreo; FDN: fibra em detergente neutro; MM: matéria mineral; CNF: carboidratos não fibrosos; UM.: umidade; EB: energia bruta; <sup>a</sup>% CNF: 100 – (% PB + % FDN + % EE + % MM).

Os valores de proteína bruta descritos na Tabela 6, aparecem mais altos após o processo de extrusão, devido a que terminada a secagem dos pellets, estes ficam com baixa umidade, entorno de 3,5% a 4,5%. Em geral as matérias-primas que são processadas via extrusão possuem maior teor de umidade. Se for farinha, ou fubá estas possuem cerca de 10-12% de umidade.

Na elaboração de rações para a maioria das espécies da aquicultura o principal ingrediente é a farinha de peixe, rica em proteína, com excelente perfil de aminoácidos, minerais, vitaminas, ácidos graxos essenciais e elementos traços, fazem deste produto um dos mais empregados nas formulações das dietas para animais aquáticos, isto somado a sua alta demanda na indústria de rações (NAYLOR et al., 2000). A farinha de carne e ossos (FCO) é um subproduto de abatedouro que apresenta elevado teor proteico e é considerada um ingrediente de baixa qualidade quando comparada à farinha de peixe (PEZZATO et al., 2002).

A literatura mostra grande variabilidade no conteúdo proteico e na composição de aminoácidos desse alimento. De acordo com Pozza et al. (2004), a FCO apresenta valores de proteína bruta entre 33,53 e 52,43% e extrato etéreo entre 14,71 e 12,88%. No entanto, valores de 37,51 a 41,58% de proteína bruta para FCO e de 9,25 a 12,25% de extrato etéreo foram observados por Faria Filho et al. (2002).

Devido a seu alto teor de proteína, e adequado valor biológico, o farelo de soja é a opção mais utilizada na substituição das fontes de proteína de origem animal na elaboração de rações. (FRANCIS et al., 2001). Resultados obtidos por Goncalves et al. (2018) demonstraram que dentre os ingredientes proteicos, o farelo de soja se destaca com o maior coeficiente de digestibilidade aparente (CDA) para a proteína e aminoácidos, quando comparado com outras fontes proteicas. Estes resultados são os seguintes, para a proteína e a média do CDA dos aminoácidos foram: farelo de soja 94,13 e 91,93%, farelo de trigo 93,54 e 84,41%, farinha de peixe 82,59 e 86,36%, glúten de milho 89,82 e 87,98%, respectivamente Goncalves et al. (2018).

Outro estudo realizado por Pinto et al. (2018) para avaliar a digestibilidade aparente dos nutrientes de ingredientes proteicos como a farinha de peixe, farinha de vísceras de aves, farinha de carne e ossos, glúten de milho, farelo de soja, farelo de algodão, em tilápia do Nilo em diferentes fases de crescimento (25, 250 e 500 g), concluíram que, os peixes de 250 g e 500 g mostraram melhor aproveitamento dos nutrientes das fontes proteicas de origem vegetal.

Dadas essas considerações, no que respeita na elaboração das rações, o uso de ingredientes proteicos e energéticos, deverão estar em concordância com a disponibilidade visando custo/benefício. Dessa forma, as substituições de farinha de peixe por fontes mais econômicas, como farelo de soja ou a combinação com farinha de ossos e carne, de maneira que o balanço final seja favorável para uma boa nutrição e qualidade esperada na despesca. Por exemplo, estudos realizados por Veiverberg et al. (2018), sobre a inclusão de farelo de soja em substituição à farinha de carne e ossos na dieta em juvenis de carpa capim (*Ctenopharyngodon idella*, Valenciennes 1847), concluíram que níveis de até 60% de substituição da farinha de carne e ossos pelo farelo de soja, proporcionou maior taxa de crescimento, e níveis de 33%, resultou em maior deposição de proteína na carcaça. Nesse sentido, precisa se encontrar, de acordo com a região e disponibilidades, o equacionamento ideal nas formulações, com precisas substituições para a tilápia nos seus diferentes estágios.

Em outras espécies, experimentos conduzidos por Fabregat et al. (2018), demonstraram que é possível a substituição da farinha de peixe, em até 75%, utilizando 32% de inclusão de farelo de soja em dietas para juvenis curimba (*Prochilodus lineatus*, Valenciennes 1847), sem prejudicar o crescimento dos animais. De acordo com Fasakin et al. (2005), a combinação de fontes de origem animal e vegetal é destacada como forma de reduzir o efeito negativo do desbalanço de aminoácidos, problemas de digestibilidade e fatores antinutricionais resultantes do uso de apenas uma fonte de origem vegetal.

O alto custo da farinha de peixe no Brasil, na formulação de dietas para peixes carnívoros, forçou a sua substituição e pode ser feita até o nível de 40% por farelo de soja (CHOU et al., 2004). Da mesma forma com o glúten de milho, em até 52,5% (Luo et al., 2013), e por farinha de vísceras de aves em 60% (Saadiah et al., 2011) sem comprometer o desempenho produtivo do animal.

Outra pesquisa realizada por Lazzari et al. (2006) para verificar o crescimento e a composição de filés de juvenis de jundiá (*Rhamdia quelen*) alimentados com diferentes fontes proteicas (farinha de carne e ossos + levedura), (farelo de soja + levedura), (somente farelo de soja), (farinha de carne e ossos + farelo de soja), (farinha de peixe + levedura) e (farinha de peixe + farelo de soja) demonstraram que parâmetros de avaliação como: peso, comprimento total e taxa de crescimento específico foram superiores nos tratamentos compostos pela combinação das farinhas de origem animal (carne e ossos e peixe) com farelo de soja, não

existindo diferença significativa entre os valores de rendimento de carcaça e filé entre os tratamentos, concluindo que a combinação das farinhas de carne e ossos ou de peixe com farelo de soja, oferece bom desenvolvimento e máxima deposição de proteína e gordura no filé de juvenis de jundiá.

No trabalho realizado por Signor et al. (2010), foi avaliado a inclusão de farinha de carne e ossos (FCO) na alimentação de larvas de tilápia do Nilo. As dietas foram formuladas de forma isoprotéicas (38,6%) e isoenergéticas (3500kcal de ED kg<sup>-1</sup>), com diferentes níveis de inclusão (0; 5; 10 e 15%) de FCO. Ao final do experimento, foram avaliadas as médias de peso final (PF), o comprimento final (CF), o comprimento padrão (CP) e a sobrevivência (SO). Concluindo que o nível de inclusão de até 15% de FCO na dieta não influenciou o peso final das larvas. Entretanto, o maior CP foi observado nas larvas alimentadas com o maior nível de inclusão de FCO na dieta. Portanto, pode ser utilizado o total de até 15% de inclusão de FCO em rações para larvas de tilápia do Nilo.

Estudos realizados por Liang et al. (2019) para estudar os efeitos de diferentes fontes proteicas no desempenho de crescimento e na regulação do consumo de ração de carpas capim pré-adulta, utilizando duas dietas isonitrogenadas e isoenergéticas, uma dieta basal contendo 35,6% de farinha de peixe super prime foi utilizada como controle, enquanto 100% da farinha de peixe foi substituída por uma mistura proteica vegetal (farelo de soja e concentrado proteico de soja), determinaram que os resultados mostraram que o peso corporal final, a taxa de ganho de peso e a taxa de crescimento específico dos peixes alimentados com misturas de proteína vegetal, foram significativamente maiores do que no grupo alimentado com farinha de peixe, porém a taxa de conversão alimentar foi significativamente menor.

Devido à crescente demanda por alimentos aquáticos, encontrar uma fonte protéica alternativa tornou-se um requisito necessário para a aquicultura sustentável. Fontes de proteínas vegetais como a soja, entre outros, representam diminuição nos custos de produção sem prejudicar aspectos nutritivos para a substituição da farinha de peixe em rações para peixes, com relativo valor biológico e digestibilidade alta Huang et al. (2018).

Através das pesquisas realizadas por diferentes autores, podemos observar que é possível a substituição com fontes de proteína alternativas à farinha de peixe, em diferentes níveis de inclusão, demonstrando resultados positivos nos parâmetros avaliados de desempenho dos animais. O conhecimento da composição química, e o correto balanço dos ingredientes, em função da espécie, estágio de crescimento, são fundamentais para o desenvolvimento de rações com valor nutricional, e características tecnológicas diferenciadas.

## **4.2 Composição em minerais**

Na Tabela 7 são apresentados os resultados da composição em minerais das dietas experimentais e da ração comercial. Pode-se observar que o conteúdo cálcio e fósforo estão em destaque quanto aos demais componentes. Estes resultados indicam, por um lado, que os valores de Cálcio e Fósforo das dietas A e B, foram notavelmente maiores que a dieta comercial. Isto poderá promover melhores condições de proporcionalidade C/P, que favorece ao desenvolvimento de várias espécies.

**Tabela 7.** Composição em minerais das dietas experimentais e da ração controle com 20 e 25% de umidade de processamento

Elemento	Dieta A20 (mg/100g)	Dieta A25 (mg/100g)	Dieta B20 (mg/100g)	Dieta B25 (mg/100g)	Comercial (mg/100g)
Sódio (Na)	270,68 ± 36,65 <sup>bc</sup>	258,63 ± 31,19 <sup>c</sup>	351,35 ± 46,94 <sup>a</sup>	342,99 ± 44,44 <sup>a</sup>	285,87 ± 2,40 <sup>b</sup>
Potássio (K)	808,92 ± 32,31 <sup>a</sup>	834,94 ± 77,62 <sup>a</sup>	560,32 ± 53,90 <sup>c</sup>	553,46 ± 40,29 <sup>c</sup>	696,65 ± 62,64 <sup>b</sup>
Magnésio (Mg)	166,84 ± 21,35 <sup>b</sup>	162,71 ± 26,46 <sup>b</sup>	145,39 ± 22,10 <sup>c</sup>	145,01 ± 28,81 <sup>c</sup>	232,62 ± 35,17 <sup>a</sup>
Cálcio (Ca)	4074,08 ± 615,50 <sup>c</sup>	3733,84 ± 374,24 <sup>d</sup>	5040,56 ± 788,59 <sup>b</sup>	5193,81 ± 318,45 <sup>a</sup>	2204,82 ± 248,27 <sup>e</sup>
Manganês (Mn)	6,21 ± 0,54 <sup>c</sup>	6,53 ± 0,90 <sup>b</sup>	6,51 ± 0,87 <sup>b</sup>	6,02 ± 0,64 <sup>d</sup>	22,51 ± 0,68 <sup>a</sup>
Ferro (Fe)	48,87 ± 9,62 <sup>d</sup>	48,35 ± 8,41 <sup>d</sup>	54,23 ± 8,37 <sup>b</sup>	52,19 ± 6,07 <sup>c</sup>	57,35 ± 7,78 <sup>a</sup>
Zinco (Zn)	25,04 ± 3,16 <sup>a</sup>	24,89 ± 2,11 <sup>a</sup>	25,23 ± 3,34 <sup>a</sup>	24,86 ± 1,45 <sup>a</sup>	15,10 ± 1,85 <sup>b</sup>
Cobre (Cu)	2,95 ± 0,28 <sup>a</sup>	2,92 ± 0,29 <sup>a</sup>	2,72 ± 0,12 <sup>c</sup>	2,83 ± 0,38 <sup>b</sup>	1,60 ± 0,12 <sup>d</sup>
Fósforo (P)	2038,16 ± 260,51 <sup>b</sup>	1917,02 ± 193,39 <sup>c</sup>	2438,58 ± 256,29 <sup>a</sup>	2484,59 ± 311,70 <sup>a</sup>	1396,72 ± 178,07 <sup>d</sup>
Alumínio (Al)	NQ	NQ	NQ	NQ	7,429
Cromo (Cr)	ND	ND	ND	ND	ND
Selênio (Se)	NQ	NQ	NQ	NQ	NQ

Letras diferentes na mesma fila representam diferença significativa pelo teste de Fisher LSD ( $p < 0,05$ ). Média ± DP, n= 3 observações. ND: não determinado; NQ: não quantificado.

A estimativa precisa do teor de fósforo digestível nas rações para peixes é essencial para a formulação de dietas que atendam às necessidades nutricionais dos peixes, ao mesmo tempo minimizem a produção de resíduos nas operações de criação. O fósforo é um componente de diferentes compostos químicos em alimentos. Diferenças nas características químicas desses compostos podem resultar em diferentes dinâmicas de digestão (HUA ; BUREAU, 2006). De acordo com Pezzato et al. (2006), a exigência de fósforo para peixes encontra-se entre 2,5 e 10 g kg<sup>-1</sup> na dieta, a exigência pode ser variável de acordo com o estágio de vida, e a origem da fonte.

De acordo com as informações científicas disponíveis, as rações comercializadas no Brasil atendem parcialmente às reais exigências nutricionais das diferentes espécies cultivadas. Entre os nutrientes essenciais, os minerais se encontram super ou subdisponíveis nessas rações e, entre os minerais, apenas o fósforo tem merecido destaque nos estudos de nutrição de peixes. Entretanto, minerais como o cálcio, cobre, ferro, zinco, manganês e o magnésio, entre outros, também são vitais ao equilíbrio orgânico (GONÇALVES et al., 2005).

Os minerais são responsáveis pela formação do esqueleto, manutenção do sistema coloidal, regulação do equilíbrio ácido-base e são constituintes necessários para a produção de hormônios e enzimas. Com exceção do cálcio e do fósforo, os demais minerais, por serem exigidos em baixas quantidades, são considerados traços na nutrição de peixes (WATANABE et al., 1997). Não somente a deficiência, mas também o excesso de minerais na alimentação, pode causar efeitos deletérios ao desempenho e, quando em excesso, os minerais podem ser letais à espécie, causando várias patologias bioquímicas, estruturais e funcionais aos peixes (GONÇALVES et al., 2005).

Estudos realizados por Miranda et al., 2000, relatam que os melhores resultados de desempenho para alevinos de tilápia do Nilo foram obtidos com rações cujas relações Ca/P apresentavam-se entre 1,0: 1,0 e 1,0: 1,5.

Experimentos realizados por De Moraes et al. (2009) onde avaliaram o desempenho zootécnico de tilápia do Nilo, linhagem chitralada, cultivada em tanques-rede, foi determinado em diferentes rações comerciais para diferentes estágios de crescimento, e comparados com os níveis de garantia fornecidos pelos fabricantes. Os resultados mostraram que quando houve alto teor de fibra e baixo valor de proteico e menor quantidade de minerais, o desempenho foi prejudicado. Segundo os autores, a fibra altera a taxa de utilização dos nutrientes por modificar o tempo de esvaziamento gástrico e interferir na absorção de nutrientes.

O fósforo é o segundo mineral mais abundante no corpo animal, totaliza entre 0,5% para animais jovens e 1,1% para animais adultos. Entre 80 e 85% desse elemento está presente nos ossos e tecidos duros, o restante faz parte dos tecidos moles e fluidos extracelulares. As exigências nutricionais de fósforo variam com a espécie, o tamanho do peixe, a disponibilidade nos ingredientes e com a densidade nutricional do alimento. As exigências dietéticas de fósforo por exemplo para tilápias são altas nos estágios iniciais de vida e posteriormente são influenciadas pelo tamanho corporal e o tempo total da pesquisa.

O coeficiente de digestibilidade aparente mede a proporção de nutrientes que o peixe pode obter de um ingrediente e permite formular dietas a mínimo custo e de baixo impacto ambiental. A capacidade de absorção de fósforo pela tilápia do Nilo varia com o tamanho corporal e da molécula química de fósforo predominante na fonte. As fontes minerais e de origem animal são mais bem aproveitadas pelos animais novos e o fósforo de fontes procedentes de plantas é mais bem aproveitado pelos animais adultos. A inclusão recomendada na dieta para evitar deficiências e promover o normal crescimento corporal varia entre 0,30 a 1,10% para fósforo total e 0,29 e 0,75% de fósforo disponível, para a maioria dos peixes (QUINTERO-PINTO et al., 2011).

As exigências de fósforo digestível em rações para juvenis de tambaqui foram avaliadas por Sousa et al. (2018). Os autores prepararam seis rações isoproteicas, isoenergéticas e isocálcicas, com diferentes níveis de fósforo digestível (0,27; 0,46; 0,67; 0,91; 1,04; e 1,14%). Foram avaliados parâmetros de desempenho e eficiência alimentar, taxas de deposição diária de proteína, gordura, cinzas e fósforo corporais. Os resultados demonstraram que níveis de fósforo digestível em rações para juvenis de tambaqui é de 0,55%, por otimizar o ganho de peso, que corresponde ao nível estimado de 0,87% de fósforo total.

Outros estudos para determinar o requerimento de fósforo disponível em alevinos de peixe-rei (*Odontesthes bonariensis*, Cuvier e Valenciennes 1835) foram feitos por Rocha et al. (2014). Os experimentos constituíram-se de quatro dietas contendo níveis de fósforo disponíveis de 0,90, 2,7, 5,7 e 8,3 g/kg. Foram avaliados os parâmetros desempenho produtivo, composição química corporal e composição mineral dos ossos e das escamas. O melhor desempenho produtivo foi obtido com a dieta contendo 4,3 g/kg de fósforo disponível, entretanto, para uma maior mineralização óssea, esta exigência aumenta para 6,3 g/kg.

Ensaio conduzido por Braga et al. (2016), determinaram a exigência de níveis totais de fósforo entre 7,13 e 11,4 g kg<sup>-1</sup> nas dietas para alevinos de peixes dourados (*Carassius auratus*, Linnaeus 1758), a fim de conseguir o crescimento máximo, e mineralização adequada do corpo inteiro.

De acordo com Cian et al. (2018), o processo de extrusão pode ser otimizado para a obtenção de ração para peixes utilizando fontes de proteína de origem vegetal com alta atividade de fitase residual e baixa lixiviação mineral, o que reduz a eutrofização do meio aquático, aumentando a retenção mineral de fósforo.

Embora os resultados da relação cálcio e fósforo das dietas obtidos neste estudo, (A20: 2:1 ; A25: 1,9:1 ; B20: 2,08:1 ; B25: 2,12:1) são considerados elevados para tilápia do Nilo, ajustes na formulação sobre a proporcionalidade dos ingredientes, poderiam ser realizados sobre tudo na inclusão da farinha de carne e ossos, a fim de reduzir a disponibilidade elevada de fósforo e cálcio na ração, não entanto, existem outras espécies como o peixe-rei em fase de alevinos com níveis de exigência mais elevados do que a tilápia do Nilo.

### **4.3 Perfil de aminoácidos**

Na Tabela 8 apresentam-se os resultados do perfil de aminoácidos das rações comerciais e experimentais. Pelos resultados no perfil de aminoácidos, a maioria dos aminoácidos essenciais há maior quantidade se comparado à ração comercial, isto pode ser favorável a melhores resultados na criação, considerando que os outros fatores estejam em condições favoráveis.

**Tabela 8.** Perfil de aminoácidos das rações e experimentais processadas com 20 e 25% de umidade

Aminoácido (g/100g)	RC-1	RC-2	RC-3	RC-4	RC-5	RC-6	RC-7	Dieta A20	Dieta A25	Dieta B20	Dieta B25
<b>Essencial</b>											
Arg	1,43±0,05 <sup>f</sup>	3,03±0,11 <sup>cd</sup>	2,75±0,14 <sup>d</sup>	2,90±0,16 <sup>d</sup>	2,92±0,15 <sup>d</sup>	1,72±0,06 <sup>ef</sup>	3,29±0,17 <sup>bc</sup>	2,06±0,10 <sup>e</sup>	3,55±0,19 <sup>ab</sup>	3,84±0,04 <sup>a</sup>	2,93±0,05 <sup>cd</sup>
His	0,70±0,03 <sup>fg</sup>	0,87±0,05 <sup>de</sup>	0,90±0,08 <sup>cde</sup>	1,14±0,05 <sup>ab</sup>	1,18±0,06 <sup>a</sup>	0,45±0,02 <sup>h</sup>	0,81±0,01 <sup>ef</sup>	0,59±0,03 <sup>g</sup>	0,98±0,05 <sup>cd</sup>	1,01±0,02 <sup>bc</sup>	0,77±0,01 <sup>ef</sup>
Ile	0,77±0,06 <sup>d</sup>	1,41±0,06 <sup>ab</sup>	1,42±0,04 <sup>ab</sup>	1,17±0,11 <sup>bc</sup>	1,34±0,14 <sup>ab</sup>	0,97±0,02 <sup>cd</sup>	1,52±0,13 <sup>a</sup>	1,02±0,07 <sup>cd</sup>	1,48±0,09 <sup>a</sup>	1,47±0,01 <sup>a</sup>	1,07±0,07 <sup>c</sup>
Leu	2,13±0,16 <sup>d</sup>	3,20±0,15 <sup>ab</sup>	2,74±0,11 <sup>bc</sup>	3,19±0,23 <sup>ab</sup>	3,46±0,34 <sup>a</sup>	1,93±0,04 <sup>d</sup>	2,92±0,26 <sup>ab</sup>	2,17±0,14 <sup>cd</sup>	2,99±0,18 <sup>ab</sup>	3,09±0,06 <sup>ab</sup>	2,31±0,16 <sup>cd</sup>
Lis	1,09±0,06 <sup>e</sup>	1,53±0,08 <sup>cd</sup>	1,57±0,04 <sup>cd</sup>	1,63±0,03 <sup>c</sup>	1,39±0,05 <sup>d</sup>	0,66±0,04 <sup>f</sup>	1,50±0,03 <sup>cd</sup>	1,14±0,06 <sup>e</sup>	2,20±0,12 <sup>b</sup>	2,32±0,05 <sup>b</sup>	2,63±0,12 <sup>a</sup>
Met	1,20±0,01 <sup>ab</sup>	0,94±0,01 <sup>e</sup>	0,94±0,01 <sup>e</sup>	0,96±0,02 <sup>e</sup>	1,09±0,06 <sup>d</sup>	0,90±0,02 <sup>e</sup>	0,95±0,03 <sup>e</sup>	1,13±0,04 <sup>bcd</sup>	1,11±0,00 <sup>cd</sup>	1,19±0,04 <sup>abc</sup>	1,26±0,03 <sup>a</sup>
Fen	1,41±0,08 <sup>cd</sup>	1,78±0,07 <sup>a</sup>	1,68±0,05 <sup>abc</sup>	1,87±0,13 <sup>a</sup>	1,90±0,18 <sup>a</sup>	1,21±0,02 <sup>d</sup>	1,74±0,16 <sup>ab</sup>	1,63±0,03 <sup>abc</sup>	1,82±0,10 <sup>a</sup>	1,84±0,04 <sup>a</sup>	1,46±0,02 <sup>bcd</sup>
Tre	0,88±0,05 <sup>c</sup>	1,80±0,10 <sup>a</sup>	1,72±0,08 <sup>a</sup>	1,78±0,09 <sup>a</sup>	1,89±0,08 <sup>a</sup>	0,96±0,00 <sup>c</sup>	1,75±0,07 <sup>a</sup>	0,99±0,05 <sup>c</sup>	1,72±0,09 <sup>a</sup>	1,79±0,02 <sup>a</sup>	1,40±0,02 <sup>b</sup>
Trp	0,21±0,00 <sup>b</sup>	0,13±0,01 <sup>e</sup>	0,19±0,01 <sup>bcd</sup>	0,17±0,02 <sup>cd</sup>	0,18±0,01 <sup>bcd</sup>	0,16±0,01 <sup>d</sup>	0,20±0,01 <sup>bc</sup>	0,18±0,02 <sup>bcd</sup>	0,18±0,00 <sup>bcd</sup>	0,26±0,01 <sup>a</sup>	0,16±0,00 <sup>d</sup>
Val	1,37±0,05 <sup>d</sup>	2,23±0,10 <sup>a</sup>	1,78±0,04 <sup>c</sup>	2,04±0,05 <sup>abc</sup>	2,29±0,10 <sup>a</sup>	1,35±0,01 <sup>d</sup>	2,08±0,13 <sup>ab</sup>	1,35±0,08 <sup>d</sup>	1,90±0,12 <sup>bc</sup>	2,06±0,05 <sup>ab</sup>	1,51±0,11 <sup>d</sup>
<b>Não-essencial</b>											
Asp	1,77±0,09 <sup>f</sup>	2,79±0,11 <sup>c</sup>	2,87±0,14 <sup>c</sup>	3,33±0,16 <sup>ab</sup>	2,87±0,12 <sup>c</sup>	1,94±0,09 <sup>ef</sup>	3,04±0,15 <sup>bc</sup>	2,18±0,10 <sup>de</sup>	3,55±0,17 <sup>a</sup>	3,39±0,07 <sup>ab</sup>	2,40±0,12 <sup>d</sup>
Glu	3,37±0,16 <sup>e</sup>	6,53±0,30 <sup>bc</sup>	6,33±0,32 <sup>c</sup>	6,85±0,30 <sup>bc</sup>	6,27±0,30 <sup>c</sup>	4,23±0,11 <sup>d</sup>	7,27±0,33 <sup>b</sup>	4,86±0,22 <sup>d</sup>	8,90±0,40 <sup>a</sup>	8,72±0,14 <sup>a</sup>	6,37±0,31 <sup>c</sup>
Ala	1,32±0,09 <sup>ef</sup>	2,12±0,14 <sup>bc</sup>	1,64±0,09 <sup>d</sup>	2,18±0,10 <sup>bc</sup>	2,22±0,08 <sup>bc</sup>	1,23±0,04 <sup>f</sup>	2,01±0,06 <sup>bc</sup>	1,59±0,08 <sup>de</sup>	2,26±0,05 <sup>b</sup>	2,60±0,09 <sup>a</sup>	1,98±0,14 <sup>c</sup>
Cis	0,27±0,01 <sup>c</sup>	0,33±0,00 <sup>ab</sup>	0,30±0,02 <sup>bc</sup>	0,30±0,02 <sup>bc</sup>	0,20±0,01 <sup>d</sup>	0,32±0,02 <sup>b</sup>	0,36±0,00 <sup>a</sup>	0,19±0,00 <sup>de</sup>	0,19±0,01 <sup>de</sup>	0,16±0,01 <sup>e</sup>	0,17±0,00 <sup>de</sup>
Gli	1,90±0,09 <sup>f</sup>	3,60±0,18 <sup>c</sup>	2,67±0,13 <sup>e</sup>	3,23±0,16 <sup>cd</sup>	3,03±0,15 <sup>de</sup>	2,10±0,04 <sup>f</sup>	3,51±0,15 <sup>c</sup>	3,53±0,15 <sup>c</sup>	4,42±0,05 <sup>b</sup>	5,59±0,15 <sup>a</sup>	4,69±0,09 <sup>b</sup>
Ser	1,25±0,06 <sup>f</sup>	3,23±0,16 <sup>a</sup>	2,42±0,07 <sup>c</sup>	2,22±0,11 <sup>cd</sup>	2,79±0,12 <sup>b</sup>	1,95±0,04 <sup>de</sup>	2,99±0,13 <sup>ab</sup>	1,39±0,06 <sup>f</sup>	2,36±0,12 <sup>c</sup>	2,40±0,06 <sup>c</sup>	1,87±0,07 <sup>e</sup>
Pro	1,78±0,08 <sup>e</sup>	3,55±0,19 <sup>b</sup>	2,66±0,10 <sup>d</sup>	2,93±0,09 <sup>cd</sup>	3,24±0,25 <sup>bc</sup>	2,03±0,07 <sup>e</sup>	3,44±0,18 <sup>b</sup>	2,61±0,14 <sup>d</sup>	3,50±0,04 <sup>b</sup>	4,14±0,17 <sup>a</sup>	3,23±0,14 <sup>bc</sup>
Tir	0,94±0,03 <sup>fg</sup>	1,19±0,05 <sup>de</sup>	1,24±0,06 <sup>bcd</sup>	1,27±0,06 <sup>abcd</sup>	1,38±0,04 <sup>ab</sup>	0,86±0,04 <sup>g</sup>	1,37±0,04 <sup>ab</sup>	1,22±0,07 <sup>cd</sup>	1,40±0,03 <sup>a</sup>	1,35±0,02 <sup>abc</sup>	1,07±0,02 <sup>ef</sup>

RC: ração comercial; Arg: arginina; His: histidina; Ile: isoleucina; Leu: leucina; Lis: lisina; Met: metionina; Fen: Fenilalanina; Tre: treonina; Trp: triptofano; Val: valina; Asp: aspartato; Glu: glutamato; Ala: alanina; Cis: cisteína; Gli: glicina; Ser: serina; Pro: prolina; Tir: tirosina.

Média ± DP, n= 3 repetições. Letras diferentes na mesma fila representam diferença significativa pelo teste de Fisher LSD (p<0,05).



Segundo Pezzato (2004) os peixes exigem uma dieta equilibrada em aminoácidos indispensáveis, que devem estar presentes em adequadas proporções nas dietas, obtidos pela combinação de ingredientes ou suplementados na forma sintética (STOREBAKKEN et al., 2000). Dessa forma, o perfil aminoacídico presente em cada fonte proteica pode variar — aspecto decisivo quando da sua inclusão em dietas para peixes (BOSCOLO et al., 2011). Grande parte dos ensaios experimentais conduzidos para determinar as exigências em aminoácidos para peixes utiliza o conceito de proteína ideal. Trata-se de um conceito no qual se estabelece que os animais necessitem de aminoácidos em quantidades balanceadas, expressos em relação a um aminoácido referência (lisina) (SAKOMURA ; ROSTAGNO, 2007).

Segundo Gatlin III et al. (2007), o aminoácido mais limitante na maioria de ingredientes vegetais utilizados para formular dietas para peixes é a lisina. A eficiência de utilização da lisina para tilápia do Nilo não é constante ao longo das fases da vida, mas diminui com o aumento do peso corporal (HUA et al., 2019).

De acordo com a literatura, as exigências de lisina para tilápia do Nilo são diversas, segundo a fase da vida do animal, com recomendações de 1,40 a 1,80% de lisina total (BOMFIM et al., 2006). Isto pode estar relacionado às condições ambientais e manejos culturais nas distintas regiões, interações com as próprias formulações nas quais podem ter maior ou menor de um determinado nutriente, entre outros fatores.

Estudos conduzidos por Michelato et al. (2016) para determinar a exigência de lisina na dieta de tilápia do Nilo em fase adulta, onde foi avaliado o desempenho de crescimento e desenvolvimento muscular, determinaram que a exigência de lisina na dieta da tilápia do Nilo em fase adulta é de 14,6 g kg<sup>-1</sup>. Os resultados para lisina descritos na Tabela 8, com exceção da dieta A20 demonstram superioridade, quando comparado com a ração comercial, sendo a dieta B25 com maior percentagem (26,3 g kg<sup>-1</sup>).

Outro experimento conduzido por Ebeneazar et al. (2019) para quantificar a exigência de lisina na dieta do pampo juvenil de prata, (*Trachinotus blochii*, Lacepede, 1801) onde utilizaram dietas isonitrogenadas, isolipídicas e isoenergéticas. (42% PB, 6% CL e 4,28 kcal g<sup>-1</sup>GE) com níveis graduados de lisina (1,52, 1,85, 2,21, 2,49, 2,74 e 2,98 g/100 g, dieta seca), determinaram que a exigência de lisina para esta espécie foi estimada na faixa de 2,40 - 2,45% da dieta seca. Os resultados gerados pelos autores sobre a exigência quantitativa de lisina na dieta de juvenis de pampo de prata, seriam úteis no desenvolvimento de dietas práticas de baixo custo equilibradas com lisina para a cultura de crescimento desta espécie.

Outro dos aminoácidos essenciais, é o triptofano, ele é considerado muito importante porque estimula o hormônio de crescimento (ROSSI ; TIRAPEGUI, 2004). Além da síntese de proteínas, as principais funções incluem a regulação do consumo de ração e o controle da resposta imune (WEN et al., 2014). Segundo descrito por Pianesso et al. (2015), não existe informações sobre as exigências nutricionais em dietas para jundiá. Estudos conduzidos por Pianesso et al. (2015), para determinar os requerimentos de triptofano em alevinos de jundiá, onde avaliaram o desempenho de crescimento, utilizaram dietas contendo 1,0, 1,8, 2,6, 3,4, 4,2 g/kg de triptofano nas dietas, determinaram que as exigências estimadas de triptofano para ganho de peso máximo e retenção de proteína, variaram de 2,5 a 3,4 g/kg. Dos resultados apresentados na Tabela 8, a dieta B20 encontra-se dentro dos valores exigidos segundo Pianesso et al. (2015) para alevinos de jundiá (2,6 g/kg), podendo ser utilizada na alimentação dessa espécie.

Experimentos realizados por Nguyen et al. (2019) devido à importância da função do triptofano nas formulações das dietas, tiveram como objetivo confirmar e refinar a exigência de triptofano em juvenis de tilápia do Nilo, onde foram avaliados o desempenho de crescimento, eficiência alimentar e retenção de proteína. Os experimentos foram constituídos por doze ensaios, com níveis crescentes de triptofano durante o período do experimento. Os resultados

obtidos demonstraram que a exigência de triptofano em juvenis de tilápia do Nilo foi confirmada em 0,31% (0,25 a 0,37%), 0,33% (0,26 a 0,39%), 0,25% (0,24-0,25%), 0,27% (0,25-0,31%) da dieta para um crescimento ótimo. Outros experimentos conduzidos por Zaminhan et al. (2017), tiveram como objetivo determinar as exigências de triptofano para otimizar o desempenho de crescimento de juvenis de tilápia do Nilo. Os animais foram alimentados com dietas isonitrogenadas (28% de proteína bruta) e isoenergéticas (14,5 MJ/kg de energia digestível) à base de milho e farelo de soja, contendo níveis graduados de triptofano (1,8; 2,3; 2,7; 3,2; e 3,7 g/kg). Os autores concluíram que 2,9 g/kg de triptofano satisfazem as exigências dietéticas para o desempenho de crescimento em juvenis de tilápia do Nilo.

No geral, os resultados obtidos sobre o perfil de aminoácidos neste experimento, encontram-se próximos, e em alguns casos maiores das exigências requeridas por algumas espécies em diferentes estágios de crescimento, o correto manejo dos parâmetros no processo de extrusão é determinante para não degradar os componentes nutricionais dos ingredientes da formulação por excessivo cozimento.

#### **4.4 Propriedades físicas**

Nas Tabelas 9 e 10 apresentam-se os resultados das propriedades físicas das rações experimentais e controle. Foram analisados os seguintes parâmetros tecnológicos de qualidade: densidade aparente ( $\rho$ ), índice, seccional, radial, longitudinal e volumétrico, (IES, IER, IEL, IEV) índice de solubilidade em água (ISA), índice de absorção de água (IAA), viscosidade de pasta (RVA).

Dentro dos parâmetros avaliados após o processo de extrusão, os (IES), (IER), (ISA), (IAA), e a viscosidade máxima de pasta existe um importante grau de correlação. Na Tabela 9 pode-se observar os resultados das dietas experimentais sobre densidade aparente, que apresentam um valor mínimo de 161,19 e um valor máximo de 623,11 kg/m<sup>3</sup>. Para o (IES), podemos observar que os resultados vão desde 0,94 até 1,09. Enquanto ao (IER) os resultados variam desde 0,97 até 1,04.

Os resultados para o (ISA), os resultados obtidos variam desde 0,91 até 1,25, e para o (IAA) o resultado mínimo foi de 19,26 e máximo de 32,30. Os resultados dos parâmetros apresentados para no caso da ração comercial foram maiores em todos os casos ( Densidade aparente de 98,62, índice de expansão radial 1,13, índice de expansão seccional 1,29, índice de solubilidade em água 1,23. Apenas no caso do índice de absorção em água o resultado foi levemente menor, com 31,04.

Os demais parâmetros apresentados na Tabela 9, tais como volume, índice de expansão longitudinal (IEL) e volumétrico (IEV), não apresentaram resultados notavelmente diferentes. Esses parâmetros são resultados da interação das principais variáveis respostas antes mencionadas.

Na Tabela 10 os valores da viscosidade máxima de pasta variam de 115 como mínimo, até 182,5 cP como máximo. O resultado da viscosidade máxima da ração comercial, foi calculada em 36,5 cP. Os demais parâmetros mostrados na Tabela como no caso anterior, são resultados que derivam da medição do grau de cozimento no viscosímetro.

**Tabela 9.** Propriedades físicas das rações comercial e experimentais: Volume (mm<sup>3</sup>); Densidade Aparente (kg/m<sup>3</sup>); índice de expansão radial (IER); índice de expansão seccional (IES); índice de expansão longitudinal (IEL); índice de expansão volumétrico (IEV); índice de solubilidade em água (ISA); índice de absorção de água (IAA)

Ração	Volume (mm <sup>3</sup> )	Densidade Aparente (kg/m <sup>3</sup> )	IER	IES	IEL	IEV	ISA	IAA
Ração Comercial 7	166,30 ± 31,49 <sup>α a</sup>	98,62 ± 18,62 <sup>f</sup>	1,13 ± 0,06 <sup>a</sup>	1,29 ± 0,14 <sup>a</sup>	9,71 ± 0,88 <sup>a</sup>	12,61 ± 2,31 <sup>a</sup>	1,23 ± 0,03 <sup>ab</sup>	31,04 ± 1,72 <sup>ab</sup>
Dieta - A28%	107,35 ± 3,27 <sup>def</sup>	161,19 ± 9,45 <sup>e</sup>	0,98 ± 0,01 <sup>de</sup>	0,97 ± 0,02 <sup>de</sup>	6,96 ± 0,36 <sup>b</sup>	6,72 ± 0,40 <sup>b</sup>	1,07 ± 0,04 <sup>d</sup>	28,75 ± 2,95 <sup>b</sup>
Dieta - A40%	111,65 ± 8,64 <sup>cde</sup>	163,18 ± 16,81 <sup>e</sup>	0,99 ± 0,03 <sup>cd</sup>	0,99 ± 0,05 <sup>cd</sup>	6,86 ± 0,44 <sup>b</sup>	6,81 ± 0,72 <sup>b</sup>	0,93 ± 0,16 <sup>e</sup>	32,30 ± 2,36 <sup>a</sup>
Dieta - B28%	106,22 ± 4,64 <sup>ef</sup>	162,62 ± 13,05 <sup>e</sup>	0,98 ± 0,01 <sup>de</sup>	0,96 ± 0,03 <sup>de</sup>	6,95 ± 0,46 <sup>b</sup>	6,67 ± 0,56 <sup>bc</sup>	1,07 ± 0,03 <sup>d</sup>	25,50 ± 1,31 <sup>c</sup>
Dieta - B40%	103,53 ± 2,65 <sup>f</sup>	179,01 ± 8,14 <sup>e</sup>	0,97 ± 0,01 <sup>e</sup>	0,94 ± 0,02 <sup>e</sup>	6,42 ± 0,24 <sup>c</sup>	6,06 ± 0,28 <sup>c</sup>	0,91 ± 0,02 <sup>e</sup>	24,32 ± 1,67 <sup>cd</sup>
Dieta - A20%	128,39 ± 4,64 <sup>b</sup>	383,76 ± 43,07 <sup>d</sup>	1,04 ± 0,46 <sup>b</sup>	1,09 ± 0,48 <sup>b</sup>	2,97 ± 0,35 <sup>d</sup>	3,23 ± 0,37 <sup>d</sup>	1,25 ± 0,02 <sup>a</sup>	19,69 ± 0,77 <sup>e</sup>
Dieta - A25%	116,61 ± 2,65 <sup>c</sup>	515,02 ± 32,54 <sup>c</sup>	1,01 ± 0,45 <sup>c</sup>	1,02 ± 0,45 <sup>c</sup>	2,19 ± 0,14 <sup>e</sup>	2,24 ± 0,15 <sup>e</sup>	1,16 ± 0,02 <sup>bc</sup>	22,73 ± 1,38 <sup>d</sup>
Dieta - B20%	129,13 ± 4,64 <sup>b</sup>	554,25 ± 44,29 <sup>b</sup>	1,04 ± 0,46 <sup>b</sup>	1,09 ± 0,49 <sup>b</sup>	2,11 ± 0,16 <sup>ef</sup>	2,31 ± 0,18 <sup>e</sup>	1,19 ± 0,01 <sup>abc</sup>	19,26 ± 0,69 <sup>e</sup>
Dieta - B25%	114,11 ± 2,65 <sup>cd</sup>	623,11 ± 41,40 <sup>a</sup>	1,00 ± 0,45 <sup>c</sup>	1,01 ± 0,45 <sup>c</sup>	1,83 ± 0,11 <sup>f</sup>	1,84 ± 0,12 <sup>e</sup>	1,14 ± 0,02 <sup>cd</sup>	23,27 ± 1,97 <sup>cd</sup>

<sup>α</sup> Média ± desvio padrão, n= 15 observações. Letras diferentes na mesma coluna representam uma diferença significativa pelo teste de Fisher LSD ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 10.** Propriedades de pasta das rações experimentais e controle

Dieta	Temperatura Inicial de Pasta (°C)	Viscosidade Máxima em Frio (cP)	Viscosidade Máxima de Pasta (cP)	Viscosidade Mínima de Pasta (cP)	Break Down (cP)	Máxima Viscosidade de Pasta no ciclo de Resfriamento (cP)	Setback (cP)	Viscosidade Final (cP)
Ração Comercial 7	25.15 ± 0 <sup>α</sup> a	45 ± 0 <sup>c</sup>	36.5 ± 0.71 <sup>d</sup>	7.5 ± 0.71 <sup>d</sup>	29 ± 1.41 <sup>d</sup>	29.5 ± 0.71 <sup>b</sup>	22 ± 1.41 <sup>b</sup>	13 ± 2.83 <sup>a</sup>
Dieta - A28	25.12 ± 0.04 <sup>a</sup>	222.50 ± 10.61 <sup>a</sup>	131 ± 38.18 <sup>ab</sup>	61 ± 22.63 <sup>a</sup>	70 ± 15.56 <sup>bc</sup>	96 ± 56.97 <sup>b</sup>	35 ± 33.94 <sup>b</sup>	73.5 ± 62.93 <sup>a</sup>
Dieta - A40	25.15 ± 0 <sup>a</sup>	72 ± 0 <sup>c</sup>	66.5 ± 0.71 <sup>cd</sup>	25.5 ± 9.19 <sup>b</sup>	41 ± 9.90 <sup>cd</sup>	274 ± 4.24 <sup>a</sup>	248.5 ± 4.95 <sup>a</sup>	36 ± 9.90 <sup>a</sup>
Dieta - B28	25.10 ± 0 <sup>a</sup>	184 ± 79.20 <sup>ab</sup>	182.5 ± 37.48 <sup>a</sup>	13.5 ± 10.61 <sup>c</sup>	169 ± 26.87 <sup>a</sup>	43.5 ± 13.44 <sup>b</sup>	30 ± 2.83 <sup>b</sup>	28 ± 0 <sup>a</sup>
Dieta - B40	24.85 ± 0.07 <sup>b</sup>	99 ± 29.70 <sup>bc</sup>	118 ± 0 <sup>bc</sup>	11.5 ± 7.78 <sup>c</sup>	106.5 ± 7.78 <sup>b</sup>	36.5 ± 4.95 <sup>b</sup>	25 ± 2.83 <sup>b</sup>	14.5 ± 9.19 <sup>a</sup>
Dieta - A20	25.11 ± 0 <sup>a</sup>	221.70 ± 10.61 <sup>a</sup>	115 ± 7 <sup>bc</sup>	24.9 ± 9.19 <sup>b</sup>	71 ± 1.6 <sup>bc</sup>	95 ± 70.91 <sup>b</sup>	26 ± 4.83 <sup>b</sup>	27 ± 6 <sup>a</sup>
Dieta - A25	25.16 ± 0 <sup>a</sup>	100 ± 20.70 <sup>bc</sup>	117 ± 5 <sup>bc</sup>	24.5 ± 1.19 <sup>b</sup>	69 ± 10.5 <sup>bc</sup>	96 ± 06.92 <sup>b</sup>	24 ± 9.83 <sup>b</sup>	28 ± 3 <sup>a</sup>
Dieta - B20	25.13 ± 0 <sup>a</sup>	98 ± 90.70 <sup>bc</sup>	116 ± 1 <sup>bc</sup>	26.5 ± 4.10 <sup>b</sup>	71 ± 1.56 <sup>bc</sup>	95 ± 55.87 <sup>b</sup>	23 ± 9.73 <sup>b</sup>	28 ± 6 <sup>a</sup>
Dieta - B25	25.14 ± 0 <sup>a</sup>	105 ± 18 <sup>ab</sup>	119 ± 2 <sup>bc</sup>	25 ± 5.15 <sup>b</sup>	75 ± 1.70 <sup>bc</sup>	96 ± 40.20 <sup>b</sup>	25 ± 8.10 <sup>b</sup>	29 ± 8 <sup>a</sup>

<sup>α</sup> Média ± desvio padrão, n= 2 observações cada amostra. Letras diferentes na mesma coluna representam uma diferença significativa pelo teste de Fisher ( $p < 0,05$ ).

#### 4.4.1 Densidade aparente ( $\rho$ )

A densidade aparente é uma propriedade muito importante porque é a relação do peso de um ingrediente por unidade de volume e está intimamente relacionada à capacidade de flotação do pellet (GLENCROSS et al., 2012). O armazenamento e o transporte dependem do tamanho, forma e expansão durante a extrusão, por isso é um fator importante a ser considerado no custo (KURT et al., 2009). Conseqüentemente, a propriedade de flutuabilidade do pellet, no ambiente aquático, durante a alimentação dos peixes, dependerá desta propriedade física, a qual se relaciona com o tipo de processo, ingredientes que formaram parte para da sua coesividade, compactação e dureza, entre outros fatores.

Os resultados das caracterizações físicas dos pellets das dietas experimentais, mostraram que valores de maior densidade aparente são apresentadas pelas dietas processadas com teores de umidade de 20 e 25%, entre 383,76 e 623,11 respectivamente, e valores mais baixos são apresentados em aqueles que foram processados nos testes preliminares com 28 e 40% de umidade, entre 161,19 e 179,01 respectivamente. A diferença existente nos resultados atribui-se à relação umidade, temperatura e velocidade de rotação do parafuso utilizados nos processos, sendo as amostras com menor teor de umidade processadas com temperaturas de no máximo 100 °C, e rotação de 150 rpm, à diferença das amostras com maior umidade processadas com parâmetros mais elevados (120 °C e 180 rpm). Isto explica que quanto mais severo é o tratamento térmico, as propriedades físicas de densidade aparente, apresentam resultados reduzidos. No entanto, recomenda-se ter um controle nos parâmetros aplicados ao processo, a fim de evitar degradação dos componentes nutricionais por excessivo cozimento.

Por outro lado, a menor densidade aparente foi apresentada pela amostra comercial (98,62), possivelmente, como explicado anteriormente, os parâmetros utilizados pela indústria sejam maiores do que os utilizados neste experimento.

Estudos conduzidos por Umar et al. (2013) para determinar os efeitos da proporção de inclusão de amido de sagu-tapioca, e o nível de umidade da mistura sobre as propriedades físicas dos pellets, utilizando quinze dietas isonitrogenadas contendo diferentes proporções de amido de sagu e tapioca (20:0, 15:5, 10:10, 5:15 e 0:20) e diferentes teores de umidade (20, 30 e 40 %), processadas em uma extrusora de parafuso único, com temperaturas de 80, 100, 120 °C, onde foram avaliados as seguintes características físicas: densidade aparente, taxa de expansão, flutuabilidade, estabilidade da água, índice de durabilidade dos pellets, velocidade de afundamento e microscopia eletrônica de varredura, determinaram que o aumento do nível de umidade da dieta de 20 para 40%, aumentou o valor de todas as propriedades físicas avaliadas.

Kamarudin et al. (2018), realizou experimentos para avaliar os efeitos das temperaturas da matriz na extrusão utilizando taro (inhame) pré-gelatinizado, e da quirera de arroz nas propriedades físicas dos pellets extrudados. Os autores utilizaram uma extrusora de parafuso único com seguintes parâmetros de processamento: teor de umidade de 40%, as três zonas do perfil de temperatura do canhão (70, 90 e 100 ° C) e velocidade do parafuso (150 rpm) constantes durante todo o processo. Os níveis de inclusão do taro foram 15, 20, e 25% respectivamente. Foram avaliadas as propriedades físicas dos pellets enquanto a flutuabilidade, índice de expansão, densidade, durabilidade, absorção e solubilidade da água, teor de umidade e microestrutura do pellet. Os resultados obtidos para as propriedades de densidade aparente (15%: 384,03 ; 440,13), (20%: 381,57 ; 444,90), (25%: 371,83 ; 441,63 kg m<sup>-3</sup>) encontram-se próximas aos valores encontrados neste trabalho,

Os parâmetros utilizados por Kamarudin et al. (2018) no processo de extrusão, são similares aos utilizados neste trabalho. Embora os ingredientes, níveis e fontes de amido utilizados pelos autores (taro e quirera de arroz), sejam totalmente diferentes, o amido cumpre

uma função muito importante na integração dos ingredientes através da gelatinização durante o tratamento térmico por extrusão, isto explica a similitude dos resultados.

Por outro lado, a baixa densidade da dieta comercial pode estar associada à formação de poros devido ao grau de expansão, como observado por Kamarudin et al. (2018) na análise de microestrutura em experimentos de taro (inhame) e arroz.

Outros resultados sobre a densidade aparente foram reportados por Tyapkova et al. (2016), em um estudo realizado com formulações à base de torta de sementes oleaginosas, para substituir 25% da farinha de peixe, trigo e glúten de trigo com sementes de colza, soja, linhaça ou torta de sementes de girassol das formulações. Estes resultados foram maiores (670,3; 734,6; 777,5; 714,6; 717,9 kg m<sup>-3</sup>) quando comparados com os resultados deste trabalho. Valores médios de densidade aparente (479 g/L) foram determinados por Irungu et al. (2019), utilizando parâmetros similares com este trabalho, os autores utilizaram uma mistura a base de torta de girassol, gérmen de milho, farelo de trigo, e farinha de mandioca, e parâmetros de temperaturas (80 – 120 ° C), diâmetro de matriz (2 – 4 mm) e tempo de pré-condicionamento da alimentação para a adição de umidade (50 – 150 s; vapor 400 kPa). O sistema de pré-condicionamento no processo de extrusão otimiza a inclusão de umidade, diminui a força de cisalhamento e a aplicação de altas temperaturas, reduzindo o esforço mecânico e conseqüentemente os custos operacionais, por isso que o pré-condicionamento é considerado uma pré-extrusão.

#### **4.4.2 Índice de expansão radial, seccional, longitudinal e volumétrico**

O índice de expansão radial é provavelmente o mais importante teste de caracterização física dos produtos extrudados. Por meio desse índice, é possível, à primeira observação, prever quão drástico ou leve foi o processo de extrusão. Além disso, pode ser verificado se uma matéria prima particular quando extrudada tem uma composição adequada para a elaboração do produto desejado (LEE et al., 1999).

Quando os extrudados emergem da matriz da extrusora, ocorre repentinamente uma queda drástica na pressão, causando uma evaporação extensa da umidade interna do material fundido, resultando na formação de bolhas de ar nesse material permitindo a expansão (BOUZAZA et al., 1996).

Para elaboração de rações, são adicionadas altas porcentagens de matérias-primas proteicas, da mesma forma, substâncias que contêm teores significativos de fibras, estes são ingredientes que causam a diminuição nos valores de expansão dos extrudados. Nesse sentido, as características de expansão de uma formulação particular dependerão de quais ingredientes ela possui. Isso explica as diferenças nos valores de ração comercial e dietas testadas com diferentes valores de umidade. Os resultados mostram uma pequena diferença entre as dietas estudadas. Para as condições de processamento realizadas, dos pellets obtidos, não foram observadas grandes diferenças visualmente, do ponto de vista da expansão.

Tyapkova et al. (2016), realizou experimentos utilizando formulações à base de torta de sementes oleaginosas, foram produzidas substituindo 25% da formulação de farinha de peixe, trigo e glúten de trigo com sementes de colza, soja, linhaça ou torta de sementes de girassol. Para o processo de extrusão utilizaram uma extrusora de parafuso duplo, com um diâmetro de parafuso de 26 mm e uma relação comprimento/diâmetro de 25/1. As velocidades de rotação do parafuso foram de 300 rpm e 500 rpm. Foram utilizadas matrizes de diâmetro de 2 × 3 mm e 4 × 3 mm e taxas de alimentação baixas (5 kg/h<sup>-1</sup>) e superiores (11 kg/h<sup>-1</sup>). O teor de umidade para os experimentos foi de 30%. Os resultados do índice de expansão seccional (IES), foram 1,23 para a dieta referência, 1,11 com substituição de torta de colza, 1,04 para substituição com torta de soja, 1,14 utilizando da linhaça, e 1,00 com torta de semente de girassol. Estes resultados encontram-se na faixa dos resultados sobre (IES) obtidos no presente trabalho, onde

foi utilizado farelo de soja como substituto da farinha de peixe, além alguns parâmetros do processo de extrusão como diâmetro da matriz (3 mm), e umidades próximas à 30%.

Em experimentos realizados por Irungu et al. (2019), utilizaram uma mistura a base de torta de girassol, germen de milho, farelo de trigo, e farinha de mandioca. Para o processo de extrusão utilizaram uma extrusora de parafuso simples, temperaturas de (80 – 120 ° C), diâmetro de matriz (2 – 4 mm), tempo de pré-condicionamento da alimentação (50 – 150 s; vapor 400 kPa), tiveram como objetivo avaliar os parâmetros físicos como: grau de expansão, densidade aparente, fluatuabilidade, durabilidade, absorção de água, solubilidade em água, estabilidade em água. Os resultados médios do índice de expansão desse experimento foi de (2,64). Este resultado se comparamos com os obtidos neste experimento das dietas experimentais e comercial, é amplamente maior. As condições do processo como temperatura (120 °C) e o pré-condicionamento da mistura, facilitaram a expansão dos pellets, visto que o com parâmetros menores de temperatura e sem pré-condicionamento que facilite um pré-cozimento do material resultam em índices de expansão mais baixos como os resultados do presente trabalho.

#### **4.4.3 Índice de absorção de água (IAA) e índice de solubilidade em água (ISA)**

Todo o material amiláceo quando submetido a calor em ambiente úmido sofre certo grau de degradação em relação à intensidade térmica e/ou estresse mecânico de cisalhamento. Assim, a absorção de água está relacionada à disponibilidade de ligações de hidrogênio disponíveis capazes de se ligar e formar um gel. Altas taxas de cisalhamento podem quebrar uma grande parte da estrutura amilácea e conseqüentemente aumentar a solubilidade do material. Não é esperado que nos pellets de ração tenha uma quebra muito grande da estrutura amilácea. Pelo contrário, este tratamento térmico deve ser suficiente para formar uma rede coesa e suportar a estrutura dos pellets com os outros ingredientes não amiláceos, nesse sentido solubilidade apresenta-se muito baixa. Os resultados de IAA e ISA.

A amostra comercial apresentou valores IAA relativamente próximos do experimento Dieta-A40. No entanto, com respeito ao ISA apresentou um valor baixo na mesma dieta. A solubilidade dos ingredientes só pode acontecer, caso seja amiláceo, quando grande parte deles alcançou o grau de dextrinas. No processamento de rações, não há uma taxa de cisalhamento muito alta, apenas o suficiente para manter coesos os pellets produzidos. Com relação aos resultados do IAA, as dietas apresentaram pequenas diferenças entre elas, atribuídas às condições de umidade no processamento e à proporcionalidade dos ingredientes.

Em geral, rações contendo altos teores de cereais na forma de farinha, como farinha de milho, farinha de arroz, farinha de mandioca, podem gerar altos valores de absorção de água, dependendo da taxa de cisalhamento do sistema de extrusão e dos parâmetros aplicados (SHARMA et al., 2016).

Estudos conduzidos por Irungu et al. (2019), apresentaram valores médios de ISA entre 9,31. Resultados totalmente altos se comparados com os de este estudo. Essa grande diferença pode ser explicada pelo grau de expansão elevado que apresentaram os pellets (2,64), visto que existe uma correlação direta entre o grau de expansão e o índice de solubilidade em água. Enquanto ao IAA, os mesmos autores apresentaram valores médios de 4,12, neste caso, os resultados obtidos neste trabalho são completamente superiores (32,30 valor máximo). A grande diferença nesta variável analisada, pode ser explicada aos altos teores de umidade aplicados no processo, somado às baixas taxas de rotação do parafuso e temperatura moderada, que não permitiu o cozimento total da parte amilácea presente na formulação.

Resultados similares ao anterior estudo foram observados por Kamarudin et al. (2018), os autores apresentaram valores médios de ISA de 3,5 e valores médios de IAA de 15,5. A mistura utilizada no processo foi composta por farinha de taro pré-gelatinizado e quirera de

arroz, os parâmetros aplicados no tratamento térmico foram: temperaturas de 70, 90 e 100 ° C, velocidade do parafuso de 150rpm, umidade de 40%, processadas numa extrusora de parafuso único. Condições similares às utilizadas neste trabalho, não entanto com resultados diferentes. Isto pode ser explicado pela utilização de fontes ricas em amidos, como o taro (inhame) e a quirera de arroz, característica que facilita o grau de expansão, e como consequência melhora a densidade e fluabilidade do pellet.

Para a fabricação de rações, esperam-se valores altos de IAA, isto permite que o pellet tenha uma melhor absorção no meio aquático, prolongando sua estabilidade e durabilidade, ao mesmo tempo espera-se valores não tão elevados de ISA, isto para evitar perda da ração por rápida solubilidade.

#### **4.4.4 Viscosidade de pasta (RVA)**

O perfil de viscosidade de pasta Rapid Viscosity Analyzer (RVA) é um teste importante para a qualidade do cozimento, pois reflete o grau de gelatinização e a taxa de quebra dos grânulos de amido (CARVALHO et al., 2010). Assim, formulações que contêm percentuais significativos de carboidratos na forma de farinhas, de cereais ou tuberosas, durante o processo de extrusão, sofrem diferentes graus de gelatinização de acordo com o estresse mecânico aplicado.

De acordo com Sørensen (2012), no processo de extrusão na fabricação de rações para peixes, acontece uma transformação e fusão dos ingredientes em um produto fluidizado e altamente viscoso que é formatado através de uma matriz e seguidamente cortado em pellets, secado e finalmente revestido com óleo mediante um sistema a vácuo. As características físico-químicas, térmicas e reológicas dos ingredientes da ração, estão relacionadas com o desempenho do processo, pelo tipo e concentração da parte amilácea que atua como plastificante adicionado na formulação. Os pellets devem possuir um bom índice de expansão para facilitar a absorção do óleo, além de ter alta durabilidade para suportar o seu transporte e a alimentação pneumática no processo (SØRENSEN, 2012).

Nos resultados obtidos pode-se observar que os valores da viscosidade máxima de pasta variam entre 115 e 182,5 cP. O resultado da viscosidade máxima da ração comercial, foi calculada em 36,5 cP. Observa-se que as dietas A28% e dieta B28% atingiram valores relativamente elevados, o que indica que o processo de extrusão proporcionou condições intermediárias na quebra de parte da estrutura amilácea permitindo absorção de água a 25 °C. A amostra comercial nestas condições não apresentou níveis de boa absorção de água a 25 °C. Obviamente, também está relacionado à formulação utilizada e os parâmetros de extrusão.

Por um lado, é importante considerar que amostras contendo teores significativos de carboidratos na forma de amido, como fubá de milho, farinha de trigo, farinha de mandioca, estas terão uma resposta de maior viscosidade segundo os seus conteúdos em percentagem na formulação. Geralmente, isto se verifica, nas rações energéticas do que nas rações proteicas.

Na formulação das dietas deste experimento, utilizou-se farinha de trigo como fonte de carboidrato, ingrediente que não é muito utilizado pela indústria de rações, mas a utilização deste ingrediente tinha a finalidade de proporcionar características de aglutinação dos ingredientes, e como consequência melhorar a formatação dos pellets. Não entanto, precisa-se ajustar parâmetros no processamento, como o condicionamento de umidade, temperatura e rotação do parafuso visando melhorar as propriedades de expansão e densidade dos pellets.

#### **4.4.5 Difração de raios – X**

A Tabela 11, e as Figuras 2 e 3 apresentam os resultados do grau de cristalinidade em forma calculada e gráfica, das dietas experimentais e comercial. Os resultados de cristalinidade



(Xc) obtidos estão dentro dos padrões descritos na literatura segundo Van Soest e Vliegenthart (1997) que indicam o grau de cristalinidade dos amidos regulares variando de 20 a 40%.

Uma das formas típicas de avaliar o efeito térmico nas cadeias poliméricas amiláceas é a sua observação após incidências de raios-X. Essas características estão relacionadas à origem botânica. Mais basicamente, ao aplicar essa técnica, espera-se verificar como ela afeta o tratamento realizado na incidência de raios em diferentes ângulos. Desta forma, pode-se verificar indiretamente como o componente de amido da parte amilácea das formulações está afetando a cristalinidade.

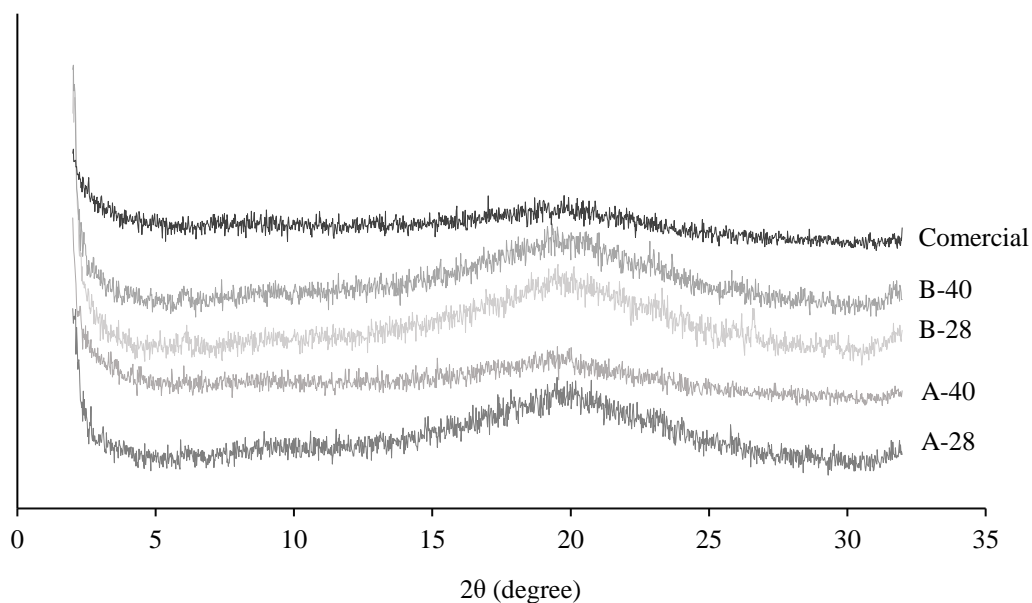
Segundo Zobel (1988) a cristalinidade dos grânulos de amido gira em torno de 15 a 45% dependendo de sua forma e estrutura cristalina, e pode ser classificada em três padrões principais: A, B ou C podendo ser observada através da técnica de difração de raios X. Os picos de difração da ração são mostrados nas Figuras 1 e 2. Na Figura 2 a dieta A28 mostrou altos picos de difração no ângulo  $2\theta$  a  $17^\circ$  e  $19^\circ$  e picos menores entre  $14^\circ$  e  $16^\circ$ , a dieta A40 mostrou picos fortes entre  $18^\circ$  e  $19^\circ$  e picos menores entre  $13^\circ$  e  $15^\circ$ , a dieta B28 apresentou picos elevados entre  $18^\circ$  e  $20^\circ$  e picos menores a  $16^\circ$  e  $17^\circ$ , a dieta B40 picos maiores entre  $17^\circ$  e  $19^\circ$ , picos menores entre  $16^\circ$  e  $17^\circ$  e a dieta comercial apresenta comportamento quase linear e o pico de difração mais alto a  $17^\circ$ .

Quanto à cristalinidade, a amostra comercial apresentou cerca de 23%, a dieta A40, cerca de 20%. Estes resultados para estas duas amostras indicam um efeito maior sobre a degradação da fração amilácea entre os componentes da dieta. A dieta A28 atingiu o maior valor de cristalinidade, cerca de 44%; a dieta B28, ligeiramente cerca de 38%. Neste caso, estas duas dietas sugerem ter maior integridade de sua estrutura após o tratamento térmico. Na figura 2 pode-se observar os picos de cristalinidade das dietas processadas com menor teor de umidade final (20 e 25%) os quais estão representados com os valores calculados na tabela 11, os resultados obtidos são mais baixos comparados com as dietas processadas com maior teor final de umidade (28 e 40%), indicando que o efeito da degradação da fração amilácea foi maior no processamento por causa da redução da umidade.

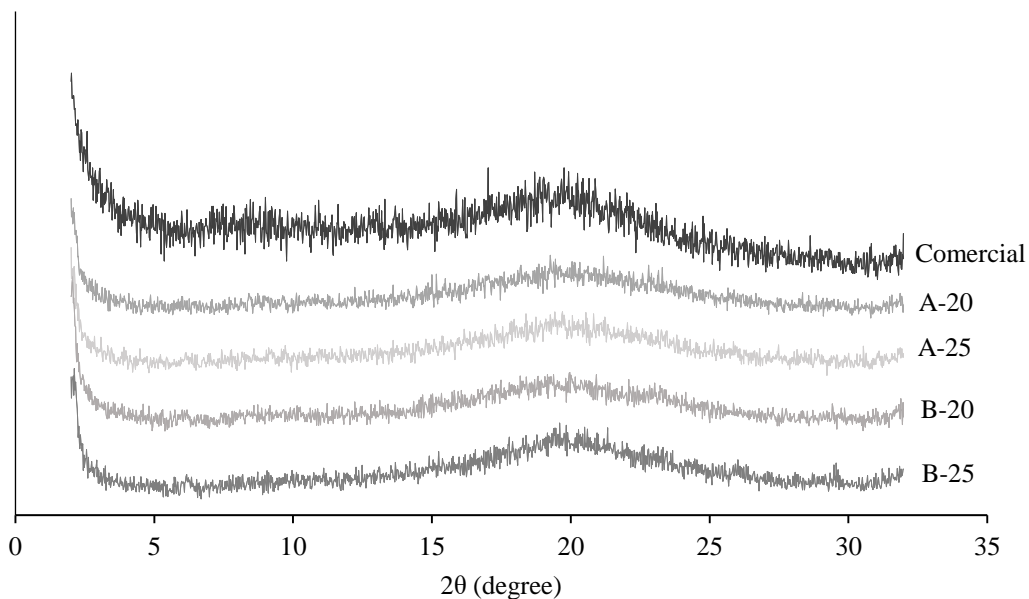
A técnica de difração de raios-X, é comumente utilizada para analisar a cristalinidade em amidos nativos utilizados para a elaboração de alimentos para consumo humano. Não é comum sua utilização para analisar alimentos processados para consumo animal, isto explica a falta de referências sobre esta técnica aplicada à análise de rações. Não entanto, devido à função de aglutinação e gelatinização que fornece características de densidade, expansão, absorção e solubilidade que cumpre o amido presente na formulação de dietas para peixes, neste trabalho optou-se por realizar a avaliação através desta técnica.

**Tabela 11.** Grau de cristalinidade calculado das rações experimentais e controle

Rações	Grau de cristalinidade (%) Gc
Ração comercial 7	22,80
Dieta - A28	43,80
Dieta - A40	19,60
Dieta - B28	37,80
Dieta - B40	32,90
Dieta - A20	22,72
Dieta - B20	26,03
Dieta - A25	22,59
Dieta - B25	23,82



**Figura 2.** Padrões de difração de raios - X das rações experimentais e comercial processadas com 28 e 40% de umidade final.



**Figura 3.** Padrões de difração de raios - X das rações experimentais e comercial processadas com 20 e 25% de umidade final.

## 5 CONCLUSÕES

As características de cada matéria-prima, principalmente sua composição, definiram a extrusabilidade das rações, na qual, neste experimento, não foi formulado contendo farinha de peixe, pela pouca disponibilidade, pelo preço elevado, substituindo a fração proteica por farelo de soja e farinha de carne e ossos, que apresentam preços mais acessíveis no Brasil, e consequentemente podem viabilizar, em termos de custo/benefício as rações.

Pode-se concluir que os pellets podem apresentar maior densidade, não só pela formulação, mas também pelo grau de cozimento no processo, o que provocou mudanças na expansão dos pellets, absorção de água, viscosidade de pasta e até mesmo em as características de difração de raios-X, mostrando diferentes valores e cristalinidade. Determinados percentagens de um ingrediente, com a sua peculiar característica intrínseca de composição, implica maior ou menor necessidade de energia térmica, isto faz com que em combinação entre os outros ingredientes tenham propriedades físicas diferenciadas após processamento.

Observa-se que, dependendo dos ingredientes, da sua proporcionalidade, pode-se formular rações com adequado balanço de aminoácidos, bom perfil de micro e macrominerais. Ao se referir aos teores de aminoácidos essenciais, que são determinantes para o bom desenvolvimento e qualidade do peixe, os parâmetros utilizados na extrusão são fatores que devesse considerar, pois diminui-se perdas por aquecimento excessivo durante a cocção e peletização das rações.

Em cada região do país, teremos um determinado ingrediente ou ingredientes com melhores condições econômicas de compra, segundo a sazonalidade, por exemplo no Nordeste, o preço do farelo de soja estará condicionado à disponibilidade e preço e frete. Outras fontes proteicas da mesma forma, já na região Sul, centro de produção de farelo de soja, terá melhor preço, inclusive de cereais, como farinha e farelo de milho, nesse sentido, as formulações deverão ter o seu custo/benefício relacionado a estas questões, além das melhores formas de processamento, descritas neste trabalho. São estas, entre outras, questões relacionadas ao manejo, que regerão o verdadeiro crescimento da aquicultura no país. Não é possível definir uma fórmula determinada na elaboração de uma ração, pois, sabe-se, que em geral um dos melhores ingredientes –farinha de peixe- é considerado inviável para uso em formulações para tilápia. Sendo, assim, combinações adequadas, de fontes proteicas alternativas derivadas de animais e de vegetais, com seus complementos, nas doses certas haverá ganhos significativos quanto a custo/benefício. Nesse sentido, a tecnologia disponível e seus os avanços em pesquisa na área de nutrição de peixes, é fundamental ao serem considerados para o crescimento da aquicultura o país.

## **6 AGRADECIMENTOS**

Este trabalho contou com o apoio da Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ; concessão no. E-26 / 010.001222 / 2015); BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento, pela Fundação Eliseu Alves; e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) Brasil.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ-MARTINEZ, L.; KONDIRY, K. P.; HARPER, J. M. A General Model for Expansion of Extruded Products. **Journal of Food Science**, v. 53, n. 2, p. 609-615, 1988.

ANDERSON, R. A. Gelatinization of corn grits by roll- and extrusion-cooking. **Cereal Science Today**, v. 14, p. 4-12, 1969.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY (AOAC). **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry**. 16th edition. Arlington: Washington, 2005.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY (AOAC). **Approved Methods of the American Association of Official Analytical Chemists**. 18th edition, 3th rev. Gaithersburg: USA, 2010.

BECKER, A.; HILL, S. E.; MITCHELL, J. R. Milling—A Further Parameter Affecting the Rapid Visco Analyser (RVA) Profile. **Cereal Chemistry**, v. 78, n. 2, p. 166-172, 2001.

BELL, J. G.; MCEVOY, J.; TOCHER, D. R.; MCGHEE, F.; CAMPBELL, P. J.; SARGENT, J. R. Replacement of fish oil with rapeseed oil in diets of Atlantic salmon (*Salmo salar*) affects tissue lipid compositions and hepatocyte fatty acid metabolism. **The Journal of nutrition**, v. 131, n. 5, p. 1535-1543, 2001.

BOMFIM, M.; LANNA, E.; DONZELE, J. Níveis de Lisina digestível, com base no conceito de proteína ideal, em dietas para alevinos de tilápia do Nilo. **REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA**, v. 43, 2006.

BONVINI, E.; BONALDO, A.; PARMA, L.; MANDRIOLI, L.; SIRRI, R.; GRANDI, M.; FONTANILLAS, R.; VIROLI, C.; GATTA, P.P. Feeding European sea bass with increasing dietary fibre levels: Impact on growth, blood biochemistry, gut histology, gut evacuation. **Aquaculture**, v. 494, p. 1-9, 2018.

BOSCOLO, W. R.; SIGNOR, A.; FREITAS, J. d.; BITTENCOURT, F.; FEIDEN, A. Nutrição de peixes nativos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. supl. especial, 2011.

BOUZAZA, D.; ARHALIASS, A.; BOUVIER, J. M. Die design and dough expansion in low moisture extrusion-cooking process. **Journal of Food Engineering**, v. 29, n. 2, p. 139-152, 1996.

BRAGA, W. F.; ARAÚJO, J. G.; MARTINS, G. P.; OLIVEIRA, S. L.; GUIMARÃES, I. G. Dietary total phosphorus supplementation in goldfish diets. *Latin american journal of aquatic research*, v. 44, p. 129-136, 2016.

BRASIL, M. D. P. E. D. A. **1º Anuário brasileiro da pesca e Aquicultura**: Associação Cultural e Educacional Brasil Florianópolis 2014.

CAMPESTRINI, E. Farinha de carne e ossos. **Revista Eletrônica Nutritime**, v. 2, n. 4, p. 221-234, 2005.

CARVALHO, A. V.; DE VASCONCELOS, M. A. M.; SILVA, P. A.; ASSIS, G. T.; ASCHERI, J. L. R. Caracterização tecnológica de extrusados de terceira geração à base de farinhas de mandioca e pupunha. **Embrapa Amazônia Oriental-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2010.

CHOU, R.; HER, B.; SU, M.; HWANG, G.; WU, Y.; CHEN, H. Substituting fish meal with soybean meal in diets of juvenile cobia *Rachycentron canadum*. **Aquaculture**, v. 229, n. 1-4, p. 325-333, 2004.

CIAN, R. E.; BACCHETTA, C.; CAZENAVE, J.; DRAGO, S. R. Extruded fish feed with high residual phytase activity and low mineral leaching increased *P. mesopotamicus* mineral retention. **Animal Feed Science and Technology**, v. 240, p. 78-87, 2018.

DALSGAARD, J.; BACH KNUSEND, K.E.; VERLHAC, V.; EKMANN, K.S.; PEDERSEN, P.B. Supplementing enzymes to extruded, soybean-based diet improves breakdown of non-starch polysaccharides in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture Nutrition**, v. 22, n. 2, p. 419-426, 2016.

DE MIRANDA, E. C.; PEZZATO, A. C.; PEZZATO, L. E.; GRANER, C. F.; ROSA, G. J.; PINTO, L. G. Q. Relação cálcio/fósforo disponível em rações para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia= Brazilian Journal of Animal Science**, p. 2162-2171, 2000.

DE MORAES, A. M.; SEIFFERT, W. Q.; TAVARES, F.; FRACALOSSO, D. M. Desempenho zootécnico de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, em tanques-rede, com diferentes rações comerciais. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, n. 3, p. 388-395, 2009.

EBENEZAR, S.; VIJAYAGOPAL, P.; SRIVASTAVA, P. P.; GUPTA, S.; SIKENDRAKUMAR.; VARGHESE, T.; PRABU, D. L.; SELVAM, C.; VARGHESE, E.; SAYOOJ, P.; CS, T. WILSON, L. Dietary lysine requirement of juvenile Silver pompano, *Trachinotus blochii* (Lacepede, 1801). **Aquaculture**, v. 511, p. 734234, 2019.

FABREGAT, T. E. H. P.; PEREIRA, T. S.; BOSCOLO, C. N.; ALVARADO, J. D.; FERNANDES, J. B. K. Substituição da farinha de peixe pelo farelo de soja em dietas para juvenis de curimba. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 37, n. 3, p. 289-294, 2018.

FAN, J.; MITCHELL, J. R.; BLANSHARD, J. M. The effect of sugars on the extrusion of maize grits: I. The role of the glass transition in determining product density and shape. **International journal of food science & technology**, v. 31, n. 1, p. 55-65, 1996.

FAO. **The State of World Fisheries and Aquaculture**, Meeting the sustainable development goals. Rome, 2018. Disponível em: < <http://www.fao.org/3/i9540en/I9540EN.pdf> >. Acesso em: 22/10/2018.

FARIA FILHO, D.; FARIA, D.; JUNQUEIRA, O. M.; RIZZO, M.; ARAÚJO, L.; ARAÚJO, C. Avaliação da farinha de carne e ossos na alimentação de frangos de corte. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, 2002.

FASAKIN, E. A.; SERWATA, R. D.; DAVIES, S. J. Comparative utilization of rendered animal derived products with or without composite mixture of soybean meal in hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus*×*Oreochromis mossambicus*) diets. **Aquaculture**, v. 249, n. 1, p. 329-338, 2005.

FRANÇA, J.; SAAD, F.; SAAD, C.; SILVA, R. C.; REIS, J. Avaliação de ingredientes convencionais e alternativos em rações de cães e gatos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, p. 222-231, 2011.

FRANCIS, G.; MAKKAR, H. P. S.; BECKER, K. Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. **Aquaculture**, v. 199, n. 3, p. 197-227, 2001.

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. Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: a review. **Aquaculture research**, v. 38, n. 6, p. 551-579, 2007.

GLENCROSS, B. Understanding the nutritional and biological constraints of ingredients to optimize their application in aquaculture feeds. In: NATES, S. F. (Ed.). **Aquafeed Formulation**. San Diego: Academic Press, p.33-73, 2016.

GLENCROSS, B.; BLYTH, D.; TABRETT, S.; BOURNE, N.; IRVIN, S.; ANDERSON, M.; FOX-SMITH, T.; SMULLEN, R. An assessment of cereal grains and other starch sources in diets for barramundi (*Lates calcarifer*) – implications for nutritional and functional qualities of extruded feeds. **Aquaculture Nutrition**, v. 18, n. 4, p. 388-399, 2012.

GONCALVES, G. S.; PEZZATO, L. E.; BARROS, M. M.; ROCHA, D. F.; KLEEMAN, G. K.; SANTA ROSA, M. J. Energia e nutrientes digestíveis de alimentos para a tilápia do Nilo. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 35, n. 2, p. 201-213, 2018.

GONÇALVES, G. S.; PEZZATO, L. E.; BARROS, M. M.; KLEEMAN, G. K.; ROCHA, D. F. Efeitos da suplementação de fitase sobre a disponibilidade aparente de Mg, Ca, Zn, Cu, Mn e Fe em alimentos vegetais para a tilápia-do-nilo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, p. 2155-2163, 2005.

HASHIMOTO, J. M.; GROSSMANN, M. V. E. Effects of extrusion conditions on quality of cassava bran/cassava starch extrudates. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 38, n. 5, p. 511-517, 2003.

HUA, K.; SUWENDI, E.; BUREAU, D. P. Effect of body weight on lysine utilization efficiency in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, v. 505, p. 47-53, 2019.

HUA, K.; BUREAU, D. P. Modelling digestible phosphorus content of salmonid fish feeds. **Aquaculture**, v. 254, n. 1, p. 455-465, 2006.

HUANG, Y.-J.; ZHANG, N.-N.; FAN, W.-J.; CUI, Y.-Y.; LIMBU, S. M.; QIAO, F.; ZHAO, Y.-L.; CHEN, L.-Q.; DU, Z.-Y.; LI, D.-L. Soybean and cottonseed meals are good candidates for fishmeal replacement in the diet of juvenile *Macrobrachium nipponense*. **Aquaculture international**, v. 26, n. 1, p. 309-324, 2018.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. v. 1: Métodos Químicos e Físicos para análise de alimentos. São Paulo: IMESP, 3. ed., p. 125, 1985

IRUNGU, F. G.; MUTUNGI, C.; FARAJ, A.; AFFOGNON, H.; EKESI, S.; NAKIMBUGWE, D.; FIABOE, K. K. M. Optimization of extruder cooking conditions for the manufacture of fish feeds using response surface methodology. **Journal of Food Process Engineering**, v. 42, n. 2, 2019.

KAMARUDIN, M. S.; DE CRUZ, C. R.; SAAD, C. R.; ROMANO, N.; RAMEZANI-FARD, E. Effects of extruder die head temperature and pre-gelatinized taro and broken rice flour level on physical properties of floating fish pellets. **Animal Feed Science and Technology**, v. 236, p. 122-130, 2018.

KUBITZA, F. **Nutrição e alimentação dos peixes cultivados**. F. Kubitza, 1999.

KUBITZA, F. Manejo na produção de peixes. **Panorama da Aqüicultura**. Rio de Janeiro, v. 19, n. 14, p. 14-27, 2009.

KURT, A.; MUTHUKUMARAPPAN, K.; KANNADHASAN, A. Effects of ingredients and extrusion parameters on properties of aqua feeds containing DDGS and corn starch. **Journal of Aquaculture Feed Science and Nutrition**, v. 1, n. 2, p. 44-60, 2009.

LAZZARI, R.; RADÜNZ NETO, J.; EMANUELLI, T.; PEDRON, F. d. A.; COSTA, M. L.; LOSEKANN, M. E.; CORREIA, V.; BOCHI, V. C. Diferentes fontes protéicas para a alimentação do jundiá (*Rhamdia quelen*). **Ciência Rural**, v. 36, p. 240-246, 2006.

LEE, E. Y.; RYU, G.-H.; LIM, S.-T. Effects of Processing Parameters on Physical Properties of Corn Starch Extrudates Expanded Using Supercritical CO<sub>2</sub> Injection. **Cereal Chemistry**, v. 76, n. 1, p. 63-69, 1999.

LIANG, X.; YU, X.; HAN, J.; YU, H.; CHEN, P.; WU, X.; ZHENG, Y.; XUE, M. Effects of dietary protein sources on growth performance and feed intake regulation of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*). **Aquaculture**, v. 510, p. 216-224, 2019.

LOVELL, R. T. Dietary Phosphorus Requirement of Channel Catfish (*Ictalurus punctatus*). **Transactions of the American Fisheries Society**, v. 107, n. 4, p. 617-621, 1978.

LUO, Y.; AI, Q.; MAI, K.; ZHANG, W.; XU, W.; ZHANG, Y.; LIUFU, Z. Effects of dietary corn gluten meal on growth performance and protein metabolism in relation to IGF-I and TOR gene expression of juvenile cobia (*Rachycentron canadum*). **Journal of Ocean University of China**, v. 12, n. 3, p. 418-426, 2013.

MELLENDEZ, A. A.; ASCHERI, J. L. R.; OLIVEIRA, E. M. S.; BERRIOS, J. J. Aquaculture feeds: a review of raw material, manufacturing process and product quality. **Journal of Food, Agriculture and Environment**, v. 16, n. 3&4, p. 10-17, 2018.

MICHELATO, M.; DE OLIVEIRA VIDAL, L. V.; XAVIER, T. O.; DE MOURA, L. B.; DE ALMEIDA, F. L. A.; PEDROSA, V. B.; FURUYA, V. R. B.; FURUYA, W. M. Dietary lysine requirement to enhance muscle development and fillet yield of finishing Nile tilapia. **Aquaculture**, v. 457, p. 124-130, 2016.

MOREIRA, P. O.; ROCHA, D. A. M.; da SILVA, T. C.; BITTENCOURT, F.; NEU, D. H.; BOSCOLO, W. R. Óleo de soja utilizado pré e pós-processamento de rações para tilápia do Nilo. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 41, n. 3, p. 547-555, 2018.

MOURENTE, G.; GOOD, J.; BELL, J. Partial substitution of fish oil with rapeseed, linseed and olive oils in diets for European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.): effects on flesh fatty acid composition, plasma prostaglandins E2 and F2 $\alpha$ , immune function and effectiveness of a fish oil finishing diet. **Aquaculture Nutrition**, v. 11, n. 1, p. 25-40, 2005.

NAYLOR, R. L.; GOLDBURG, R. J.; PRIMAVERA, J. H.; KAUTSKY, N.; BEVERIDGE, M. C. M.; CLAY, J.; FOLKE, C.; LUBCHENCO, J.; MOONEY, H.; TROELL, M. Effect of aquaculture on world fish supplies. **Nature**, v. 405, p. 1017, 06/29/online 2000.

NETO, E. B. B.; PRADO, G. F.; PRADO, G. A. F.; SOUSA, R. G. C. Engorda de tambaquis (1 a 3 kg) arraçoados com dietas contendo 22 e 28% de proteína bruta. **Scientia Amazonia**, v. 6, n. 1, p. 1-8, 2017.

PEIXE BR, A. B. D. P. **Anuário peixebr da piscicultura**. São Paulo: PeixeBR, 2018, 2018. Disponível em: < <https://www.peixebr.com.br/anuario2018> >. Acesso em: 22/10/2018.

NGUYEN, L.; SALEM, S. M. R.; SALZE, G. P.; DINH, H.; ALLEN, D. D. Tryptophan requirement in semi-purified diets of juvenile Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture**, v. 502, p. 258-267, 2019.

PEZZATO, L.; BARROS, M.; FRACALOSSO, D.; CYRINO, J. Nutrição de peixes. **Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva**. São Paulo: TecArt, p. 75-169, 2004.

PEZZATO, L. E.; ROSA, M. J. S.; BARROS, M. M.; GUIMARÃES, I. G. Dietary phosphorus requirement for fingerlings Nile Tilápia. **Ciência Rural**, v. 36, n. 5, p. 1600-1605, 2006.

PEZZATO, L. E.; BARROS, M. M.; FURUYA, W. M. Valor nutritivo dos alimentos utilizados na formulação de rações para peixes tropicais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, p. 43-51, 2009.

PEZZATO, L. E.; MIRANDA, E. C. d.; BARROS, M. M.; PINTO, L. G. Q.; FURUYA, W. M.; PEZZATO, A. C. Digestibilidade Aparente de Ingredientes pela Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, p. 1595-1604, 2002.

PIANESSO, D.; RADÜNZ NETO, J.; DA SILVA, L. P.; GOULART, F. R.; ADORIAN, T. J.; MOMBACH, P. I.; LOUREIRO, B. B.; DALCIN, M. O.; ROTILI, D. A.; LAZZARI, R.



Determination of tryptophan requirements for juvenile silver catfish (*Rhamdia quelen*) and its effects on growth performance, plasma and hepatic metabolites and digestive enzymes activity. **Animal Feed Science and Technology**, v. 210, p. 172-183, 2015.

PINTO, L. G. Q.; PEZZATO, L. E.; GAMBOA, B. S. P.; DE MAGALHÃES ARAUJO, D. Digestibilidade de fontes proteicas e disponibilidade de fosfatos inorgânicos em três fases de desenvolvimento da tilápia-do-nilo. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 43, n. 1, p. 1-13, 2018.

PONTES, T. C.; CAGOL, L.; DUTRA, F. M.; PORTZ, L. Disponibilidade do fósforo em alimentos de origem vegetal: atuação na nutrição de peixes. **Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da UNIPAR**, v. 18, n. 3, 2016.

POZZA, P. C.; GOMES, P. C.; DONZELE, J. L.; ROSTAGNO, H. S.; POZZA, M. d. S.; NOGUEIRA, E. T. Digestibilidade ileal aparente e verdadeira de aminoácidos de farinhas de carne e ossos para suínos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 5, p. 1181-1191, 2004.

QUINTERO-PINTO, L. G.; PARDO-GAMBOA, B. S.; QUINTERO-PARDO, A. M. C.; PEZZATO, L. E. Exigências e disponibilidade de fontes de fósforo para tilápias. **Veterinária e Zootecnia, Botucatu**, v. 5, n. 2, p. 30-43, 2011.

RIBEIRO, P. A. P.; LOGATO, P. V. R.; PAULA, D. D. J.; COSTA, A. C.; MURGAS, L. D. D.; FREITAS, R. D. Efeito do uso de óleo na dieta sobre a lipogênese e o perfil lipídico de tilápias-do-nilo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 8, p. 1331-1337, 2008.

ROCHA, C. B.; PORTELINHA, M. K.; FERNANDES, J. M.; ALINE CONCEIÇÃO PFAFF DE PIEDRAS.; SÉRGIO RENATO NOGUEZ.; POUHEY, J. L. O. F. Dietary phosphorus requirement of pejerrey fingerlings (*Odontesthes bonariensis*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 43, n. 2, p. 55-59, 2014.

RODRIGUES, L. A.; KOCHENBORGER FERNANDES, J. B. Influência do processamento da dieta no desempenho produtivo do acará bandeira (*Pterophyllum scalare*). **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 28, n. 1, 2006.

ROSSI, L.; TIRAPEGUI, J. Implicações do sistema serotoninérgico no exercício físico. **Arquivos Brasileiros de Endocrinologia & Metabologia**, v. 48, p. 227-233, 2004.

SAADIAH, I.; ABOL-MUNAFI, A.; UTAMA, C. C. Replacement of fishmeal in cobia (*Rachycentron canadum*) diets using poultry by-product meal. **Aquaculture International**, v. 19, n. 4, p. 637-648, 2011.

SAKOMURA, N. K.; ROSTAGNO, H. S. **Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos**. Funep Jaboticabal, 2007.

SANTOS, F. W. B. Nutrição de peixes de água doce: definições, perspectivas e avanços científicos. **I Simposio de nutrição e alimentação animal**, Fortaleza. Reviewed, 2017.

SENA, R. F.; NUNES, M. L. Utilização de resíduos agroindustriais no processamento de rações destinadas ao camarão "*Penaeus vannamei*". **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 7, n. 2, 2007.

SHARMA, S. K.; BANSAL, S.; MANGAL, M.; DIXIT, A. K.; GUPTA, R. K.; MANGAL, A. K. Utilization of Food Processing By-products as Dietary, Functional, and Novel Fiber: A Review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 56, n. 10, p. 1647-1661, 2016.

SIGNOR, A. A.; SIGNOR, A.; BOSCOLO, W. R.; FEIDEN, A. Farinha de carne e ossos na alimentação de larvas de tilápia do Nilo. **Ciência Rural**, v. 40, p. 970-975, 2010.

SINDIRAÇÕES. Setor de alimentação animal. Boletim Informativo do Setor Dezembro/2018. 2018. Disponível em: < [https://sindiracoes.org.br/wp-content/uploads/2018/12/boletim\\_informativo\\_do\\_setor\\_dezembro\\_2018\\_vs\\_final\\_port\\_sindiracoes.pdf](https://sindiracoes.org.br/wp-content/uploads/2018/12/boletim_informativo_do_setor_dezembro_2018_vs_final_port_sindiracoes.pdf) >. Acesso em: 29/12/2018.

SØRENSEN, M. A review of the effects of ingredient composition and processing conditions on the physical qualities of extruded high-energy fish feed as measured by prevailing methods. **Aquaculture Nutrition**, v. 18, n. 3, p. 233-248, 2012.

SOUSA, T. J. R.; BOMFIM, M. A. D.; LANNA, E. A. T.; RIBEIRO, F. B.; DE SIQUEIRA, J. C.; SILVA, J. C.; MARCHÃO, R. S. Phosphorus requirements of tambaqui juveniles. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 39, n. 5, p. 2145-2156, 2018.

STOREBAKKEN, T.; SHEARER, K.; BAEVERFJORD, G.; NIELSEN, B.; ÅSGÅRD, T.; SCOTT, T.; DE LAPORTE, A. Digestibility of macronutrients, energy and amino acids, absorption of elements and absence of intestinal enteritis in Atlantic salmon, *Salmo salar*, fed diets with wheat gluten. **Aquaculture**, v. 184, n. 1-2, p. 115-132, 2000.

SUGIURA, S. H.; DONG, F. M.; RATHBONE, C. K.; HARDY, R. W. Apparent protein digestibility and mineral availabilities in various feed ingredients for salmonid feeds. **Aquaculture**, v. 159, n. 3, p. 177-202, 1998.

TIDWELL, J. H.; BRIGHT, L. A. Freshwater Aquaculture. In: FATH, B. (Ed.). **Encyclopedia of Ecology (Second Edition)**. Oxford: Elsevier, p.91-96, 2019.

TYAPKOVA, O.; OSEN, R.; WAGENSTALLER, M.; BAIER, B.; SPECHT, F.; ZACHERL, C. Replacing fishmeal with oilseed cakes in fish feed – A study on the influence of processing parameters on the extrusion behavior and quality properties of the feed pellets. **Journal of Food Engineering**, v. 191, p. 28-36, 2016.

UMAR, S.; KAMARUDIN, M. S.; RAMEZANI-FARD, E. Physical properties of extruded aquafeed with a combination of sago and tapioca starches at different moisture contents. **Animal Feed Science and Technology**, v. 183, n. 1, p. 51-55, 2013.

VAN SOEST, J. J.; Vliegenthart, J. F. Crystallinity in starch plastics: consequences for material properties. **Trends in biotechnology**, v. 15, n. 6, p. 208-213, 1997. ISSN 0167-7799.

VEIVERBERG, C. A.; BERGAMIN, G. T.; NETO, J. R.; LAZZARI, R.; CORRÊIA, V.; ROSSATO, S.; SUTILI, F. J.; FERREIRA, C. C. Farelo de soja como substituto à farinha de carne e ossos em dietas para juvenis de carpa capim (*Ctenopharyngodon idella*). **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 34, n. 3, p. 463-472, 2018.

WATANABE, T.; KIRON, V.; SATOH, S. Trace minerals in fish nutrition. **Aquaculture**, v. 151, n. 1-4, p. 185-207, 1997.

WATANABE, T.; TAKEUCHI, T.; MURAKAMI, A.; OGINO, C. The availability to *Tilapia nilotica* of phosphorus in white fish meal. **Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries**, v. 46, n. 7, p. 897-899, 1980.

ZAMINHAN, M.; Boscolo, W. R.; Neu, D. H.; Feiden, A.; Barriviera Furuya, V. R.; Massamitu Furuya, W. Dietary tryptophan requirements of juvenile Nile tilapia fed corn-soybean meal-based diets. **Animal Feed Science and Technology**, v. 227, p. 62-67, 2017.

ZOBEL, H. F. Molecules to Granules: A Comprehensive Starch Review. **Starch - Stärke**, v. 40, n. 2, p. 44-50, 1988.

## 8 ANEXOS

Anexo A. Artigo publicado na revista Journal of Food, Agriculture & Environment – ISSN 1459-0263 Vol.16 (3&4): 17-10-2018



**WFL Publisher**  
Science and Technology  
Meri-Rastilantie 3 B, FI-00980  
Helsinki, Finland  
e-mail: contact@wflpublisher.com

Journal of Food, Agriculture & Environment Vol.16 (3&4): 10-17. 2018 www.wflpublisher.com

### **Aquaculture feeds: a review of raw material, manufacturing process and product quality**

**Arturo Melendez Arevalo<sup>1</sup>, Jose Luis Ramirez Ascheri<sup>2\*</sup>, Eliana Monteriro Soares de Oliveira<sup>3</sup> and Jose de Jesus Berrios<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Food Technology Department, Technology Institute, Federal Rural University of Rio de Janeiro (UFRRJ), Brazil. <sup>2</sup> Embrapa Food Technology, Guaratiba, RJ, Brazil. <sup>3</sup> Centro de Ciências do Homem/Projeto PESCARTE, Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF) Darcy Ribeiro, Av. Alberto Lanego 2000, Parque Califórnia, Brazil. <sup>4</sup> United States Department of Agriculture (USDA), Agricultural Research Service, Western Regional Research Center, United States.

\*e-mail: jose.ascheri@embrapa.br; joseascheri@gmail.com

Received 22 June 2018, accepted 20 September 2018.

#### **Abstract**

In the field of aquaculture, feed is the principal item of expenditure that can make the difference between success or failure of a fish farming venture. In this review, we examine the quality of available raw materials, the advantages and disadvantages of the two commonly used manufacturing processes (pelleting and extrusion), and the necessity of delivering feeds appropriate for the nutritional requirements of the target species. Analyses of results reported in the literature indicate that extruded feeds are of superior quality compared with those obtained using the pelleted process, and that extrusion is more cost effective and amenable to the needs of aquaculture than pelleting. However, the real nutritional value of extruded feed is still poorly understood and research must focus on understanding the impact of high temperature short-time processes on the quality of aquatic feeds.

**Key words:** Aquaculture, feeds, raw material, extrusion, pelleting.

#### **Introduction**

According to the Food and Agriculture Organization of the United Nations<sup>8</sup>, aquaculture is probably the fastest growing sector in food-production and contributed more than 43% of the fish consumed globally in 2013. Aquaculture is a highly competitive business that requires specialized skill, knowledge, and acquaintance with new technologies. Moreover, sustainable aquaculture strives to produce more with less, i.e. employing fewer resources (feed, energy, water and land) while achieving higher productivity. Although the success of aquaculture relies strongly on genetic improvement to increase growth rates, reduce inputs and improve cost-effectiveness, the development of hatchery and fattening systems plays a major role in aquaculture operations.

In this context, feed represents one of the main items of expenditure in intensive fish farming and accounts for between 40 and 80% of total production costs. However, the nutritional intake of farmed fish influences not only growth and feed conversion ratio (FCR), but also health, reproductive efficiency, tolerance to handling and transportation, and quality and preservation of the final product<sup>16</sup>. Thus, efficient management of fish feed is essential in minimizing production costs while maintaining high quality production.

When designing and manufacturing fish feed, it is important to accommodate the food requirements of target fish species at different stages of growth in order to obtain products with suitable physical properties and nutritional quality. In this regard the density of fish feed pellets is an essential attribute that determines their ability to float or remain in suspension as well as their rate of disintegration over time.

The quality of fish feed depends on the kind and proportions of the nutritional components employed in the formulation, namely amino acids, fats, anti-nutritional factors, vitamins and minerals, and the energy potential that they impart. The value of a specific ingredient is determined by its potential to promote growth and is, ultimately, reflected on the final price of the feed. However, the ability of different fish species to utilize energy-yielding nutrients varies according to their natural feeding habits, i.e. carnivorous, herbivorous or omnivorous, and their productive performance is contingent upon an appropriate balanced diet. Previous studies have shown that fish feeds containing components of animal origin tend to promote better growth than those formulated using ingredients derived from alternative sources. Theoretically, feeds should contain a high ratio of animal protein to yield maximum FCR, although in practice this increases the cost of the feed and, consequently, the final price of the product

This review aims to provide an overview of the processes involved in the design and manufacturing of fish feed, with particular emphasis on the selection of raw materials and the processing techniques and equipment employed, and should serve as a valuable guide to aquaculture entrepreneurs.

#### **Raw Materials**

The success and sustainability of the aquaculture industry depends on the availability of high quality feeds that are nutritionally well balanced and competitively priced. However, there is concern that the intensive production systems employed

in modern fish farming are detrimental to the aquatic environment. In particular, high fish stocking densities necessitate the use of feeds providing high nutritional density, digestibility and palatability while generating minimal phosphorus- and nitrogen-rich waste. Indeed, owing to the cost of available raw materials, the manufacturing sector is always under pressure to develop feed formulations that generate minimal waste. Thus, the formulation of appropriate feed requires a detailed knowledge concerning the specific nutritional requirements of the targeted fish species, as well as the availability and processing characteristics of ingredients. Furthermore, in selecting the ingredients for feed formulations, such as protein from animal or plant sources, carbohydrate, lipids (fish or vegetable oil), vitamins, flavoring agents and bioactive compounds, it is important to consider the fate of these components in the aquaculture environment. This review focuses on the most common sources of proteins, namely fish meal, blood meal, meat and bone meal (MBM) and poultry by-product meal (PBM), and carbohydrates (corn, sorghum, cassava flour) used in the formulation of fish feed in Brazil and other countries.

**Fish meal:** Fish meal is one of the main ingredients of formulated diets for aquatic animals because it is rich in proteins, with an excellent profile of amino acids, minerals, vitamins, fatty acids and trace elements. Fish meal is typically presented as a brown powder produced from fresh raw fish and/or fish cuts and viscera by cooking, grinding, drying to reduced water content and extracting any oil present in the final product. White fish are most commonly employed in fish meal production because of the lower fat content, while oily fish such as mackerel are used infrequently<sup>12</sup>. The demand for fish meal, which was estimated to be in the region of four million tons in 2013, has risen substantially in recent times leading to significant increases in the market price of the commodity. Thus, fish feed manufacturers have developed alternative feeds containing plant proteins in order to cut production expenditure while maintaining quality and yield of product<sup>24</sup>.

**Blood meal:** Blood meal is a dark red to black powder produced by drying blood collected from abattoirs as a by-product from the slaughter of cattle and pigs. The production techniques employed in the drying process include spray-, flash-, drum- and ring-dryers, the first two being the most common<sup>20</sup>. Blood meal is insoluble in water, has a typical density of 0.61 g/cm<sup>3</sup> and consists mainly of crude protein (80%) that is rich in lysine, tryptophan, threonine and phenylalanine, but deficient in other amino acids. The quality of the blood meal and the digestibility of the protein contained therein depend on the production technique employed, since each process operates under different specific parameters<sup>9,36</sup>. For example, processes that operate under high temperatures generate lysine complexes, thereby making this amino acid unavailable to animals<sup>1</sup>.

**Meat and bone meal (MBM):** MBM is used widely in commercial formulations of all types of animal feed in order to improve protein content while reducing feed costs<sup>6</sup>. For each ton of meat prepared for human consumption, around 300 kg is discarded as inedible products and, of this, 200 kg is converted into MBM<sup>19</sup>. After cooking, the product (known as meat and bone meal-50) typically

contains 48-52% protein and makes a significant contribution to feed formulation since it is good source of essential sulfur amino acids (methionine and cysteine) and fully biodegradable phosphorus (<4.0%) and calcium (~8%). An alternative product, meat and bone meal-36 is less rich in protein but contains more than 4% phosphorus.

Investigations carried out by Lazzari *et al.*<sup>18</sup> on juvenile *Leiarius marmoratus* (Gill, 1870), commonly known as the long-whiskered catfish or jundiá in Brazil, revealed that weight, overall length, specific growth rate, and content of fat and protein increased when fish meal (or MBM) was combined with soybean meal, although carcass and meat yield were not influenced by the dietary treatment. Yang *et al.*<sup>13</sup> studied the effect of replacing fish meal with extruded soybean meal on growth, feed utilization and apparent nutrient digestibility of juvenile white shrimp (*Litopenaeus vannamei*).

Following studies on Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.)<sup>22</sup> phosphorus availability varied according to animal and plant sources. Thus, while bone meal itself appeared as a particularly rich source of phosphorus (54.59%), the availability of the element was low (only 27.15%). Additionally, soybean meal was a better option for phosphorus supplementation (35.13%) in comparison with wheat (30.49%) or maize (7.33%) flour.

**Poultry by-product (PBM):** PBM is obtained by cooking, crushing and grinding clean poultry viscera (especially the stomach and intestines) along with necks, heads and feet, but excluding feathers. The oil extracted during cooking is separated off and the remaining cake is compressed to yield a low-fat (7 to 9%) product. Antioxidants are typically added to the product to prevent rancidification during storage and, consequently, loss of nutritional value<sup>29</sup>. Few abattoirs have the appropriate equipment to treat viscera and feathers, which require the use of high temperatures, pressure and holding time, in separate processes, implying that the quality of the PBM produced may be negatively affected<sup>3</sup>. Another problem relates to the use of inappropriate installations for the separation of fat, resulting in products containing high levels of unsaturated fats that must undergo further treatment with antioxidants<sup>3</sup>.

Signor *et al.*<sup>32</sup> evaluated the inclusion of PBM (0 to 20%) in feed supplied to freshwater ray-finned lambari [*Astyanax altiparanae* Garutti & Britski, 2000] and concluded that 5% PBM improved the weight, final length and protein content of the fish.

**Sources of carbohydrate:** Carbohydrates are major components of fish feed and represent excellent sources of carbon and energy<sup>10,38</sup>. The carbohydrate source for feed formulation depends, in the first instance, on the availability and cost of the raw material in the region where the processing facility is located. Grain-based carbohydrate sources, especially corn (*Zea mays* L.), wheat (*Triticum aestivum* L.), oat (*Avena sativa* L.), rice (*Oryza sativa* L.), sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] and common millet (*Panicum miliaceum* L.) are abundant in Brazil. Roots and tubers, particularly cassava (*Manihot esculenta* Crantz), potato (*Solanum tuberosum* L.) taro [*Colocasia esculenta* (L.) Schott] and yam (*Dioscorea alata* L.) are also good alternatives. However, the selection of carbohydrate source and the proportions employed in the formulation must be compatible with the requirements of the target fish and the characteristics of the raw material.

Ground corn is one of the main energy sources for omnivorous and herbivorous fish, but its inclusion in the diet must take into account not only accessibility and economic viability but also the moisture content and the presence of mycotoxins, pesticide residues and other toxins. The use of sorghum in fish feed is more common than that of corn but can be problematic owing to presence of tannins that are toxic to fish. It should be noted, however, that sorghum varieties producing lower levels of tannin are currently available. Rice bran and rice by-products, such as defatted rice bran and rice bran with germ, can replace other grains in fish feed formulations. However, antioxidants must be added to all rice by-products, except for defatted rice bran, that are introduced into fish feed in order to prevent rancidity. Hence, it is better to use stabilized rice bran that has been heat-treated to deactivate the lipoxidases responsible for rancidification and, thereby, extend shelf life.

Cassava flour is an inexpensive and abundant raw material that is rich in carbohydrate. In addition, the material has a binding effect that is highly desirable for aquaculture feed formulations since it lowers the dissolution of solids into the water, thus preventing loss of nutrients and providing a more complete utilization of the feed by the fish<sup>31</sup>. Eusebio and Coloso<sup>5</sup> evaluated the inclusion of 13% cassava flour in diets of prawns [*Penaeus indicus* H. Milne Edwards, 1837] and reported that the performance of the crustacean was sustained.

Glucose tolerance in fish is species-dependent and closely associated with eating habits. Moreover, the ability of a target species to regulate glucose homeostasis is indicative of its potential for using dietary carbohydrates as stated by Conde-Sieira *et al.*<sup>4</sup>. In this context, Simon<sup>33</sup> was able to demonstrate that addition of carbohydrate to the diet of crustaceans improved production efficiency by providing a low-cost energy source that could release dietary protein for growth.

According to Ren *et al.*<sup>27</sup>, who investigated the effects of wheat starch, corn starch, dextrin, maltose, glucose and cellulose as sources of dietary carbohydrate on growth performance, apparent digestibility coefficients and liver glucose enzyme activity in juvenile blunt snout bream [*Megalobrama amblycephala* Yih, 1955]. The best values of final body weight, specific growth rate, FCR and protein efficiency ratio were observed in fish fed with the dextrin diet, while the poorest values were observed in the group fed with the cellulose diet.

In a study conducted by Zhou *et al.*<sup>39</sup> to determine the optimum dietary carbohydrate level for juvenile golden pompano (*Trachinotus ovatus* L.), isonitrogenous and isoenergetic diets containing corn starch were formulated to contain different amounts of carbohydrate. The results showed that weight gain, specific growth rate, feed intake and protein efficiency ratio increased significantly as the level of dietary starch increased from 0 to 16.8% ( $P < 0.05$ ), whereas FCR decreased in this range but increased when carbohydrate levels varied from 16.8 to 28%. The authors concluded that the optimum carbohydrate level for juvenile golden pompano would be 11.2 to 16.8% of the diet.

Contrasting results were reported by Young *et al.*<sup>37</sup> following experiments involving the gradual substitution of fish-oil with carbohydrate (pre-extruded wheat, corn or pea) in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) feed to produce low fat/high carbohydrate diets and *vice versa*. Growth rate and final harvest weight were unaffected by carbohydrate source but were dependent on dietary

lipid content, exhibiting the lowest levels in fish fed with low oil and high carbohydrate feeds. Differences observed in fillet fat content and flesh color were also due to lipid content and not carbohydrate source. The authors concluded that the feasibility of substituting lipids by carbohydrates in Atlantic salmon feeds is limited and not necessarily cost-effective.

According to Moreira *et al.*<sup>23</sup>, who investigated the effect of dietary starch on growth performance, nutrient utilization, body composition and hepatic enzyme activity in juvenile European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.). The authors reported that the level of dietary starch had no effect on growth, utilization of nitrogen or whole-body protein and ash content. In contrast, whole-body lipid and energy content, liver glycogen, hematopoietic index and visceral index increased with dietary starch levels while feed efficiency decreased. Additionally, levels of dietary starch affected the activities of glucokinase and glucose-6-phosphate dehydrogenase but not of the others glycolytic enzymes assessed.

### Quality and Preparation of Ingredients

The economic and nutritional advantages of replacing raw materials in fish feed are influenced by the processing techniques employed to augment the palatability of the feed, to improve the availability and digestibility of the nutrients, and to inactivate and/or remove endogenous anti-nutritional factors. Moreover, the production process must ensure the balance of the product with respect to formulation ratio, dietary enzymes, minerals, essential amino acids (crystallized or conjugated form) and appetite stimulants.

Grinding (milling) is the process by which irregular-sized particles, large fragments and agglomerates of ingredients are converted to a flour or meal. Grinding represents a major step in feed manufacture since it affects the mixing properties of the ingredients and, consequently, the homogeneity of the mixture and the final product (pellets or extrudates). The final particle size specified depends on the type of feed to be manufactured and should be optimized for the target population. For example, the particle size of feed destined for shrimps at the nursery stage must be considerably smaller ( $< 100 \mu\text{m}$ ) than that offered to adult shrimps at the fattening or grow-out stage ( $< 250 \mu\text{m}$ ).

Grinding can be accomplished using various types of mechanical operations and mills, including those designed for grinding grain. Nevertheless, from the cost point-of-view, the process is likely to be the limiting production step since it accounts for 50 or 60% of the total manufacturing expenditure.

### Ingredient-associated characteristics that influence grinding:

Fish, squid, krill, shrimp head, seafood, soybean meal/flour and MBM typically account for some 25 to 65% of the total protein in bulk feed for fish and shrimps, and most of these ingredients are rich in oil. Unfortunately, components with high oil content tend to interfere in the grinding process by clogging up the small holes in the mesh of hammer mills. If this problem is to be avoided, the level of oil in the grindate must not exceed 13% and should, ideally, be less than 6%. One way to ensure that the oil content is below the prescribed limit is to mix the oily ingredients together with a cereal, such as wheat, that is low in oil before carrying out the grinding process<sup>17</sup>. This technique is known as post-grinding and is currently the preferred method for amalgamating feed

ingredients. In general, the method involves pre-weighing and mixing all of the major ingredients in a static mixer (cascade hopper), following which the mixture is passed through a series of selected sieves in a hammer mill. The pulverized ingredients are then transferred to feeder/mixer tanks where liquids, vitamin premixes, and other ingredients are added<sup>15</sup>. The main advantage of the post-grinding method is that it affords pulverized mixtures with uniform particle size regardless of the presence of oil-rich ingredients.

**Association between grinding and pelleting:** According to Lamoine and Gaytan<sup>17</sup>, quality pelleting is contingent upon the grinding process because of the influence that this procedure exerts on compaction. As the particle size decreases, the surface area of contact between the components of the mixture increases, and this serves to enhance bonding between protein (gluten) and starch molecules resulting in a solid structure that withstands greater compression forces and is more resistant to degradation in water. Grinding affects both the mixing process and the homogeneity of the mixture and, thereby exerts a direct influence on the quality of the end product (the pellet). When the particle sizes of the ingredients are uniform, the components can be adequately and evenly compacted and successfully submitted to the pelleting process, thus generating an end product with an appropriate texture. In contrast, when the particle sizes of the ingredients vary widely, the end product may contain undesirable aggregates with different degrees of compression (density), which diminishes the appearance, quality and palatability of the feed.

The application of liquid or powdered additives and minor elements to the formulation requires advanced technology, modern equipment, and high-standard techniques. Homogeneity and preservation of feed additives are key aspects in the preparation of top quality products and the attainment of such attributes requires knowledge of the chemical and physical properties of the different materials of the formulation. Hence, the order in which ingredients are added and the mixing times employed are of the utmost importance (Fig. 1). Particle size and shape, as well as density and elasticity during ingredient mixing, are related directly to particle segregation, percolation and elutriation. The last mentioned process involves the separation of particles using a gas or liquid counterflow and is used mainly for particles smaller than 1 µm. In both processes, extrusion and pelletizing requires the mixing of the ingredients to have one important step: preconditioning. It is a unit operation that has long been associated with extrusion processing and with other feed processing methods such as pellet milling. Although a seemingly simple process, there are many design variants available. There are also a number of

operational parameters that need to be given careful consideration when selecting and/or designing a process application. Preconditioning, as applied to feed manufacture, involves adding moisture and heat to the feed formulation before extrusion or pelletising. This involves adding water, normally partially as liquid water, and partially as steam, while mixing and holding the mix. So the primary objectives of the preconditioning in extrusion of feeds are to ensure uniform hydration. This is achieved by adding sufficient water, ensuring it is applied uniformly (which relates to the mixing characteristics within the system), and allowing sufficient time for the water to penetrate the feed particles, which also depends on particle size. Initiate the cooking process, the cooking reaction, or degree of cook, is primarily a function of temperature and time, in the presence of sufficient water<sup>7, 11, 28, 34</sup>.

### Feed Processing Technologies

In the early days of aquaculture, the pulverized feed ingredients were offered directly to fish without further processing, but this practice created many problems including food waste, lack of homogeneity of ingredients and inputs, inadequate particle sizes and distribution, poor buoyancy and sinking of food, not to mention the concomitant reduction in water quality. In the last 20 years, fish feed technology has undergone substantial progress based on a detailed knowledge of the nutritional requirements of fish, expertise in the raw materials that fulfill these needs, and novel methods of feed production.

Currently, the feed manufacturing industry uses two main production processes, i.e. pelleting and extrusion, which work on different principles, use specific equipment and offer their own advantages and disadvantages.

**Pelleting:** Pellet production involves compression and/or agglomeration of the ground ingredient or mixture of ingredients by a mechanical process in combination with moisture, pressure and heat<sup>2</sup>. Pellets of different sizes produced from fine powders find application in many fields, particularly in the pharmaceutical, food, fertilizer, ceramic, steel, water purification and metallurgical industries<sup>17</sup>. According to Lamoine and Gaytan<sup>17</sup>, the use of pellets in feed production offers: (i) ease of handling (pellets can pass along feed lines without excessive breakage); (ii) elimination of fine particles and dust; (iii) reduced separation of ingredients; (iv) increased density and, therefore, lower transport costs and less storage space required; and (v) improved palatability, digestibility and nutritional value of the feed.

A number of factors affect pellet quality including: (i) the chemical profile of the mixed ingredients<sup>20, 30</sup> (Table 1); (ii) the characteristics of the raw materials employed in the formulation<sup>2</sup>

Meal load	Dry mixing	Injection of the main liquid			Whole Mixing			Unload
30 s	30 s	30 s	30 s	30 s	30 s	30 s	30 s	30 s
Total mixing time = 4 min								
Duration of process = 5 min								

**Figure 1.** Time required for obtaining a mixture with appropriate homogeneity in a helical mixer. Adapted from Lamoine and Gaytan<sup>17</sup>.

(Table 2); (iii) particle size of the pulverized ingredient mix; (iii) the pelleting die employed and (iv) the state of wear of the ring and compaction roller.

**Extrusion:** Extrusion cooking is a high-temperature short-time (HTST) or flash processing method that is used to produce a wide range of food products, for both human and animal consumption, using the same basic equipment with little or no modification. The technique has been applied extensively with raw materials such as corn, wheat, rice, and more recently, soybean<sup>25</sup>.

During the extrusion process, the constituent molecules of the feed mix are subjected to a succession of almost instantaneous treatments involving high shear stresses, pressures and temperatures, all of which pose a challenge in the assessment of retained nutrient content in the treated product<sup>26</sup>. The quality of the extruded product and the loss of nutritional value during extrusion are determined by a range of factors including particle size and moisture level of the feed mix, preconditioning of the material prior to extrusion, extruder configuration, screw length and rotation speed, barrel pressure and temperature profile. Typical parameters employed in extrusion processes are shown in Table 3.

Feed processing facilities normally receive whole grains that need to be reduced to a coarse powder (1000 µm mesh) before mixing and then submitted to further grinding prior to extrusion in order to achieve the desired final particle size. Establishing a consistent particle size in the raw ingredient mix ensures adequate hydration and uniform cooking during extrusion, thus avoiding the presence of hard or partially cooked particles that would diminish the appearance and palatability of the product. Additionally, raw particles that are larger than the orifices of the pelleting die cause plugging or partial obstruction of the die openings resulting in a reduction in production stability and capacity, and an end product with poor appearance.

Particle size is especially critical in the manufacture of small delicate pellets. Sufficient grinding should be performed when the die orifices are smaller than 3 mm in diameter to ascertain that the largest particles are no bigger than one-third of the die opening. When this recommendation is observed, all particles easily pass through the die orifice without the risk of obstruction. A sieving device is often inserted between the grinder and the extruder in order to remove all foreign material and particles that are larger than the die orifice. Soft, moist and semi-moist feeds often require floury raw materials containing particles with maximum diameter of 425 µm to yield a smooth homogeneous end product matrix.

**Table 1.** Effects of different components on the physical characteristics of fish feed pellets and performance of manufacturing processes<sup>20</sup>.

Component	Effects on pellets	Effects on processing
Fat	Decreases quality	The hydrophobic properties of fats negatively affect adhesion between ingredients and excess lubrication alters machine pressure
Starch	Increases quality	Starch gelatinization positively affects adhesion of ingredients
Insoluble fiber	Increases quality, but this is dependent on adequate grinding/milling of ingredients	Particle size and shape affect adhesion between ingredients
Protein	Increases quality	Protein denaturation facilitates adsorption of particles onto its surface
Moisture	Increases quality	The presence of water together with heat breaks down starch facilitating gelatinization and protein denaturation

**Table 2.** Effects of feed ingredients on pellet quality<sup>2</sup>.

Ingredient	Protein (%)	Fat (%)	Fiber (%)	Palatability	Abrasivity
Dehydrated alfalfa bran	20	3	20	Average	High
Barley	10	2	6	Average	Average
Maize	8.4	3.8	2.5	Average	Low
Oat hulls	3.5	1	34	Very low	High
Rice bran	14	0.6	15.5	Low	High
Soybean meal	45	2	5	High	Low
Wheat middlings	15	3.8	8	High	Low



**Table 3.** Typical parameters employed in extrusion processes <sup>34,40</sup>.

Process	Temperature (°C)	Maximum barrel pressure (bar)	Moisture (%)	Maximum fat (%)	Cooking rate (%)
Pellet press	60 - 100		12 - 18	12	15 - 30
Expander/ pellet press	90 - 130	35 - 40	12 - 18	12	20 - 25
Dry extrusion	110 - 140	40 - 65	12 - 18	12	60 - 90
Wet extrusion					
single screw	80 - 140	15 - 30	15 - 35	22	80 - 100
twin screw	60 - 160	15 - 40	10 - 45	27	80 - 100

According to Plattner <sup>26</sup>, the use of ingredients with proper particle size offers the numerous benefits including improved pellet appearance, infrequent obstruction of die orifices, greater ease of cooking, reduced breakage of product and formation of fines, increased water stability and absorption, lower bulk density, higher levels of starch gelatinization, higher throughput for a given extruder and preconditioner size, reduced wear on extruder components, improved pasteurization, softer texture, improved digestibility and palatability, and improved retention of liquid coatings by virtue of the small cell structure. Table 4 shows the appropriate composition and pellet sizes for carnivorous and omnivorous fish feed prepared using a 85 mm single screw extruder<sup>16</sup>.

The effects of different levels of shear, moisture level of extrudate and preconditioner discharge temperature on starch gelatinization, pellet stability, and growth performance/FCR in the Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*) have been established by Obaldo *et al.*<sup>25</sup> for both wet and dry extrusion processes. The results obtained with wet extrusion revealed that starch gelatinization was strongly influenced by shear, while pellet stability and shrimp growth were determined primarily by the moisture content of the extrudate. High preconditioning temperatures and shear levels produced feed that favored shrimp growth and FCR, while extrudate containing 20 to 35% moisture gave pellets with higher water stability that favored shrimp growth. In the dry extrusion process, which involved the use of shear and moisture, elevated

shear with temperatures ranging from 134 to 167°C produced a high degree of starch gelatinization and water stability, while moisture levels in the range from 20 to 22%, produced the best growth in shrimp. Shrimps raised on feed that had been produced using optimal processing parameters exhibited a live weight of 5.94 g, a weekly growth rate of 0.60 g, an FCR of 1.55, and a survival rate of 75%.

Table 5 summarizes the main features of the extrusion and pelleting processes. Extrusion appears to offer many advantages over pelleting for the production of high quality feeds that are rich in fat and stable in water. Using this technology, it is possible to control various features of the end product such as density (which determines the sinking speed), diameter (0.8 to 30 mm) and inclusion of fresh raw materials in the preconditioner. Moreover, extruded feeds exhibit increased digestibility, high water stability, decreased risk of bacterial contamination, increased amounts of low-cost raw materials (cereal grains) and improved durability for handling and storage. The extrusion equipment is more expensive than the pelletizing equipment<sup>14</sup>. Which of course are compensated with the benefits outlined above.

#### Practical Applications

Aquaculture fish farmers need more information on the feed they provide on their farms. Firstly, regarding the protein sources, carbohydrates and bioactive materials required, and according to the types of processes submitted for the preparation of the pellets,

**Table 4.** Protein and fat levels and pellet sizes recommended for carnivorous and omnivorous fish feed <sup>16</sup>.

Fish weight (g)	Omnivorous fish			Carnivorous fish		
	Protein (%)	Fat (%)	Granule size (mm)	Protein (%)	Fat (%)	Granule size (mm)
> 0.5	40 - 50	10 - 15	< 0.5	40 - 50	15 - 20	0.5 - 0.8
0.5 - 4.9	40 - 45	10 - 15	0.5 - 1.0	40 - 50	15 - 20	0.8 - 1.5
5 - 19.9	35 - 40	8 - 10	2.0	40 - 45	10 - 15	2 - 3
20 - 199	32 - 35	8 - 10	3.0 - 4.0	40 - 45	10 - 15	4 - 6
200 - 999	28 - 32	6 - 08	4.0 - 6.0	36 - 40	10 - 12	6 - 8
1000 - 2000	28 - 32	6 - 08	6.0 - 8.0	36 - 40	10 - 12	10 - 15

**Table 5.** Comparison between feed processing technologies.

Extrusion	Pelleting
Versatility of extrusion equipment – enables the production of feeds with different densities (floating, fast sinking or slow sinking)	Pelleting equipment allows the production of a limited range of feeds (fast sinking feeds)
Flexibility – many formulae can be extruded into acceptable feeds for fish, shrimp, pigs, chickens, pets, etc.	Formulations are restricted to a few types of feeds (chicken and pigs included)
High digestibility of raw ingredients, mainly of the starch fraction (cereal grains), hence high feed conversion rate	Improved digestibility of raw ingredients, but not as efficiently as extrudates, and lower feed conversion rate
Maximum moisture content up to 55%. Can use wet ingredients.	Maximum moisture content up to 16 to 17%
Cooking rate $\geq$ 90%	Cooking rate around 50% using multiple pre-conditioners
Minimal risk of bacterial contamination owing to high temperature and pressure	Risk of bacterial contamination in the end product. Cooking temperature is too low to be adequate for destruction of anti-nutritional factors, pathogenic organisms and viruses in the feed
Feeds with high water stability can be easily obtained	Feeds with water stability demand binder additives and good operator skills
High product durability, feeds with uniform internal matrix	Ingredients are squeezed together and can un-mix, generating fines. Nutrient content in fines may differ from pellets.
Proportions of plant-derived ingredients can be increased, while fish meal and other expensive raw materials can be reduced	Difficult to increase the amount of plant-derived ingredients in formulations, hence expensive raw materials such as fish meal have to be employed.
High pressure and temperature increases starch gelatinization generating high quality and uniform products with almost no fines	Feeds are prepared at lower temperatures and pressures so that fines are often present in feeds
Low cost formulations	Formulations limited by machine design, requiring expensive fish meals to meet protein requirement.
Formulation can contain fat levels up to 22%	Fat levels limited to 4-5%, otherwise the production of pellets is impracticable
Requires raw material grinding at 20 mesh screen size	Requires finer grinding of raw material at 60 mesh screen size
High capital investment	Lower capital investment
Long utility usage	Shorter utility usage

considering pelletizing and thermoplastic extrusion process. A thorough analysis of the benefits in both cases may help to define the best application on the farm. The technology today provides modern equipment with ever better and more efficient results in the feed elaboration. In this way, for each case, feed elaborated for a given species can be competitive with better results for the farmer.

### Conclusions

Aquaculture feeds must contain high levels of digestible energy and amino acids to sustain fish growth, and these need to be dispensed in the form of granules or extruded shapes. In order to allow the continuous progress and profitability of the fish feed industry, ingredients such as fishmeal and oil will have to be used sparingly in the future. Extruded feeds are not only of superior quality in comparison with pelleted products but the process appears to be more cost effective and amenable to the needs of aquaculture than pelleting. However, questions have been raised regarding the nutritional value of extrudates. Although the basic effects of the more traditional thermal processing methods on nutritional quality are well understood, little is known about the combined effects of the HTST process on relatively dry feed materials. Understanding the complex phenomena involved will help to improve and optimize nutritional quality of extruded feeds.

### Acknowledgements

This work was supported by Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ; grant no. E-26/010.001222/2015); BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento, By Fundação Eliseu Alves.; and Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) Brazil.

### References

- <sup>1</sup>Bellaver, C., Brum, P. A. R., Lima, G. M. M., Boff, J. and Kerber, J. 2001. Partial substitution of soybean meal by poultry offal meal in diets balanced according to protein and total or digestible amino acids for broilers. *Brazilian Journal of Poultry Science* 3(3):233-240 (in Portuguese, with abstract in English).
- <sup>2</sup>Bellaver, C. and Nones, K. 2000. A importância da granulometria, da mistura e da peletização da ração avícola. IV Symposium Goiano de Avicultura. Goiânia, GO, Brazil. Available at: [http://www.cnpa.embrapa.br/sgc/sgc\\_arquivos/palestras\\_t8115r4z.pdf](http://www.cnpa.embrapa.br/sgc/sgc_arquivos/palestras_t8115r4z.pdf) (accessed January 2017)
- <sup>3</sup>Butolo, J. E. 2002. Qualidade de ingredientes na alimentação animal. 2<sup>nd</sup> edn. Colégio Brasileiro de Nutrição Animal, Campinas, SP, Brazil.
- <sup>4</sup>Conde-Sieira, M., Soengas, J. L. and Valente, L. M. P. 2015. Potential capacity of Senegalese sole (*Solea senegalensis*) to use carbohydrates: Metabolic responses to hypo- and hyper-glycaemia. *Aquaculture* 438: 59-67.
- <sup>5</sup>Eusebio, P. S. and Coloso, R. M. 1998. Evaluation of leguminous seed meals and leaf meals as plant protein sources in diets for juvenile

- Penaus indicus*. Israeli J. Aquacult. **50**:47-54.
- <sup>6</sup>Faria Filho De, F. D., Junqueira, O.R.M.F., Araujo, L. F. and Araujo, C. S. S. 2002. Avaliação da farinha de carne e ossos na alimentação de frangos de corte. Rev. Bras. Cienc. Avic. **4**:1-9.
- <sup>7</sup>de Cruz, C. R., Kamarudin, M. S., Saad, C. R. and Ramezani-Fard, E. 2015. Effects of extruder die temperature on the physical properties of extruded fish pellets containing taro and broken rice starch. Animal Feed Science and Technology **199**:137-145.
- <sup>8</sup>Food and Agriculture Organization of the United Nations 2015. Global Aquaculture Production statistics database updated to 2013 Summary information. Rome, Italy: Fisheries and Aquaculture Department. Available at: <http://www.fao.org/3/a-i4899e.pdf> (accessed January 2017)
- <sup>9</sup>Henn, J. D., Ribeiro, A. M. L. and Kessler, A. M. 2006. Comparação do valor nutritivo de farinhas de sangue e de farinhas de vísceras para suínos utilizando-se o método da proteína e gordura digestíveis e o método de substituição. Rev. Bras. Zootec. **35**:1366-1372.
- <sup>10</sup>Honorato, C. A., Almeida, L. C. and Moraes, G. 2013. Processamento de dieta - seus efeitos no aproveitamento de carboidrato para peixes. Rev. Electronica Nutritime **10**(5):2700-2715.
- <sup>11</sup>Hilton, J. W., Cho, C. Y. and Slinger, S. J. 1981. Effect of extrusion processing and steam pelleting diets on pellet durability, pellet water absorption, and the physiological response of rainbow trout (*Salmo gairdneri* R.). Aquaculture **25**(23):185-194.
- <sup>12</sup>International Fishmeal and Fish Oil Organisation 2015. Fishmeal Industry Overview. IFFO, London, UK.
- <sup>13</sup>Yang, Q., Tan, B., Dong, X., Chi, S. and Liu, H. 2015. Effect of replacing fish meal with extruded soybean meal on growth, feed utilization and apparent nutrient digestibility of juvenile white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). Journal of Ocean University of China **15**:865-872.
- <sup>14</sup>Bandyopanday, S. and Rout, R. K. 2001. Aquafeed extrudate flow rate and pellet characteristics from low-cost single-screw extruder. Journal of Aquatic Food Product Technology **10**(2):3-15.
- <sup>15</sup>Klein, A. A. 2009. Peletização de rações: aspectos técnicos, custos e benefícios e inovações tecnológicas. Fatec. Available at: [www.fatec.com.br/info\\_tecnicos\\_interna.php?id=14](http://www.fatec.com.br/info_tecnicos_interna.php?id=14) (accessed January 2017)
- <sup>16</sup>Kubitza, F. 2009. Manejo na produção de peixes. Parte 4: Manejo Nutricional e Alimentar. Panorama da Aquicultura **19**:14-27.
- <sup>17</sup>Lamoine, J. and Gaytan, I. 2015. Factores clave para la perfecta aplicación de aditivos en polvo y líquidos al alimento balanceado. Available at: <http://www.engormix.com/MA-balanceados/formulacion/articulos/factores-clave-perfecta-aplicacion-t7355/800-p0.htm>
- <sup>18</sup>Lazari, R., Radunz-Neto, J., Emanuelli, T., Pedron, F. A., Costa, M. L., Losekann, M. E., Correia, V. and Bochi, V. C. 2006. Diferentes fontes protéicas para a alimentação do jundiá (*Rhamdia quelen*). Cienc. Rural **36**:240-246.
- <sup>19</sup>Leeson, S. and Summers, D. J. 2005. Commercial Poultry Nutrition. 3<sup>rd</sup> edn. Nottingham, UK, 398 p.
- <sup>20</sup>Loar II, R. E. and Corzo, A. 2011. Effects of feed formulation on feed manufacturing and pellet quality characteristics of poultry diets. World Poultry Sci. J. **67**:16-27.
- <sup>21</sup>Miller, E. R., Holden, P. J. and Leibrant, V. D. 2006. By-products in swine diets. Purdue University and Cooperative Extension Service, West Lafayette, IN, USA. Available at: <http://aaa.animalgenome.org/edu/PIH/108.html> (accessed January 2017)
- <sup>22</sup>Miranda, E. C., Pezzato, A. C., Pezzato, L. E. and Furuya, W. M. 2000. Disponibilidade aparente de fósforo em ingredientes pela tilápiado-nilo (*Oreochromis niloticus*). Acta Sci. **22**:669-675.
- <sup>23</sup>Moreira, I. S., Peres, H., Couto, A., Enes, P. and Oliva-Teles, A. 2008. Temperature and dietary carbohydrate level effects on performance and metabolic utilisation of diets in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. Aquaculture **274**:153-160.
- <sup>24</sup>Naylor, R. L., Goldburg, R. J., Primavera, J. H., Kautsky, N., Bevedridge, M. C. M., Clay, J., Folke, C., Luncheon, J., Moonmey, H. and Troell, M. 2000. Effects of aquaculture on world fish supplies. Nature **405**:1017-1024.
- <sup>25</sup>Obaldo, L., Dominy, W. G. and Ryu, G. H. 2000. Extrusion processing and its effect on aquaculture diet quality and shrimp growth. J. Appl. Aquacult. **10**:41-53.
- <sup>26</sup>Plattner, B. 2007. Raw materials and their impact on the extrusion of aqua feeds. Sabetha, KS, USA: Wenger Manufacturing. Available at: <http://www.aquafeed.com/docs/ah2007/PLATTNER.pdf> (accessed January 2017).
- <sup>27</sup>Ren, M., Habte-Tision, H. M., Xie, J., Liu, B., Zhou, Q., Ge, X., Pan, L. and Chen, R. 2015. Effects of dietary carbohydrate source on growth performance, diet digestibility and liver glucose enzyme activity in blunt snout bream, *Megalobrama amblycephala*. Aquaculture **438**:75-81.
- <sup>28</sup>Rolfe, L. A., Huff, H. E. and Hsieh, F. 2001. Effects of particle size and processing variables on the properties of an extruded catfish feed. Journal of Aquatic Food Product Technology **10**(3):21-34.
- <sup>29</sup>Sa, L. M. 2005. Ingredientes alternativos na alimentação de suínos - Economia e segurança (Parte II). Artigo técnico. Poli-Nutri Nutrição Animal, Osasco, SP, Brazil. Available at: <http://www.polinutri.com.br/upload/artigo/171.pdf>. (accessed January 2017).
- <sup>30</sup>Soh, J. L. P., Sarkar, S., Heng, P. W. S. and Liew, C. V. 2013. Pelletization techniques. In Swarbrick, J. (ed.). Encyclopedia of Pharmaceutical Science and Technology. 4<sup>th</sup> edn. CRC Press/Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, USA, pp. 2515-2524.
- <sup>31</sup>Seixas-Filho, J. T., Rostagno, H. S., Querioz, A. C., Euclides, R. F. and Barbarino-Junior, P. 1997. Avaliação do desempenho de pós-larvas de camarão-de-água-doce *Macrobrachium rosenbergii* alimentados com dietas balanceadas contendo diferentes substâncias aglutinantes. Rev. Bras. Zootec. **26**:638-644.
- <sup>32</sup>Signor, A. A., Boscolo, W. R., Bittencourt, F., Feiden, A. and Reidel, A. 2008. Farinha de vísceras de aves na alimentação de alevinos de lambari. Cienc. Rural **38**:2339-2344.
- <sup>33</sup>Simon, C. J. 2009. Identification of digestible carbohydrate sources for inclusion in formulated diets for juvenile spiny lobsters, *Jasus edwardsii*. Aquaculture **290**:275-282.
- <sup>34</sup>Stark, C. and Ferket, P. 1994. Conditioning, pelleting, extrusion and cooling. North Carolina State University, College of Agriculture & Life Sciences, North Raleigh, NC, USA. Available at: <https://projects.ncsu.edu/project/feedmill/presentations/Philippines%202011/Conditioning%20Pelleting%20Cooling%202011.pdf>
- <sup>35</sup>Steel, C. J., Leoro, M. G. V., Schmiele, M., Ferreira, R. E. and Chang, Y. K. 2012. Thermoplastic extrusion in food processing. In El-Sonbati, A. (ed.). Thermoplastic Elastomers. InTech, Rijeka, Croatia, pp. 265-290.
- <sup>36</sup>Torres, A. P. 1977. Alimentos e nutrição das aves domésticas. Nobel, São Paulo, SP, Brazil.
- <sup>37</sup>Young, A., Morris, P. C., Huntingford, F. A. and Sinnott, R. 2006. Replacing fish oil with pre-extruded carbohydrate in diets for Atlantic salmon, *Salmo salar*, during their entire marine grow-out phase: Effects on growth, composition and colour. Aquaculture **253**:531-546.
- <sup>38</sup>Zhou, C., Liu, B., Xie, J., Ge, X., Xu, P., Zhou, Q., Pan, L. and Chen, R. 2013. Effect of dietary carbohydrate level on growth performance, blood chemistry, hepatic enzyme activity, and growth hormone gene expression in Wuchang bream (*Megalobrama amblycephala*). Israeli J. Aquacult. **65**:1-8.
- <sup>39</sup>Zhou, C., Ge, X., Niu, J., Lin, H., Huang, Z. and Tan, X. 2015. Effect of dietary carbohydrate levels on growth performance, body composition, intestinal and hepatic enzyme activities, and growth hormone gene expression of juvenile golden pompano, *Trachinotus ovatus*. Aquaculture **437**:390-397.
- <sup>40</sup>United States Patent 2011.

**Anexo B.** Produção das rações, utilizando uma extrusora de parafuso único Brabender™, modelo 20DN.

