

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

Marina Osmari Dalcin

**OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE EXTRUSÃO DE RAÇÃO PADRÃO  
PARA TILÁPIAS DO NILO (*Oreochromis niloticus*)**

Santa Maria, RS  
2020



**Marina Osmari Dalcin**

**OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE EXTRUSÃO DE RAÇÃO PADRÃO PARA  
TILÁPIAS DO NILO (*Oreochromis niloticus*)**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Zootecnia**.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup>. Leila Picolli da Silva  
Coorientadora: Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup>. Naglezi de Menezes Lovatto

Santa Maria, RS

2020

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001

Dalcin, Marina Osmari  
OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE EXTRUSÃO DE RAÇÃO PADRÃO  
PARA TILÁPIAS DO NILO (*Oreochromis niloticus*) / Marina  
Osmari Dalcin.- 2020.  
124 p.; 30 cm

Orientadora: Leila Picolli da Silva  
Coorientadora: Naglezi de Menezes Lovatto  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós  
Graduação em Zootecnia, RS, 2020

1. Extrusada 2. Digestibilidade aparente 3.  
Gelatinização 4. Amido I. da Silva, Leila Picolli II.  
Lovatto, Naglezi de Menezes III. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

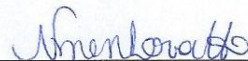
Declaro, MARINA OSMARI DALCIN, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

**Marina Osmari Dalcin**

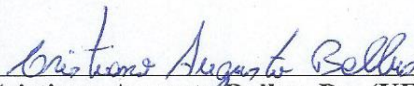
**OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE EXTRUSÃO DE RAÇÃO PADRÃO PARA  
TILÁPIAS DO NILO (*Oreochromis niloticus*)**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Zootecnia.

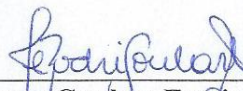
**Aprovado em 13 de março de 2020:**



**Naglezi de Menezes Lovatto, Dra. (UFSM)**  
(Presidente/Coorientadora)



**Cristiano Augusto Ballus, Dr. (UFSM)**



**Fernanda Rodrigues Goulart Ferrigolo, Dra. (UNIPAMPA)**

Santa Maria, RS  
2020



## AGRADECIMENTOS

*Nenhuma batalha é vencida sozinha. No decorrer desta luta, algumas pessoas estiveram ao meu lado e percorreram este caminho como verdadeiros soldados, estimulando que eu buscasse a minha vitória e conquistasse meu sonho.*

*Primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse, ao longo de minha vida, e não somente nestes anos como universitária, mas que em todos os momentos é o maior mestre que alguém pode conhecer.*

*À UFSM pelo ambiente criativo e amigável que proporciona.*

*Agradeço a todos os professores por me proporcionar o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional, por tanto que se dedicaram a mim, não somente por terem me ensinado, mas por terem me feito aprender. Em especial, a minha coorientadora e professora Naglezi de Menezes Lovatto pela oportunidade, pelo apoio, confiança e conselhos, o meu muito obrigada.*

*Agradeço a minha mãe Ilda, heroína que me deu apoio, incentivo nas horas difíceis, de desânimo e cansaço. Ao meu pai Décio que apesar de todas as dificuldades me fortaleceu e que para mim foi muito importante. Obrigada aos meus irmãos Mateus e Marcelo, que nos momentos de minha ausência dedicados à pós-graduação, sempre fizeram entender que o futuro é feito a partir da constante dedicação no presente!*

*Agradeço ao meu namorado Vinícius, que jamais me negou apoio, carinho e incentivo. Obrigado, amor da minha vida, por aguentar tantas crises de estresse e ansiedade. Sem você do meu lado esse trabalho não seria possível.*

*Meus agradecimentos aos amigos, mais que amigos, irmãos de fé que fizeram parte da minha formação, sempre estiveram comigo nos momentos bons e ruins e que vão continuar presentes em minha vida com certeza o meu muito obrigada.*

*Ao pessoal do Laboratório de Piscicultura/UFSM que desde 2013 me acolheu, me ajudando em todos os sentidos, em especial aos meus queridos estagiários pela ajuda para realização desta pesquisa, o meu eterno agradecimento.*

*E por último e não menos importante, aos meus animais de estimação que nos momentos mais difíceis era eles a quem eu recorria e tirava forças para superar e seguir em frente, meu cavalo Farrapo e meu gato Tom.*





“Há situações em que talvez seja melhor engolir o grito  
com água quente e erva mate.”

*Humberto Gessinger*



## RESUMO

### OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE EXTRUSÃO DE RAÇÃO PADRÃO PARA TILÁPIAS DO NILO (*Oreochromis niloticus*)

AUTORA: Marina Osmari Dalcin  
ORIENTADORA: Leila Picolli da Silva  
COORIENTADORA: Naglezi de Menezes Lovatto

Este estudo teve como objetivo avaliar diferentes condições de extrusão, temperatura e umidade de ração padrão contendo amido de milho e farinha de peixe como macro nutrientes, bem como as propriedades físico-químicas e tecnológicas dos extrusados além da avaliação de digestibilidade aparente em tilápias do Nilo. A melhor condição de extrusão foi estabelecida utilizando delineamento composto central rotacional com temperatura de saída (92 – 138°C) e umidade (15 – 39%) como variáveis independentes, e fluatibilidade e teor de amido disponível como resposta. Através deste planejamento experimental, foram realizados 11 testes. O maior teor foi encontrado no experimento 1, no qual empregou-se 100°C como temperatura de saída e 15% de umidade. Através das imagens obtidas pela microscopia eletrônica de varredura, nota-se a presença de poros de diferentes tamanhos, com predominância de poros de diâmetro pequeno, indicando boa expansão e desenvolvimento do amido. Posteriormente, foram determinados os coeficientes de digestibilidade aparente da matéria seca (MS), proteína bruta (PB), matéria mineral (MM), matéria orgânica (MO) e extrato etéreo (EE) de duas dietas, uma na forma extrusada e outra, peletizada para exemplares de tilápias do Nilo, sendo ambas dietas com mesma composição nutricional. Foram avaliados índices digestivos e atividades de enzimas digestivas. Doze exemplares de tilápias do Nilo foram distribuídos aleatoriamente em seis incubadoras (200 L), o delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com dois tratamentos e três repetições. Os dados foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo teste t de Student ( $P < 0,05$ ). Não houve diferença estatística nos parâmetros avaliados, exceto na composição centesimal das rações (MS, MM e EE) e fezes (PB), e o coeficiente de digestibilidade aparente de extrato etéreo. Em suma, ambas as dietas, tanto extrusadas quanto peletizadas usando os mesmos procedimentos empregados podem ser utilizadas para tilápias do Nilo, não interferindo nos parâmetros avaliados. Vale enfatizar que o processo de extrusão, nas condições testadas, melhorou a digestibilidade da proteína, reduzindo a excreção deste nutriente através das fezes em comparação à dieta peletizada.

**Palavras-Chave:** Extrusada. Digestibilidade. Gelatinização. Amido



## ABSTRACT

### OPTIMIZATION OF THE STANDARD FEED EXTRUSION PROCESS FOR NILE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*)

AUTHOR: Marina Osmari Dalcin  
ADVISOR: Leila Picolli da Silva  
COORIENTADOR: Naglezi de Menezes Lovatto

This study aimed to evaluate different extrusion conditions, temperature and humidity of standard feed containing corn starch and fish meal as macro nutrients, as well as the physical-chemical and technological properties of the extrudates in addition to the evaluation of apparent digestibility in Nile tilapia. . The best extrusion condition was established using a central rotational composite design with outlet temperature (92 - 138 ° C) and humidity (15 - 39%) as independent variables, and buoyancy and available starch content as an answer. Through this experimental planning, 11 tests were carried out. The highest content was found in experiment 1, in which 100°C was used as the outlet temperature and 15% humidity. Through the images obtained by scanning electron microscopy, the presence of pores of different sizes is noted, with a predominance of pores of small diameter, indicating good expansion and development of starch. Subsequently, the apparent digestibility coefficients of dry matter (DM), crude protein (CP), mineral matter (MM), organic matter (OM) and ether extract (EE) of two diets were determined, one in extruded form and the other, pelleted for Nile tilapia specimens, both diets with the same nutritional composition. Digestive indexes and digestive enzyme activities were evaluated. Twelve specimens of Nile tilapia were randomly distributed in six incubators (200 L), the experimental design was completely randomized, with two treatments and three replications. The data were subjected to analysis of variance and the means compared by Student's t test ( $P < 0.05$ ). There was no statistical difference in the parameters evaluated, except in the centesimal composition of the diets (DM, MM and EE) and feces (CP), and the apparent digestibility coefficient of ether extract. In short, both diets, both extruded and pelleted using the same procedures employed, can be used for Nile tilapia, without interfering with the evaluated parameters. It is worth emphasizing that the extrusion process, under the conditions tested, improved the digestibility of the protein, reducing the excretion of this nutrient through the feces compared to the pelleted diet.

**Keywords:** Extruded. Digestibility. Gelatinization. Starch



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### **Revisão bibliográfica**

Figura 1 – Esquema do processo de extrusão.....31

### **Artigo I**

Figura 1 – Imagens transversal (A) e superficial (B) da dieta selecionada.....64





## LISTA DE TABELAS

### Artigo I

Tabela 1 – Composição da dieta padrão (g/100 g base seca) .....	65
Tabela 2 – Delineamento experimental para otimização das melhores condições de extrusão com variáveis testadas e respostas obtidas (flutuabilidade e amido disponível) ....	66
Tabela 3 – Composição físico-química da dieta selecionada .....	67
Tabela 4 – Características físico-químicas e tecnológicas da dieta selecionada .....	68

### Artigo II

Tabela 1 – Composição da dieta padrão com óxido de cromo III (g/100 g base seca) .....	94
Tabela 2 – Composição centesimal (%) das dietas e das fezes de tilápias do Nilo submetidas aos tratamentos .....	95
Tabela 3 – Composição corporal do peixe inteiro (%) de tilápias do Nilo ( <i>Oreochromis niloticus</i> ) alimentadas com dietas extrusada e peletizada .....	96
Tabela 4 – Rendimento de carcaça e índices digestivos de tilápias do Nilo ( <i>Oreochromis niloticus</i> ) alimentadas com dietas extrusada e peletizada .....	97
Tabela 5 – Atividade de enzimas digestivas* de <i>Oreochromis niloticus</i> recebendo dietas experimentais .....	98
Tabela 6 – Coeficientes de digestibilidade aparente (CDA %) da matéria seca (MS), proteína bruta (PB) matéria mineral (MM), matéria orgânica (MO) e extrato etéreo (EE) das dietas avaliadas .....	99



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

$\mu\text{m}$	Micrômetro
AD	Amido disponível
atm	Atmosfera
BTEE	Éster etílico de benzoíl-L-tirosina
CDA EE	Coefficiente de digestibilidade aparente do extrato etéreo
CDA MM	Coefficiente de digestibilidade aparente da matéria mineral
CDA MO	Coefficiente de digestibilidade aparente da matéria orgânica
CDA MS	Coefficiente de digestibilidade aparente da matéria seca
CDA PB	Coefficiente de digestibilidade aparente da proteína bruta
CDA	Coefficiente de digestibilidade aparente
CLO	Capacidade de ligação ao óleo
$\text{Cr}_2\text{O}_3$	Óxido de cromo III;
CRA	Capacidade de retenção de água
DA	Densidade aparente
DCCR	Delineamento Composto Central Rotacional
EE	Extrato etéreo
$\text{g kg}^{-1}$	Gramas por quilo
$\text{g/cm}^3$	Gramas por centímetro cúbico
$\text{g/l}$	Gramas por litro
HTST	<i>High temperature short time</i>
IAA	Índice de absorção de água
IDS	Índice digestivo-somático
IER	Índice de expansão radial
IHS	Índice hepato-somático
ISA	Índice de solubilidade em água
kcal	Quilocaloria
kcal/kg	Quilocaloria por quilo
kPa	Quilopascal
kV	Kilovolt
$\text{mg/l}$	Miligramas por litro
MM	Matéria mineral
mm	Milímetro
mm	Milímetro
mM	Milimolar
MO	Matéria orgânica
MS	Matéria seca
nm	Nanômetro
PB	Proteína bruta
ppm	Parte por milhão
QI	Quociente intestinal
RC	Rendimento de carcaça
rpm	Rotações por minuto
TAME	Cloridrato de éster de metil- $\alpha$ -p-toluenossulfonil-L-arginina e metílico



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	25
1.1	OBJETIVOS .....	26
1.1.1	Objetivo geral .....	26
1.1.2	Objetivos específicos .....	26
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	29
2.1	PROCESSAMENTO DE RAÇÕES .....	29
2.2	PROCESSO DE EXTRUSÃO .....	30
2.3	INFLUÊNCIA DA UMIDADE E TEMPERATURA NA EXTRUSÃO COM ÊNFASE NA GELATINIZAÇÃO DO AMIDO .....	32
2.4	ASPECTOS SOBRE TILÁPIAS DO NILO .....	34
<b>3</b>	<b>ARTIGO I</b> .....	36
	RESUMO .....	38
	INTRODUÇÃO .....	39
	MATERIAL E MÉTODOS .....	41
	RESULTADOS .....	45
	DISCUSSÃO .....	47
	CONCLUSÃO .....	54
	AGRADECIMENTOS .....	54
	REFERÊNCIAS .....	54
<b>4</b>	<b>ARTIGO II</b> .....	69
	RESUMO .....	70
	INTRODUÇÃO .....	71
	MATERIAL E MÉTODOS .....	74
	RESULTADOS .....	79
	DISCUSSÃO .....	80
	CONCLUSÃO .....	87
	AGRADECIMENTOS .....	87
	REFERÊNCIAS .....	87
<b>5</b>	<b>DISCUSSÃO GERAL</b> .....	100
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO GERAL</b> .....	103
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	104
	<b>APÊNDICE A – Figuras referentes à metodologia do Artigo I</b> .....	110
	<b>APÊNDICE B – Figuras referentes à metodologia do Artigo II</b> .....	112
	<b>ANEXO A - Normas da revista Animal Feed Science and Technology</b> .....	116
	<b>ANEXO B - Normas da revista Anais da Academia de Ciências</b> .....	123



## 1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas a aquicultura vem aumentando sua contribuição na produção mundial de alimentos, sem estagnação prevista para os próximos anos. O Brasil, atualmente ocupa o 15º lugar na produção mundial de peixes cultivados (MEDEIROS, 2018), com previsão de aumento de 104% no consumo do pescado até 2025 (FAO, 2016). Essa expansão provocará aumento exponencial na demanda de rações.

As rações são matematicamente formuladas para atender as exigências nutricionais de distintas espécies, contudo são pouco estudadas quanto à influência de variantes tecnológicas de fabricação sobre índices digestivos de peixes. Manter ou melhorar a qualidade nutricional dos alimentos durante o processamento é uma linha de pesquisa que tem despertado grande interesse na nutrição animal (MARQUES, 2018).

Considerando que as rações representam de 40 a 60% do custo total de produção (SCORVO FILHO et al., 2010), é importante conhecer todas as variáveis que podem influenciar no aproveitamento desse insumo em sistemas de produção aquícolas, principalmente aquelas que dizem respeito ao processamento das rações.

As principais formas de processamento em rações para organismos aquáticos são peletização e extrusão (MORO e RODRIGUES, 2015). Ambos envolvem a mistura de ingredientes, moagem e modificação das partículas, tendo sempre como foco principal atender as necessidades nutricionais dos peixes. A mistura de ingredientes que compõe a ração é prensada (peletizada) ou expandida (extrusada), formando pellets que devem sempre se mostrar com boa estabilidade física em água, além de granulometria e densidade adequadas para cada fase de crescimento e hábito alimentar da espécie (FRACALOSSO e CYRINO, 2013).

No processo de extrusão há combinação de elevadas temperaturas em curto espaço de tempo (*High Temperature Short Time* ou HTST) (KIANG; RAMOS, 1993). Esse processo acarreta modificações físico-químicas no alimento, podendo ocasionar melhora na digestibilidade das frações de proteína e amido. Na extrusão, aspectos como temperatura, umidade, tempo de armazenamento e propriedades físico-químicas, tais como a gelatinização e a retrogradação do amido influem expressivamente sobre a velocidade de digestão e aproveitamento metabólico dos nutrientes pelos animais (LOBO e LEMOS SILVA, 2003).

Na classe dos carboidratos, o amido é considerado a fração mais digestível de acordo com a atividade enzimática dos peixes, e também com os hábitos alimentares (KAUSHIK,

2001). Além disso, o amido é o principal responsável pelas propriedades tecnológicas que caracterizam grande parte dos produtos processados (SINGH et al., 2003). A quantidade mínima de amido necessária para garantir benéfica flutuabilidade em dietas para peixes é de 20% (MORO e RODRIGUES, 2015). Além disso, o processo de gelatinização do amido durante a extrusão aumenta sua digestibilidade para espécies com diferentes hábitos alimentares tais como: o onívoro *Piaractus mesopotamicus* (HONORATO et al., 2010) e os carnívoros *Oncorhynchus mykiss* (CHENG e HARDY, 2003) e *Salminus brasiliensis* (MORO, SILVA e CYRINO, 2015).

Entre as espécies cultivadas, a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) tem despontado em produtividade devido a sua precocidade produtiva e adaptabilidade a distintos sistemas de cultivo. Devido ao seu hábito alimentar onívoro e pouco restritivo quanto às variações de ingredientes da dieta (ZIMMERMANN e HASPER, 2003) é uma espécie que merece especial atenção quanto à produção intensiva. A fim de minimizar os custos de produção, busca-se melhorar a eficiência alimentar e minimizar impactos ambientais sobre o sistema de cultivo.

Melhoras nos parâmetros zootécnicos podem ser alcançadas pelo aprimoramento na tecnologia de processamento das rações, dessa forma, modificações nas condições de extrusão em dietas para peixes podem auxiliar na melhora da digestibilidade e consequente conversão alimentar.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Avaliar diferentes condições de extrusão, temperatura e umidade de ração padrão para tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*).

### 1.1.2 Objetivos específicos

1. Definir a melhor combinação de temperatura e umidade no processo de extrusão, através de delineamento composto central rotacional;
2. Analisar as propriedades físico-químicas e tecnológicas da ração extrusada sob a melhor combinação de temperatura e umidade;



3. Avaliar a digestibilidade aparente da ração padrão com amido de milho, na forma peletizada e extrusada (após padronização da melhor temperatura e umidade).

O presente estudo foi desenvolvido em duas fases. A primeira consistiu na definição da melhor combinação de temperatura e umidade no processo de extrusão de uma ração padrão de peixes. Na segunda fase, a melhor combinação foi fornecida para tilápias do Nilo, avaliando a digestibilidade aparente. Os resultados estão apresentados na forma de artigos científicos. O artigo I corresponde a avaliação de diferentes temperaturas e teores de umidade e suas influências no processo de extrusão e na qualidade do produto final. No artigo II, avaliou-se a digestibilidade aparente de rações, extrusada e peletizada.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 PROCESSAMENTO DE RAÇÕES

De acordo com Fracalossi e Cyrino (2013), a produção de rações para alimentação de peixes pode ser processada por dois principais métodos, que são a peletização ou a extrusão. Ambos envolvem a mistura de ingredientes, moagem e modificação das partículas, tendo como objetivo principal atender as necessidades nutricionais dos peixes. A mistura dos ingredientes que compõe a ração é prensada (peletizada) ou expandida (extrusada), formando pellets, que devem sempre se mostrar com boa estabilidade física em água, além de granulometria e densidade adequadas para cada fase de crescimento e hábito alimentar da espécie.

O meio aquático influencia negativamente nos estudos com nutrição de peixes, dificultando a observação na quantidade de ração consumida. Além disso, as perdas de nutrientes por lixiviação, podem influenciar diretamente no desenvolvimento dos peixes, piorando a eficiência de utilização dos alimentos ou, indiretamente, provocando queda na qualidade da água (FURUYA et al., 1998). No estudo de Li (2018), *Ctenopharyngodon idella* alimentadas com ração extrusada apresentaram maior eficiência de retenção proteica, eficiência de retenção lipídica e menor conversão alimentar aparente quando comparados aos peixes que receberam ração peletizada. Para grande parte dos peixes de água doce cultivados a flutuabilidade da ração é uma característica importante que permite visualizar o consumo alimentar dos peixes na superfície da água, servindo de indicativo do apetite (FRACALOSSO e CYRINO, 2013).

Dentre os métodos de processamento de rações para peixes, a extrusão utiliza alta temperatura e pressão, causando modificações físico-químicas nos alimentos, provocando gelatinização do amido e exposição de nutrientes contidos no interior das células vegetais à ação digestiva (KIANG, 1993). Dentre as vantagens obtidas nesse processo, destacam-se a melhora na digestibilidade do amido, da proteína e da gordura, sendo possível obter alimentos de menor densidade que flutuam na água; eliminação de fatores antinutricionais, pela maior temperatura durante o processamento, quando comparada à peletização (RAMOS, 1993).

Embora a extrusão resulte em aumento no custo final do produto, em relação à dieta peletizada, este custo adicional se dilui, pela melhora na conversão alimentar dos peixes, e menor deterioração da qualidade da água, possibilitando o crescimento mais rápido dos peixes

e o melhor aproveitamento dos nutrientes e reduzindo os custos do alimento por unidade de peixe produzida (KUBITZA, 1997).

Alguns estudos compararam os efeitos da dieta extrusada e da dieta peletizada no crescimento e na utilização de alimentos para peixes. A espécie *Sparus aurata* alimentada com dieta extrusada contendo 512 g kg<sup>-1</sup> de proteína bruta na matéria seca apresentou maior ganho em peso, utilização de alimento e retenção de proteína e energia do que os peixes alimentados com ração peletizada com a mesma composição (VENOU et al., 2009). Para *Bidyanus bidyanus*, o coeficiente de digestibilidade aparente da matéria seca, energia, ganho total e a eficiência alimentar, foram significativamente melhorados pela extrusão quando comparados com a dieta peletizada (BOOTH e EVANS, 2002).

Ma et al. (2015) compararam os efeitos de peletização e extrusão sob diferentes níveis de proteína bruta (PB) na dieta, e encontraram que as dietas extrusadas para *Oreochromis niloticus* com 280 ou 250 g kg<sup>-1</sup> de PB na matéria seca resultaram no melhor crescimento quando comparadas aos animais alimentados com ração peletizada com os mesmos níveis de proteína bruta. Furuya et al. (1998) compararam rações peletizadas e extrusadas para machos revertidos de *Oreochromis niloticus* e verificaram maior taxa de uniformidade com a dieta extrusada, o que possivelmente ocorreu devido a sua melhor distribuição pelo tanque, em função da menor densidade.

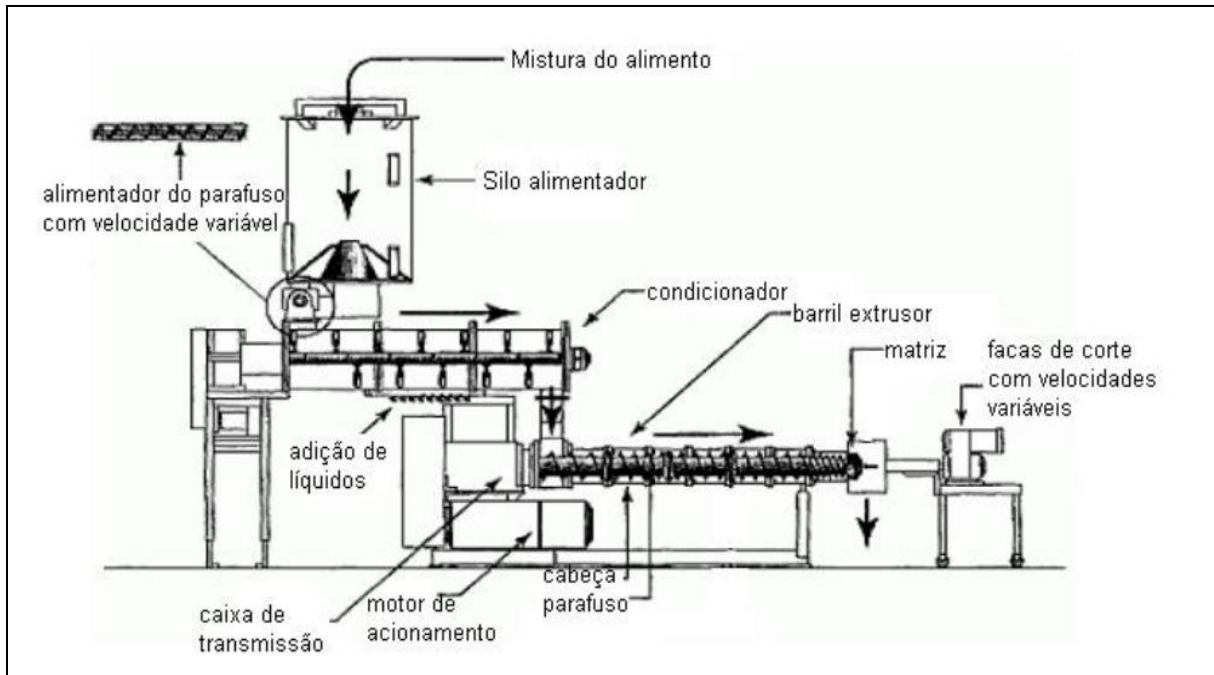
## 2.2 PROCESSO DE EXTRUSÃO

O processo de extrusão é composto por um silo de alimentação, condicionador, extrusor e conjunto de matriz e corte (Figura 1). O silo alimentador tem como função fazer com que a mistura seca tenha um fluxo contínuo com controle de alimentação para o condicionador e, conseqüentemente, ao canhão extrusor. O condicionador é utilizado na produção de alimentos para animais de companhia desde 1960 e é responsável pelo aquecimento, hidratação e mistura do material seco. Este, contém um ou dois elementos transportadores e misturadores, que consistem em eixos rotativos com batedores ou pás em linhas ou radiais, fixados nestes eixos (SOUZA, 2010).

Enquanto a mistura está no condicionador, a água e vapor são adicionados. A água é introduzida na parte superior do condicionador com o auxílio de aspersores, enquanto o vapor é adicionado pela parte inferior do corpo do condicionador. O objetivo desta adição é elevar a temperatura e umidade da mistura para aumentar a estabilidade da extrusora e a qualidade do

produto final. A umidade da matéria prima fica em torno de 10 a 25% e a temperatura da mistura entre 70 e 90°C (RIAZ, 2003).

Figura 1 – Esquema do processo de extrusão.



Fonte: Adaptado de Food Engineering World (2012).

Após o período em que o material atravessa o condicionador o mesmo passa para o canhão extrusor. O extrusor tem a finalidade de realizar a maior parte do processo de extrusão e, conseqüentemente, a gelatinização do amido contido no produto. O extrusor é dividido em três fases: setor de alimentação, setor de cisalhamento e setor final ou cocção. O setor de alimentação tem a função de transportar o material condicionado para o interior do canhão. Já o setor de cisalhamento é responsável pela transformação da mistura em uma massa amórfica. Por fim, o setor de cocção é a parte imediatamente anterior ao sistema de matriz e ao corte. No extrusor ocorre a maior alteração do material que foi parcialmente cozido no condicionador. Esta transformação determina as características finais do produto (ROKEY, PLATTNER e SOUZA, 2012).

O extrusor pode possuir sistema mono rosca ou dupla rosca. O extrusor mono rosca é o mais utilizado para produção de alimentos secos para animais de companhia e rações para animais de produção (ROKEY, PLATTNER e SOUZA, 2012). A dupla rosca por sua vez, pode hidrolisar e modificar o amido, diminuir fatores antinutricionais de algumas matérias

primas (soja e sorgo, por exemplo), reduzir a quantidade de microrganismos e melhorar a qualidade sensorial dos alimentos (HEIDENREICH e MICHAELSEN, 1994).

O canhão é um tubo com sistema de rosca-sem-fim. Este sistema de rosca tem o intuito de comprimir a massa e dessa maneira gerar energia mecânica. A ação da rosca, que pode ser simples ou dupla, criará energia térmica por meio do atrito. Quando isso acontece, a temperatura da massa é elevada e ocorre a gelatinização do amido (CHUANG e YEH, 2004). Para auxiliar o aumento da temperatura é possível realizar injeção de vapor direto na massa (ABECASSIS et al., 1994). No momento que o vapor é injetado no canhão extrusor há grande contribuição para o cozimento do alimento, pois, esta energia térmica adicional pode aumentar a capacidade da extrusão e melhorar a qualidade de fórmulas com maior teor de gordura. A correta adição de umidade e configuração dos elementos do extrusor proporcionará pressão de 34 a 37 atm, temperatura entre 125 a 150°C e umidade do material entre 23 a 28% (ROKEY, PLATTNER e SOUZA, 2012).

Por fim, o processo de extrusão apresenta o sistema de matriz e corte que possui duas funções: restringir a saída da mistura para criar a pressão necessária para a aplicação da energia mecânica e, alterar o formato final do extrusado através do formato do orifício da matriz e da velocidade de corte das facas (COWELL et al., 2000).

### 2.3 INFLUÊNCIA DA UMIDADE E TEMPERATURA NA EXTRUSÃO COM ÊNFASE NA GELATINIZAÇÃO DO AMIDO

O amido não é somente uma importante fonte de energia para os peixes, como também é necessário para garantir o sucesso no processo de granulação das rações, particularmente o processamento por extrusão (RIAZ, 2003; ROKEY, PLATTNER e SOUZA, 2012). Alguns parâmetros físico-químicos do amido podem afetar a digestibilidade em um alimento. Fatores como gelatinização, grau de cristalinidade, forma física e tipo de processamento, podem influenciar no aproveitamento deste polissacarídeo, além de interações ocorridas entre esta substância e outros constituintes do alimento (LOBO e LEMOS SILVA, 2003). O uso recomendado de amido, para o processamento de dietas para organismos aquáticos, de acordo com Riaz (2003) e Rokey, Plattner e Souza (2012) é acima de 20%.

O processamento da dieta, como peletização ou extrusão, pode alterar o estado físico do amido melhorando sua utilização pelos peixes. A combinação de atrito mecânico, umidade, altas temperaturas e pressão resultam na perda, muitas vezes irreversível, da estrutura cristalina do grânulo de amido, deixando-o com aspecto gelatinizado, quando presente em

ingredientes vegetais (CHENG e HARDY, 2003; NRC, 2011) e melhora sua utilização pelos peixes (HONORATO et al., 2010).

A umidade e a temperatura são fatores relacionados à qualidade do alimento, devido à possibilidade de desenvolvimento de microrganismos, que podem ser nocivos e prejudicar a saúde do animal (KRABBE, 2009). A variação de temperatura pode influenciar no aumento ou diminuição da umidade e atividade de água, consequentemente afetando o produto final. A massa de ingredientes que sai da extrusora (extrusado) é encaminhada para o secador, onde a umidade é diminuída, porém a temperatura permanece elevada. Essa temperatura deve ser reduzida antes do empacotamento, para que não ocorra condensação da água, o que resultaria no aumento da atividade de água do alimento e consequente desenvolvimento microbiano (GARBELLOTTI, 2014).

De acordo com Garbellotti (2014), a adição de umidade total e temperatura do produto são condições de processamento que podem ser controlados para atingir os resultados desejados. A injeção de vapor no condicionador pode elevar a umidade do substrato por cerca de 5 a 7%. A temperatura da massa úmida é rapidamente elevada no tempo final de permanência dentro do tambor da extrusora. O aumento da temperatura no cilindro da extrusora se dá através da energia mecânica dissipada através do parafuso rotativo, que pode ser alterado conforme os elementos da rosca e de alturas diferentes.

A injeção de vapor na extrusora também é um fator que contribui para o cozimento. A entrada adicional de energia resulta em aumento de capacidade, mais tolerância para níveis elevados de gordura nas formulações e exigências reduzidas para grandes motores de acionamento. A rotação da rosca resulta em pressão final do extrusado de 34 a 37 atm, temperatura de 125 a 150°C e teor de 23 a 28% de umidade (ROKEY, PLATTNER e SOUZA, 2012).

Os efeitos de diferentes níveis de cisalhamento, nível de umidade dos extrusados, temperatura de descarga do pré-condicionador na gelatinização do amido, estabilidade dos pellets e desempenho no crescimento e na conversão alimentar do *Litopenaeus vannamei* foram estabelecidos por Obaldo, Dominy e Ryu (2000) para os processos de extrusão úmida e seca. 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 extrusado. Altas temperaturas de pré-condicionamento e níveis de cisalhamento, produziram alimentos que favoreceram o crescimento e conversão alimentar de camarões. Enquanto

extrusados contendo 20 a 35% de umidade proporcionaram pellets com maior estabilidade em água, o 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 em água. Os níveis de umidade variaram de 20 a 22% e produziram o melhor crescimento em camarão.

## 2.4 ASPECTOS SOBRE TILÁPIAS DO NILO

A larga produção de tilápias no Brasil é explicada, em parte, pelas vastas pesquisas efetuadas em relação à espécie, que oferecem maior suporte ao desenvolvimento de diferentes técnicas de manejo e produção (RODRIGUES et al., 2017).

A tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) é uma das espécies de peixes mais cultivada no mundo, por apresentar características fortemente desejáveis, como: rápido crescimento e rusticidade (CASTAGNOLLI, 1992), facilidade na reprodução em cativeiro e boa adaptação a produção nos diversos sistemas de cultivo (AYROZA et al., 2006). Além disso, possui aceitação de rações artificiais desde o estágio larval (ZIMMERMANN e FITZSIMMONS, 2004), hábito alimentar onívoro, possuindo adaptações morfológicas e fisiológicas que permitem utilizar eficientemente os carboidratos como fonte de energia (TENGGAROEK et al., 2000), promovendo a redução nos custos com a alimentação pela possibilidade de inclusão de ingredientes de origem vegetal (PEZZATO et al., 2002).

Uma particularidade dessa espécie é o maior crescimento dos machos quando comparados com as fêmeas e, em função disso, tem sido preconizado o cultivo somente de machos, que podem ser obtidos através do uso de hormônios esteroides durante o período de diferenciação sexual (FURUYA et al., 1998). Outra vantagem desta prática é a incapacidade de reprodução, visto que, a tilápia é uma espécie precoce e se reproduz rapidamente quando machos e fêmeas são cultivados juntos, o que não é desejável nos sistemas de cultivo, pois ocorrem reduções no desempenho (ganho de peso) e elevação na densidade de estocagem.

Vários são os produtos industrializados derivados da Tilápia, mas o mais apreciado mundialmente é o filé, em função de suas características sensoriais e nutricionais (MEURER, 2005) e inexistência de espinhos em forma de “y”.

Tilápias aproveitam muito bem os carboidratos e as gorduras como fonte de energia. Isto permite poupar a proteína das rações para uso predominante no crescimento. Conhecer a



energia digestível dos alimentos é fundamental na formulação de rações suplementares e completas. O balanço entre a energia digestível e a proteína nas rações é fundamental para maximizar a eficiência alimentar e o crescimento dos peixes (KUBITZA, 2011).

Os estudos de digestibilidade viabilizam a utilização de vários alimentos em dietas balanceadas para peixes (PEZZATO et al., 2002). Diversos fatores influenciam a digestibilidade, tais como a composição do alimento, o tipo de processamento e a metodologia utilizada variando de acordo a espécie e idade dos animais (SATO, 2016).

De acordo com Pezzato et al. (2002), somente a partir de rações com altos coeficientes de digestibilidade será possível obter melhores respostas de conversão alimentar, maximizar os lucros e, principalmente, minimizar o impacto ambiental que alguns desses ingredientes podem proporcionar.

Os processos de extrusão ou peletização são constantemente utilizados na fabricação de rações para peixes. As extrusadas são predominantes sobre as peletizadas no Brasil, pois suas características vantajosas permitem que a mistura alimentar se submeta a um tempo mais longo de cozimento, agregando assim, maior quantidade de umidade sob pressão, temperaturas mais elevadas e permitindo controlar a densidade dos pellets da ração, que é diretamente proporcional à velocidade de afundamento em água (CYRINO e FRACALOSSO, 2012).

### **3 ARTIGO I**

O artigo científico intitulado “Efeito da temperatura e umidade no processo de extrusão de dieta para peixes: avaliação das propriedades físico-químicas e tecnológicas” foi submetido para a revista *Animal Feed Science and Technology* e está formatado segundo as normas descritas no Guia dos Autores (Anexo A).

1 Efeito da temperatura e umidade no processo de extrusão de dieta para peixes: avaliação das  
2 propriedades físico-químicas e tecnológicas

3

4 \*Autor correspondente: Tel: (55) 3220-8365; E-mail: dalcinmarinaosmari@yahoo.com.br

## 5 **Resumo**

6 O objetivo do trabalho foi estabelecer a melhor condição de extrusão de uma ração padrão  
7 para peixes, contendo amido de milho e farinha de peixe como macro nutrientes. Foi  
8 estabelecida utilizando delineamento composto central rotacional, com temperatura de saída e  
9 umidade como variáveis independentes, e fluatibilidade e teor de amido disponível como  
10 resposta. Para isso, avaliou-se o efeito da extrusão sobre as características físico-químicas e  
11 tecnológicas da ração selecionada. A dieta foi formulada de acordo com as exigências  
12 nutricionais de Tilápias do Nilo, apresentando 27% de proteína bruta e 3075 kcal de energia  
13 digestível calculada. O ensaio foi realizado utilizando delineamento composto central  
14 rotacional (DCCR) com duas variáveis independentes ( $2^2$ ) – temperatura de saída (92 –  
15 138°C) e umidade da mistura (15 – 39%). Através deste planejamento experimental, foram  
16 realizados 11 testes e definidas as melhores condições para fluatibilidade e do teor de amido  
17 disponível. Foram realizadas análises físico químicas e tecnológicas. Como resultados, a  
18 fluatibilidade variou de 0 a 100%. Fluatibilidade de 100% foi observada nos experimentos 1,  
19 3, 4 e 11, os quais apresentaram temperatura final de 100, 130 e 120°C, respectivamente, o  
20 que indica que esta característica não sofreu influência das temperaturas de saída empregadas  
21 no processo de extrusão. Teores acima de 40 g/100 g de amido disponível foram encontrados  
22 nos experimentos 1, 4, 5 e 9, indicando que temperaturas entre 92°C e 130°C e umidade entre  
23 15 e 35% provocam completa gelatinização do amido e assim melhoram a disponibilidade do  
24 amido para a ação das enzimas. O maior teor foi encontrado no experimento 1, no qual  
25 empregou-se 100°C como temperatura de saída e 15% de umidade. Em relação às  
26 características físico-químicas e tecnológicas da dieta selecionada, nota-se que esta apresentou  
27 alta densidade e, conseqüentemente, baixo índice de expansão radial. Através das imagens  
28 obtidas pela microscopia eletrônica de varredura, nota-se a presença de poros de diferentes  
29 tamanhos, com predominância de poros de diâmetro pequeno, indicando boa expansão e

30 desenvolvimento do amido. O teor de amido disponível e a flutuabilidade atuaram de forma  
31 significativa na determinação da escolha das melhores condições de extrusão, indicando  
32 assim, a sua utilização para a elaboração de ração extrusada com temperatura de 100°C e  
33 umidade de 15%.

34 *Palavras-chave: amido disponível, flutuabilidade, processamento de rações, tilápias do Nilo*

35

## 36 **1. Introdução**

37 A extrusão de alimentos apresenta ampla aplicabilidade, tanto na alimentação humana,  
38 quanto na alimentação animal. Na alimentação animal a extrusão é largamente empregada  
39 para a produção de alimentos destinados a organismos aquáticos (peixes, camarões etc.), cães  
40 e gatos (Gonçalves, 2016).

41 Com destaque à produção e alimentação de organismos aquáticos, deve-se levar em  
42 consideração que a aquicultura aumentou sua contribuição na produção mundial de alimentos,  
43 sem estagnação prevista para os próximos anos (FAO, 2016). Essa rápida expansão, ocasiona  
44 aumento exponencial na demanda de rações que, conseqüentemente, acarreta trabalho intenso  
45 no processamento de dietas que apresentem melhora na digestibilidade (Umar, Kamuradin e  
46 Ramezani-Fard, 2013).

47 A extrusão, um dos métodos de processamentos de alimentos para aquicultura, ocorre  
48 sob combinação de elevadas temperaturas em curto espaço de tempo (*High Temperature*  
49 *Short Time* ou HTST). Por meio deste processo, ocorrem modificações físico-químicas no  
50 alimento, as quais ocasionam melhora na digestibilidade da fração da proteína e do amido,  
51 através de sua gelatinização e retrogradação e influenciam a velocidade de digestão e o  
52 aproveitamento metabólico dos nutrientes pelos animais (Lobo e Lemos Silva, 2003).

53 De acordo com Alam et al. (2016), a extrusão torna-se popular em relação a outros  
54 métodos de processamento de alimentos, devido ao seu controle automatizado, capacidade de

55 operação contínua, alta produtividade, adaptação e versatilidade e eficiência energética. Além  
56 disso, a extrusão de alimentos permite o desenvolvimento de produtos novos e de alta  
57 qualidade, com aparência e forma únicas e diferenciadas, aliado a um baixo custo e geração  
58 inexpressiva de efluentes (Faraj, Vasanthan e Hoover, 2004).

59 No entanto, a extrusão é um processo complexo, cuja qualidade do produto é  
60 altamente variável, dependendo do tipo de equipamento, velocidade e configuração do  
61 parafuso, temperatura no barril, perfil do molde, taxa de alimentação e umidade da mistura  
62 (Mercier, 1977, Chinnaswamy e Hanna, 1988). Esses fatores tornam a formulação e o  
63 processamento de alimentos os principais desafios que a indústria de alimentos para peixes  
64 enfrenta. A umidade e a temperatura empregadas no processo de extrusão são fatores que  
65 estão diretamente relacionados à qualidade do alimento (Krabbe, 2009), visto que são  
66 imprescindíveis para a completa gelatinização do amido. A temperatura também influencia no  
67 aumento ou diminuição da umidade e atividade de água do produto final e, conseqüentemente,  
68 no desenvolvimento de microrganismos, que podem ser nocivos e prejudicar a saúde do  
69 animal. Por isto, estes parâmetros devem ser otimizados a fim de obter produtos de qualidade  
70 satisfatória tanto tecnológica quanto nutricionalmente.

71 Segundo Chang e Wang (1999), a gelatinização que ocorre durante a extrusão melhora  
72 a durabilidade das rações e a digestibilidade do amido. O amido é usado no cozimento por  
73 extrusão em dietas aquícolas para produzir produtos expandidos, sendo recomendada a  
74 inclusão acima de 20% (Riaz, 2003; Rokey, Plattner e Souza, 2012). As principais fontes de  
75 amido de uso comercial são obtidas a partir de milho, mandioca, trigo e batata (Chinnaswamy  
76 e Hanna, 1988; Huber e Riaz, 2000; Shankar et al., 2008; Xie et al., 2009; Umar, Kamuradin e  
77 Ramezani-Fard, 2013; Sarawong et al., 2014). O amido de milho é utilizado em dietas para  
78 peixes pela sua palatabilidade, disponibilidade no mercado e por conferir adequada expansão  
79 e aglutinação do produto final, e atuar como fonte de energia (Moro e Rodrigues, 2015).

80 Quando extrusado, apresenta características físicas benéficas (Vieira et al., 2005), as quais  
81 podem influenciar na capacidade de aproveitamento dos carboidratos pelos peixes.

82 Diante do exposto, o presente estudo teve como objetivo estabelecer a melhor  
83 condição de extrusão de uma dieta padrão para peixes, contendo amido de milho e farinha de  
84 peixe como macro nutrientes, utilizando delineamento composto central rotacional, com  
85 temperatura de saída e umidade como variáveis independentes, e fluvariabilidade e teor de  
86 amido disponível como resposta. Além disso, o objetivo foi avaliar o efeito da extrusão sobre  
87 as características físico-químicas e tecnológicas da ração obtida.

88

## 89 **2. Material e métodos**

### 90 *2.1 Preparação dos ingredientes e composição da dieta*

91 Uma dieta padrão, utilizando amido de milho e farinha de peixe como fontes de amido  
92 e proteína, respectivamente, foi formulada e confeccionada em nosso laboratório (Tabela 1).  
93 A dieta foi formulada de acordo com as exigências nutricionais de Tilápias do Nilo,  
94 apresentando 27% de proteína bruta e 3075 kcal de energia digestível calculada, de acordo  
95 com Botaro et al. (2007).

96 Inicialmente, todos os ingredientes foram peneirados para padronização quanto ao  
97 tamanho de partícula (590  $\mu\text{m}$ ) e misturados manualmente. O óleo de soja e a água foram  
98 adicionados somente instantes antes do processo de extrusão.

99

### 100 *2.2 Processo de extrusão*

101 Para confecção das rações foi utilizada extrusora rosca simples (Inbramaq, modelo  
102 Labor PQ 30, Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil), com diâmetro da matriz de 4,22 mm,  
103 velocidade de rotação de 1500,0 rpm, velocidade das facas de 10,0 hertz e taxa média de  
104 alimentação de 205 g/min. As temperaturas da primeira e da segunda zonas do barril foram

105 mantidas em 60°C e 80°C, respectivamente. Os produtos finais foram secos em estufa de  
 106 circulação de ar (50°C por 24 horas). A fim de determinar as condições ótimas de extrusão, o  
 107 ensaio foi realizado utilizando delineamento composto central rotacional (DCCR) com duas  
 108 variáveis independentes (2<sup>2</sup>) – temperatura de saída (92 – 138°C) e umidade da mistura (15 –  
 109 39%). Através deste planejamento experimental, foram realizados 11 testes e definidas as  
 110 melhores condições para o aumento da flutuabilidade e do teor de amido disponível.

111 Para o delineamento composto central rotacional (DCCR), foi utilizada uma equação  
 112 polinomial de segunda ordem (Equação 1).

$$Y_i = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_{11}X_1^2 + a_{22}X_2^2 + a_{12}X_1X_2, \quad (1)$$

113 onde  $Y_i$  ( $i = 1 - 2$ ) é a resposta prevista para os valores de temperatura (°C) e umidade  
 114 (%) da dieta controle. O termo  $a_0$  é a resposta obtida no ponto central do delineamento,  $a_1$  e  $a_2$   
 115 são os termos lineares,  $a_{12}$  é a interação dos efeitos,  $a_{11}$  e  $a_{22}$  são os efeitos quadráticos. As  
 116 respostas experimentais e previstas foram comparadas. Os resultados foram analisados por  
 117 análise de variância (ANOVA) para validar o modelo estatístico. As análises gráficas e de  
 118 regressão foram realizadas utilizando o software estatístico Statistica® 7.0 (Statsoft Inc.,  
 119 Tulsa, EUA), com nível de significância de 95% ( $P < 0,05$ ). O modelo matemático é descrito  
 120 conforme a equação 2.

$$Y_{ij} = m + t_i + e_{ij}, \quad (2)$$

121 onde  $Y_{ij}$  = valor observado da variável Y na unidade experimental que recebeu  
 122 tratamento i na repetição j; m = constante  $t_i$  = efeito do tratamento i;  $e_{ij}$  = erro experimental.

123 A flutuabilidade (F) foi determinada de acordo com De Cruz et al. (2015). Dez pellets  
 124 (Fi) foram colocados em béquer de 100 mL contendo água destilada à temperatura ambiente.  
 125 Após 20 minutos, o número de pellets flutuantes (Ff) foi observado e F foi calculada usando a  
 126 equação 3:

$$F = (F_i/F_f) \times 100 \quad (3)$$



127 O teor de amido disponível foi estabelecido através do método 996.11 da AOAC com  
128 modificações propostas por Walter, Silva e Perdomo (2005). Os resultados foram expressos  
129 em g por 100 g em base seca.

130 A melhor condição de extrusão para o aumento da flutuabilidade e do teor de amido  
131 disponível foi estabelecida e a caracterização físico-química e tecnológica da ração foi  
132 realizada somente neste experimento.

133

### 134 *2.3 Caracterização físico-química e tecnológica*

#### 135 *2.3.1 Análises físico-químicas*

136 Para realização das análises físico-químicas, as amostras foram previamente moídas,  
137 em micro moinho refrigerado (Marconi, modelo MA-630/1) e tiveram seu tamanho de  
138 partícula padronizado em peneira granulométrica (Granutest) com malha de 0,42 mm.

139 A avaliação da matéria seca (MS) foi realizada em estufa a 105°C por 12 horas  
140 (método 925.09/17 da AOAC, 1995). Posteriormente, as amostras foram incineradas em  
141 mufla a 550°C por 5 horas (método 923.03 da AOAC, 1995) para obtenção da matéria  
142 mineral (MM). O teor de proteína bruta (PB) foi realizado através da determinação de  
143 nitrogênio total pelo método de micro-Kjeldahl ( $N \times 6,25$ ) (método 960.2 da AOAC, 1995).  
144 Os lipídios foram extraídos a frio utilizando clorofórmio e metanol, de acordo com o método  
145 de Bligh e Dyer (1959). Os teores de fibra alimentar total, solúvel e insolúvel foram  
146 determinados pelo método enzimático-gravimétrico (método 991.43 da AOAC, 1985). Os  
147 resultados foram expressos em g/100 g em base seca.

148 A capacidade de retenção de água (CRA) e a capacidade de ligação ao óleo (CLO),  
149 foram determinadas segundo Femenia et al. (1997). Os resultados foram expressos em gramas  
150 de água/óleo retidos em um grama de amostra seca, respectivamente.

151 O índice de absorção de água (IAA) e o índice de solubilidade em água (ISA) foram  
152 determinados segundo metodologia proposta por Anderson et al. (1969). Para a determinação  
153 do IAA, em um tubo de centrífuga previamente pesado, foram colocados 2,5 g de amostra  
154 (PA) e 30 mL de água destilada a 28°C. Os tubos foram agitados durante 30 minutos em  
155 agitador mecânico e, em seguida, centrifugados a 3000 rpm por 10 minutos. Do sobrenadante  
156 foram coletados 10 mL e colocados em cadinho de porcelana (previamente tarado), o qual foi  
157 levado à estufa (105°C) por 8 horas e pesado (PRE). O tubo com o gel remanescente também  
158 foi pesado (PRC). O IAA foi calculado conforme a equação 4.

$$\text{IAA} = \text{PRC} \times 100 / \text{PA} - \text{PRE} \quad (4)$$

159 onde: PRC = peso de resíduo de centrifugação (g); PA = peso da amostra (base seca);  
160 PRE = peso de resíduo de evaporação (g).

161 O ISA foi calculado como a relação entre o peso do resíduo de evaporação (PRE) e o  
162 peso seco da amostra (PA), conforme a equação 5.

$$\text{ISA} = \text{PRE} / \text{PA} \quad (5)$$

163 Para a análise de pH, pesou-se 1g de amostra à qual foram adicionados 10 mL de água  
164 destilada. A verificação foi realizada em pHmetro digital (Zenebon, Pascuet e Tiglea, 2008).

165

### 166 2.3.2 Análises tecnológicas

167 A densidade aparente (DA) foi calculada segundo Alvarez-Martinez et al. (1988),  
168 descrita na equação 6.

$$\text{DA} = 4m / \pi d^2 L, \quad (6)$$

169 onde, m é a massa (g) de um comprimento L (cm) de um extrusado de diâmetro d  
170 (cm). O resultado foi expresso em g/cm<sup>3</sup>.

171 O índice de expansão radial (IER) foi determinado com paquímetro digital ao  
172 estabelecer a relação entre o diâmetro central do extrusado (D) e o diâmetro da matriz (D0),  
173 segundo Alvarez-Martinez et al. (1988), descrita na equação 7.

$$\text{IER} = (D/D0)^2, \quad (7)$$

174 A textura instrumental foi avaliada utilizando texturômetro TA-XT2 (Stable  
175 Microsystems Ltd, Godalming, UK) segundo Bender et al. (2016). Utilizou-se probe HDP-  
176 BS, velocidade do pré-teste 1,5 mm/s, velocidade do teste 1,0 mm/s, velocidade do pós-teste  
177 10,0 mm/s e distância 10 mm. A força de gatilho foi estabelecida como 0,049 N. A análise foi  
178 realizada com dez repetições e o resultado foi expresso como dureza em Newton (N).

179

#### 180 *2.3.3 Microscopia eletrônica de varredura*

181 As amostras foram metalizadas com uma fina camada de ouro e a morfologia das  
182 seções transversal e superficial das partículas foi observada através de microscópio eletrônico  
183 de varredura (model JSM-6510LV, JEOL Ltd., Tokyo, Japan) com feixe de elétrons de 10 kV.

184

#### 185 *2.4 Análise estatística*

186 Todas as análises foram realizadas em triplicata. Os resultados obtidos foram  
187 apresentados como média  $\pm$  desvio padrão. Todos os resultados do delineamento experimental  
188 foram avaliados utilizando o software Statistica® 7.0 (Statsoft Inc., Tulsa, OK, USA),  
189 considerando um nível de significância de 95%.

190

### 191 **3. Resultados**

192 Ao formular e fabricar alimentos para peixes é importante acomodar as necessidades  
193 alimentares das espécies-alvo em diferentes estágios de crescimento, a fim de obter produtos  
194 com propriedades físicas adequadas e qualidade nutricional. Diante disso, a densidade dos

195 pellets da ração é um atributo essencial que determina a capacidade de flutuar ou permanecer  
196 em suspensão, bem como a sua taxa de desintegração ao longo do tempo (Arévalo, 2019). Por  
197 esta razão, a flutuabilidade foi a característica físico-química definida para a escolha da  
198 melhor condição de extrusão.

199 O amido é o componente químico presente no milho responsável pelo seu conteúdo  
200 energético e principal componente para a expansão e aglutinação do produto final (Moro e  
201 Rodrigues, 2015). Durante a extrusão, ocorrem rupturas de ligações intermoleculares, que  
202 tornam o amido mais susceptível à ação enzimática, gelatinização do amido e mudanças na  
203 conformação das proteínas (Singh et al., 2003). Assim, são observadas melhora na  
204 digestibilidade do amido, e proteína. O amido é mais rapidamente degradado em glicose, a  
205 qual ficará disponível como fonte energética pelo animal (Boscolo et al., 2002). Desta forma,  
206 a proteína não é utilizada como fonte energética, estando disponível para deposição muscular  
207 (carne) (Shiau, 1997). Devido a isto, este parâmetro foi selecionado como resposta no  
208 delineamento experimental.

209 A flutuabilidade variou de 0 a 100%. Flutuabilidade de 100% foi observada nos  
210 experimentos 1, 3, 4 e 11, os quais apresentaram temperatura final de 100, 130 e 120°C,  
211 respectivamente, o que indica que esta característica não sofreu influência das temperaturas de  
212 saída empregadas no processo de extrusão.

213 Teores acima de 40 g/100 g de amido disponível foram encontrados nos experimentos  
214 1, 4, 5 e 9, indicando que temperaturas entre 92°C e 130°C e umidade entre 15 e 35%  
215 provocam completa gelatinização do amido e assim melhoram a disponibilidade do amido  
216 para a ação das enzimas. O maior teor foi encontrado no experimento 1, no qual empregou-se  
217 100°C como temperatura de saída e 15% de umidade, afirmando que esta é a condição ótima  
218 (Tabela 2).

219 A dieta selecionada apresentou conteúdos de proteína e gordura adequados para a  
220 alimentação de tilápias do Nilo (Tabela 3). Quanto à fibra, os teores reportados no presente  
221 estudo devem ser destacados visto que usualmente não são apresentados resultados das  
222 frações constituintes da fibra – solúvel e insolúvel. Altas capacidades de retenção de água e de  
223 retenção de óleo foram encontradas na condição selecionada.

224 Em relação às características físico-químicas e tecnológicas da dieta selecionada, nota-  
225 se que esta apresentou alta densidade e, conseqüentemente, baixo índice de expansão radial  
226 (Tabela 4).

227 Através das imagens obtidas pela microscopia eletrônica de varredura, nota-se a  
228 presença de poros de diferentes tamanhos, com predominância de poros de diâmetro pequeno,  
229 indicando boa expansão e desenvolvimento do amido (Figura 1).

230

#### 231 **4. Discussão**

232 A maior flutuabilidade foi encontrada no experimento 1 (temperatura de saída: 100°C  
233 e umidade: 15%). Através do DCCR, para esta resposta, os modelos linear e quadrático foram  
234 sugeridos. O modelo linear não foi significativo. O modelo quadrático utilizado na análise de  
235 variância deu significativo ( $P < 0,05$ ), porém apresentou falta de ajuste. Dessa forma, o modelo  
236 foi representado por uma regressão do tipo quadrática. Analisando os melhores valores  
237 experimentais comparados aos matemáticos apresentados no modelo, verificou-se que o  
238 experimento 1 foi o que melhor reproduziu maior valor de flutuabilidade estando de acordo  
239 com os dados preditos pela matemática.

240 Para a resposta amido disponível, não houve nenhum modelo significativo (linear e  
241 quadrático) apresentando falta de ajuste. Como não houve significância, a melhor condição de  
242 extrusão foi definida pelo maior teor de amido disponível encontrado experimentalmente (sem

243 o uso de testes estatísticos). Desta forma, o experimento 1 (temperatura de saída: 100°C e  
244 umidade: 15%) apresentou a melhor condição de extrusão.

245 Como tanto para a fluvariabilidade quanto para o amido disponível, as melhores  
246 condições foram encontradas utilizando temperatura de saída de 100°C e umidade de 15%,  
247 esta condição foi selecionada para o seguimento das análises.

248 Sabe-se que a fluvariabilidade é influenciada pela umidade da mistura bem como pela  
249 temperatura final no processo de extrusão (Silva e Ascheri, 2009). Temperaturas mais altas na  
250 saída são preferidas por permitirem adequada gelatinização do amido, com formação de poros  
251 homogêneos (Thymi et al., 2005). Para que essa gelatinização ocorra de maneira adequada,  
252 torna-se necessária a adição de água, visto que é o meio pelo qual ocorre a transferência de  
253 calor durante o processo de extrusão (Silva e Ascheri, 2009). Estabelecer o nível adequado de  
254 umidade para a extrusão é fundamental para obtenção de produtos com características físicas  
255 e nutricionais satisfatórias (Onwulata et al., 2001).

256 Estudo conduzido por Umar et al. (2013) determinou os efeitos da relação de inclusão  
257 de amido de sagu e tapioca e o teor de umidade da mistura sobre as propriedades físicas dos  
258 extrusados. Nesse estudo, foram avaliadas quinze dietas isonitrogenadas contendo diferentes  
259 proporções de amido de sagu e tapioca sobre teores de umidade de 20, 30 e 40%, processadas  
260 em uma extrusora de parafuso único, com rampa de temperatura de 80, 100, 120 °C. Os  
261 autores concluíram que o aumento de umidade para 40% aumentou a fluvariabilidade,  
262 resultados opostos ao de nosso estudo. Essa diferença está possivelmente relacionada à fonte de  
263 amido da dieta. Uma vez que em nosso estudo utilizou-se 30% de amido de milho para  
264 confecção da dieta padrão.

265 Os peixes aproveitam facilmente as proteínas e gorduras quando comparados aos  
266 carboidratos, devido sua adaptação a disponibilidade de alimentos na natureza (Gonçalves,  
267 2014). Conforme o mesmo autor, o uso de níveis favoráveis de carboidratos não estruturais

268 em rações, como o amido, podem apresentar efeito poupador de proteína, resultando em  
269 maior custo benefício e redução da excreção de amônia, com posterior ganho econômico e  
270 ambiental. De acordo com Ramírez (2005), o efeito poupador de proteína consiste na inclusão  
271 de fontes de energia não proteicas na dieta para fins energéticos, disponibilizando melhor a  
272 proteína para o crescimento. Por isto, níveis adequados de lipídeos e carboidratos da dieta,  
273 podem minimizar a utilização de proteína como fonte de energia, e neste sentido os  
274 carboidratos representam uma fonte barata de energia (Wilson, 1994).

275 Os peixes em comparação com outros animais exigem uma maior quantidade de  
276 proteína dietética. Conforme o NRC (2011) a exigência de proteína bruta e lipídios para  
277 tilápia do Nilo é de 28 – 32% e menor que 10%, respectivamente na dieta, estando de acordo  
278 com os resultados encontrados na composição química deste estudo (29,82 e 5,53% de  
279 proteína bruta e lipídios, respectivamente). Os peixes são capazes de utilizar a proteína como  
280 fonte de energia, uma vez que a excreção dos produtos da digestão e metabolização dos  
281 aminoácidos é feita passivamente nas brânquias, com reduzido custo energético (Cyrino et al.,  
282 2002).

283 Embora a fibra esteja presente na dieta natural da maioria dos peixes, existem poucos  
284 estudos sobre sua função e o teor dependerá da viabilidade de processamento e das limitações  
285 metabólicas e fisiológicas das espécies (Lanna et al., 2004). Segundo Anderson et al. (1984), a  
286 fração fibra é usada para ajustar os níveis de nutrientes das rações experimentais, como parte  
287 inerte e de valor nutritivo insignificante. No entanto, a forma como os peixes utilizam os  
288 carboidratos varia entre as espécies, em função de seu hábito alimentar.

289 De acordo com Santos (2017), a fibra bruta é difícil de ser digerida pelos peixes. Na  
290 dieta apresenta função de inerte (ou volume) e em alguns casos, como fonte de energia. Já nos  
291 processos de extrusão e peletização, auxilia na aglutinação dos pellets. O mesmo autor ainda

292 relata que na formulação de dietas para peixes, alguns nutricionistas insistem que o teor de  
293 fibra bruta deve ser menor do que 10%, enquanto outros recomendam até 20%.

294 De acordo com Dalsgaard et al. (2016), as fibras podem ser divididas em solúveis e  
295 insolúveis, as quais podem ter efeitos antinutricionais em animais. Estudos recentes mostram  
296 que uma relação entre 1:2 e 1:4 de fibra solúvel:fibra insolúvel estimula o crescimento de  
297 peixes e a deposição de proteína bruta corporal, com impacto positivo sobre parâmetros  
298 imunológicos (Adorian, 2018). No presente estudo, a celulose foi utilizada na formulação da  
299 dieta. Sabe-se que durante o processo de extrusão, rupturas nas ligações intermoleculares  
300 ocorrem especialmente na celulose, com liberação de compostos de menor peso molecular e  
301 maior solubilidade (Bender et al., 2019). Fato este que pode ter contribuído para o aumento do  
302 teor de fibra solúvel quando comparado à dieta para tilápias do Nilo reportado por Freitas  
303 (2018) (3,0 g/100 g).

304 Em estudo sobre os efeitos das fibras solúveis e insolúveis em *Oreochromis niloticus*,  
305 Amirkolaie et al. (2005) verificaram prejuízo na digestibilidade dos nutrientes somente para a  
306 fibra solúvel (goma *guar* – nível de 8% na dieta), sugerindo que níveis moderados de celulose  
307 (até 8%) não prejudicariam a absorção de nutrientes para a tilápia. Já Øvrum, Hansen e  
308 Storebakken (2007) constataram que a inclusão crescente de celulose até 15% na dieta não  
309 afetou o desempenho nem a digestibilidade de nutrientes (com exceção da matéria orgânica)  
310 para a *Oncorhynchus mykiss*, aumentando, ainda, a durabilidade e dureza do pellet.

311 A capacidade de retenção de água está relacionada ao aumento na viscosidade do  
312 alimento e ao acesso das enzimas aos substratos, o que pode refletir na atividade enzimática  
313 digestiva e no desempenho zootécnico. Já a capacidade de ligação ao óleo está relacionada à  
314 estabilidade da ração e à absorção dos nutrientes. Os valores encontrados no presente estudo  
315 foram maiores que os valores relatados por Mombach (2018) em dietas para tilápia do Nilo,  
316 em que as rações foram obtidas através de peletização. A extrusão provoca a ruptura dos



317 constituintes poliméricos da matriz alimentar em compostos de menor peso molecular e mais  
318 solúveis (Bender et al. 2019). Assim, os produtos oriundos deste processamento podem ligar-  
319 se mais facilmente à água e ao óleo, devido à maior área superficial para interação.

320 Kamarudin et al. (2018), realizou experimento para avaliar o efeito das temperaturas  
321 da matriz empregadas na extrusão utilizando taro (inhame) pré-gelatinizado e quirera de arroz  
322 sobre os parâmetros físicos dos pellets extrusados. Os autores utilizaram extrusora de parafuso  
323 único, teor de umidade de 40%, três zonas de temperatura do canhão (70, 90 e 100°C) e  
324 velocidade de rotação de 150 rpm. Os níveis de inclusão de taro foram 15, 20 e 25%. Os  
325 resultados obtidos para a densidade aparente (15%: entre 384,03 e 440,13 g/l), (20%: entre  
326 381,57 e 444,90 g/l) e (25%: entre 371,83 e 441,63 g/l) foram próximos aos valores  
327 encontrados no presente estudo (492,51 g/cm<sup>3</sup>), assim como os resultados obtidos por Passos  
328 Jr e Bose (1992), valores entre 300,4 e 639,9 g/l, conforme o ingrediente; e Oliveira (2007)  
329 variando de 0,18 a 0,92. Uma razão com densidade aparente adequada é aquela que submerge  
330 ao ser colocada em água (Sena e Nunes, 2006). Thymi et al. (2005) verificaram as  
331 propriedades estruturais do amido de milho extrusado. Eles mostraram que temperaturas  
332 acima de 150°C resultaram em redução significativa da densidade dos extrusados. Segundo  
333 estes mesmos autores, conforme houve aumento da temperatura da extrusora, maiores valores  
334 de expansão foram obtidos, resultando em baixa densidade aparente dos extrusados.

335 O índice de expansão radial é provavelmente o mais importante teste de caracterização  
336 física dos produtos extrusados. De acordo com Xie et al. (2009), durante o processo de  
337 extrusão, a água entra em ebulição nucleada, resultando na formação de bolhas no material  
338 extrusado e, ao sair da cabeça da matriz, causa expansão devido à súbita evaporação da  
339 umidade. Diversas pesquisas demonstram que a maior inclusão de amido resulta em valores  
340 mais altos de taxa de expansão (Chinnaswamy e Hanna, 1988; Rosentrater e  
341 Muthukumarappan, 2006; Kannadhasan, Muthukumarappan e Rosentrater, 2009). Em nossa

342 pesquisa, o índice de expansão radial foi de  $1,96 \text{ g/cm}^3$ . Em experimento realizado por Irungu  
343 et al. (2019), com o objetivo de avaliar os parâmetros físicos dos pellets extrusados, utilizando  
344 mistura a base de torta de girassol, gérmen de milho, farelo de trigo e farinha de mandioca,  
345 extrusora de parafuso simples, temperaturas de  $80$  à  $120^\circ\text{C}$ , diâmetro da matriz de  $2$  à  $4 \text{ mm}$ ,  
346 tempo de pré-condicionamento da alimentação de  $50$  à  $150\text{s}$  e vapor  $400 \text{ kPa}$ , o índice de  
347 expansão médio foi de  $2,64$ , maior do que o encontrado em nosso estudo. As condições do  
348 processo como temperatura ( $120^\circ\text{C}$ ) e o pré-condicionamento da mistura, facilitam a  
349 expansão dos pellets.

350 Em geral, rações contendo altos teores de cereais na forma de farinha, como farinha de  
351 milho, farinha de arroz e farinha de mandioca, podem gerar altos valores de absorção de água,  
352 dependendo da taxa de cisalhamento do sistema de extrusão e dos parâmetros aplicados  
353 (Sharma et al., 2016). Nossos resultados demonstraram valores de índice de absorção de água  
354 e índice de solubilidade em água de  $2,73 \text{ g/g}$  de gel e  $20,89\%$ , respectivamente. Estudo  
355 conduzido por Irungu et al. (2019), apresentou valores médios de ISA entre  $9,31\%$ , muito  
356 inferiores se comparados com os valores encontrados no presente estudo. Essa grande  
357 diferença pode ser explicada pelo grau de expansão elevado que apresentaram os pellets  
358 ( $2,64$ ), visto que existe uma correlação direta entre o grau de expansão e o índice de  
359 solubilidade em água. Tanto a fibra quanto o amido, quando processado por extrusão,  
360 possuem considerável afinidade pela água (Hashimoto e Grossmann, 2003). O IAA depende  
361 da disponibilidade dos grânulos de amido danificados em absorver água na temperatura  
362 ambiente e expandirem-se, resultando em aumento da absorção de água (Ascheri, et al.,  
363 2003). O maior ou menor valor de IAA é determinado pela intensidade de ocorrência da  
364 gelatinização e fragmentação (Carvalho et al., 2010). Carvalho et al. (2002), estudando  
365 extrusados de terceira geração de misturas de farinhas de trigo, arroz e banana, encontraram  
366 IAA variando de  $3,95$  a  $6,61 \text{ g/g}$  e ISA de  $2,38$  a  $11,22\%$ , em função da temperatura, umidade

367 e formulação utilizadas. Valores semelhantes também foram observados por Ascheri e  
368 Carvalho (1997), estudando o efeito dos parâmetros de extrusão nas características de  
369 extrusados de terceira geração produzidos a partir de trigo e milho. Os resultados obtidos  
370 pelos autores em relação aos índices de absorção e solubilidade em água vão de encontro aos  
371 obtidos neste estudo.

372 Resultados similares ao anterior estudo foram observados por Kamarudin et al. (2018).  
373 Os autores encontraram valores médios de ISA de 3,5% e valores médios de IAA de 15,5 g/g  
374 gel. A mistura utilizada no processo foi composta por farinha de taro pré-gelatinizado e  
375 quirera de arroz e os parâmetros aplicados na extrusão, realizada em parafuso único, foram:  
376 temperaturas de 70, 90 e 100°C, velocidade de rotação de 150 rpm e umidade de 40%.  
377 Condições similares às utilizadas em nosso estudo, porém com grande diferença no teor de  
378 umidade (15%), o que acarretou diferenças nos resultados encontrados. Isto pode ser  
379 explicado pela utilização de fontes ricas em amidos, como o taro (inhame) e a quirera de  
380 arroz, as quais apresentam características que facilitam o grau de expansão e, como  
381 consequência, melhoram a densidade e a flutuabilidade do pellet extrusado.

382 Para a fabricação de rações, esperam-se valores altos de índice de absorção de água,  
383 pois isto permite que o pellet tenha uma melhor absorção no meio aquático, prolongando sua  
384 estabilidade e durabilidade. Ao mesmo tempo, esperam-se valores não tão elevados de índice  
385 de solubilidade em água, isto para evitar perda da ração por rápida solubilidade (Arévalo,  
386 2019).

387 A estrutura porosa observada através da microscopia é característica de rações  
388 extrusadas e é uma das principais responsáveis pela flutuabilidade em água. Quanto maior é o  
389 número de poros, melhor é a estabilidade em água. Além disso, a gelatinização do amido  
390 durante a extrusão leva à formação de uma estrutura porosa, ocasionada pela rápida expansão  
391 devido à evaporação da água. Quanto à superfície, pode-se observar uma estrutura

392 rugosa/grosseira, fato já relatado por Kamarudin et al. (2018) e De Cruz et al. (2015) ao  
393 analisar rações extrusadas contendo taro e quirera de arroz.

394

## 395 **5. Conclusão**

396 Nas condições testadas no processo de extrusão, temperatura de saída de 100°C e  
397 umidade de 15% apresentou maior flutuabilidade e conteúdo de amido disponível, indicando a  
398 formação de poros pequenos, que auxiliam na flutuação dos pellets em água e a completa  
399 gelatinização do amido, a qual facilita a ação enzimática. As características físico-químicas da  
400 dieta selecionada apontam a possibilidade de sua utilização na alimentação de tilápias do  
401 Nilo, por apresentarem composição nutricional de acordo com as exigências da espécie. Além  
402 disso, as características tecnológicas demonstram que a extrusão proporciona produto final de  
403 qualidade para a alimentação de organismos aquáticos.

404 A tecnologia disponível e seus os avanços em pesquisa na área de nutrição animal é  
405 fundamental para uma produção rentável, minimizando os desperdícios e atendendo as  
406 demandas nutricionais dos animais de forma mais conveniente.

407

## 408 **Agradecimentos**

409 Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível  
410 Superior – Brasil (CAPES) – Código Financeiro 001, pela concessão da bolsa de  
411 produtividade em pesquisa (Leila Picolli da Silva, número do processo: 306596/2018-0).

412

## 413 **Referências**

414 Adorian, T. J. 2018. Fibras funcionais da linhaça e seus impactos na nutrição de jundiás. 147  
415 p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria,  
416 Rio Grande do Sul, 2018.

- 417 Alam, M. S., Kaur, J., Khaira, H., Gupta, K., 2016. Extrusion and Extruded Products:  
418 Changes in Quality Attributes as Affected by Extrusion Process Parameters: A Review.  
419 Crit. Rev. Food Sci. Nutr., v. 56, n. 3, p. 445-473. doi: 10.1080/10408398.2013.779568.
- 420 Alvarez-Martinez, L., Kondury, K. P., Harper, J. M., 1988. A general-model for expansion of  
421 extruded products. J. Food Sci., Chicago, v.53, p.609-615. doi.org/10.1111/j.1365-  
422 2621.1988.tb07768.x.
- 423 Amirkolaie, K. A., Leenhouders, J. I., Verreth, J. A. J., Schrama, J. W., 2005. Type of dietary  
424 fibre (soluble versus insoluble) influences digestion, faeces characteristics and faecal  
425 waste production in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Aquacult. Res., v.36, p.1157-  
426 1166. doi.org/10.1111/j.1365-2109.2005.01330.x.
- 427 Anderson, J., Jackson, A. J., Matty, A. J., Capper, B. S., 1984. Effects of dietary carbohydrate  
428 and fibre on the tilapia (*Oreochromis niloticus*). Aquaculture, v.37, p.303-314.  
429 doi.org/10.1016/0044-8486(84)90296-5.
- 430 Anderson, R.A., 1969. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. Cereal Sci.  
431 Today, v.14, n.1., p.4-11.
- 432 AOAC, 1985. Association of analytical chemists. Total dietary fiber in foods – enzymatic  
433 gravimetric method – first action. Journal Association of Official Analytical Chemists.  
434 68, 399.
- 435 AOAC, 1995. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists,  
436 Washington, DC.
- 437 Arévalo, A. M., 2019. Formulação e avaliação físico-química e tecnológica de rações  
438 extrudadas para peixes. 92 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos)  
439 – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro, 2019.
- 440 Ascheri, J. L. R., Borges, J. T. S., Nascimento, R. E., Ascheri, D. P. R., 2003. Propiedades  
441 funcionales de fideos precocidos a base de harina integral de quinoa (*Chenopodium*

- 442        *quinoa*, Willd) y harina de arroz (*Olyza sativa*, L.). Alimentaria, n. 342, p. 71-76,  
443        ISSN 0300 5755.
- 444        Ascheri, J. L. R., Carvalho, C. W. P., Matsuura, F. C. A. U., 2000. Elaboração de pellets de  
445        harina de raspa de mandioca por extrusión termoplástica (escala piloto e industrial).  
446        Alimentaria, Madri, v.37, n.309, p.101-106.
- 447        Ascheri, J. L. R.; Carvalho, C. W. P., 1997. Effect de los parametros de extrusion,  
448        características de pasta y textura de pellets (snacks de terceira generacion) producidos a  
449        partir de trigo y maiz. Alimentaria, Madrid, v.279, n.1.
- 450        Bender, A. B. B., Luvielmo, M. M., Loureiro, B. B., Speroni, C. S., Boligon, A. A., Silva, L.  
451        P., Penna, N. G., 2016. Obtention and characterization of grape skin flour and its use in  
452        an extruded snack. Braz. J. Food Tech., v. 19, 1-9. doi.org/10.1590/1981-6723.1016.
- 453        Bender, A. B., Goulart, F. R., Silva, L. P., Penna, N. G., 2019. Efeito dos processos de  
454        micronização e extrusão nas propriedades físico-químicas da fibra alimentar. Ciênc.  
455        Rural. v. 49, n. 7, doi.org/10.1590/0103-8478cr20190154.
- 456        Bligh, E. G., Dyer, W. J., 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification. Can.  
457        J. Biochem. Physiol., n.37, p.911-917. doi.org/10.1139/o59-099.
- 458        Boscolo, W. R., Hayashi, C., Meurer, F., 2002. Digestibilidade aparente da energia e  
459        nutrientes de alimentos convencionais e alternativos para a tilápia-do-nilo (*Oreochromis*  
460        *niloticus*, L.). R. Bras. Zootec., v.13, n.2, p.539-545. doi.org/10.1590/S1516-  
461        35982002000300001.
- 462        Botaro, D., Furuya, W. M., Silva, L. C. R., Santos, L. D., Silva, T. S. C., Santos, V. G.  
463        Redução da proteína da dieta com base no conceito de proteína ideal para tilápias-do-  
464        nilo (*Oreochromis niloticus*) criadas em tanques rede. R. Bras. Zootec., 36: 517-525,  
465        2007. doi.org/10.1590/S1516-35982007000300001.

- 466 Carvalho, A. V., Vasconcelos, M. A. M., Silva, P. A., Assis, G. T., Ascheri, J. L. R., 2010.  
467 Caracterização tecnológica de extrusados de terceira geração à base de farinhas de  
468 mandioca e pupunha. Ciênc. Agrotec., vol.34, n.4, pp.995-1003. ISSN 1413 7054.  
469 doi.org/10.1590/S1413-70542010000400028.
- 470 Carvalho, R.V., Ascheri, J. L. R.; Cal-Vidal, J., 2002. Efeito dos parâmetros de extrusão nas  
471 propriedades físicas de pellets de misturas de farinhas de trigo, arroz e banana. Ciênc.  
472 Agrotec., Lavras, v.26, n.5, p.1006-1018.
- 473 Chang, Y. K., Wang, S. S., 1999. Advances in Extrusion Technology: Aquaculture Animal  
474 Feeds & Foods. Technomic Publishing Company, Lancaster, PA.
- 475 Chinnaswamy, R., Hanna, M. A., 1988. Relationship between amylose content and extrusion-  
476 expansion properties of com starches. Cereal Chem., St Paul, v.65, n.2, p.138-143,  
477 MarVApr.
- 478 Cyrino, J. E. P., Conte, L., Castagnolli, M. C. et al. Mini-curso: criação de peixes em tanques  
479 -rede. In: Simpósio Brasileiro de Aquicultura. 12. São Paulo: ABRAq. 60p. 2002.  
480
- 481 Dalsgaard, J., Bach Knusend, K.E., Verlhac, V., Ekmann, K.S., Pedersen, P.B., 2016  
482 Supplementing enzymes to extruded, soybean-based diet improves breakdown of  
483 nonstarch polysaccharides in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquacul. Nut., v.  
484 22, n. 2, p. 419-426. doi.org/10.1111/anu.12258.
- 485 De Cruz, C. R, Kamarudina, M.S, Saada, C.R. Effects of extruder die temperature on the  
486 physical properties of extruded fish pellets containing taro and broken rice starch.  
487 Anim. Feed Sci. Technol., 199 (2015), p. 137-145. doi: 10.1016 /  
488 j.anifeedsci.2014.11.010.

- 489 FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. The State of World Fisheries  
490 and Aquaculture: Contributing to food security and nutrition for all. Rome: FAO, 200 p.,  
491 2016. Disponível em <http://www.fao.org/3/a-i5555e.pdf> (acesso em 20/12/2019).
- 492 Faraj, A., Vasanthan, T., Hoover, R., 2004. The effect of extrusion cooking on resistant starch  
493 formation in waxy and regular barley flours. Food Res. Int., 37, p. 517-525.  
494 [doi.org/10.1016/j.foodres.2003.09.015](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2003.09.015).
- 495 Femenia, A., Lefebvre, A. C., Thebaudin, J. Y., Robertson, J. A., Bourgeois, C. M., 1997.  
496 Physical and sensory properties of model foods supplemented with cauliflower fiber. J.  
497 Food Sci., 62, 635-639. [doi.org/10.1111/j.1365-2621.1997.tb15426.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1997.tb15426.x).
- 498 Freitas, S. T. 2018. Pectina hidrolisada de polpa cítrica na nutrição de tilápia do Nilo  
499 (*Oreochromis niloticus*). 49 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade  
500 Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2018.
- 501 Gonçalves, A. F. N. 2014. Desempenho produtivo e respostas fisiológicas de juvenis de  
502 cachara (*Pseudoplatystoma reticulatum*) alimentados com diferentes níveis de proteína  
503 e carboidrato. 2014. 50 f. Dissertação (Mestre em Ciência e Tecnologia Animal) –  
504 Universidade Estadual Paulista, Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia, São  
505 Paulo. 2014.
- 506 Gonçalves, K. N. V. 2016. Granulometria da matéria prima e configuração da extrusora sobre  
507 os parâmetros de processo, características do extrusado e digestibilidade de rações para  
508 gatos. 114 p. Tese (Doutorado em Medicina Veterinária) – Universidade Estadual  
509 Paulista, Jaboticabal, São Paulo. 2016.
- 510 Hashimoto, J. M., Grossmann, M.V. E., 2003. Effects of extrusion conditions on quality of  
511 cassava bran/cassava starch extrudates. Int. J. Food Sci. Technol., Oxford, v.38, n.5,  
512 p.511-517. [doi.org/10.1046/j.1365-2621.2003.00700.x](https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2003.00700.x).



- 513 Huber, G. R., Riaz, M. N. (Eds.), 2000. Extruders in Food Applications. CRC Press, Boca  
514 Raton, FL, USA.
- 515 Irungu, F. G., Mutungi, C., Faraj, A., Affognon, H., Ekesi, S., Nakimbugwe, D., Fiaboe, K. K.  
516 M., 2019. Optimization of extruder cooking conditions for the manufacture of fish feeds  
517 using response surface methodology. J. Food Process Eng. v. 42, n. 2.  
518 doi.org/10.1111/jfpe.12980.
- 519 Kamarudin, M. S., De Cruz, C. R., Saad, C. R., Romano, N., Ramezani-Fard, E., 2018.  
520 Effects of extruder die head temperature and pre-gelatinized taro and broken rice flour  
521 level on physical properties of floating fish pellets. Anim. Feed Sci. Technol., v. 236, p.  
522 122-130. doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.12.007.
- 523 Kannadhasan, S., Muthukumarappan, K., Rosentrater, K.A., 2009. Effect of starch sources  
524 and protein content on extruded aquaculture feed containing DDGS. Food Bioprocess  
525 Technol. 4, 282–294. doi.org/10.1007/s11947-008-0177-4.
- 526 Krabbe, E. L. Controle da atividade de água e produção de alimentos secos e semi-úmidos. In:  
527 I Congresso Internacional e VIII Simpósio sobre nutrição de animais de estimação -  
528 CBNA. Campinas – SP, Anais. 2009.
- 529 Lanna, E. A. T., Pezzato, E. P., Cecon, P. R., Furuya, W. M., Bomfim, M. A. D., 2004.  
530 Digestibilidade aparente e trânsito gastrintestinal em tilápia do Nilo (*Oreochromis*  
531 *niloticus*), em função da fibra bruta da dieta. R. Bras. Zootec., vol.33, n.6, suppl.3,  
532 p.2186-2192. ISSN 1516-3598. doi.org/10.1590/S1516-35982004000900002.
- 533 Lobo, A. R., Lemos, G. M. L., 2003. Amido resistente e suas propriedades físico-químicas.  
534 Revista de Nutrição. Campinas/SP. p. 219-226. doi.org/10.1590/S1415-  
535 52732003000200009.
- 536 Mercier, C., Feillet, P., 1975. Modificação of carbohydrate componentes by extrusion-  
537 cooking of cereal products. Cereal Chem., St Paul, v. 52, n.3, p.283-297.

- 538 Meyer, G., Fracalossi, D. M., Borba, M. R. A importância da quantidade de energia na ração  
539 de peixes. *Panorama da Aquicultura*, v. 14, n. 83, p. 53-57, 2004.
- 540 Mombach, P. I. 2018. Hidrolisados pécticos na dieta de tilápia do Nilo e jundiá: implicações  
541 nutricionais e potencial prebiótico. 100 p. Tese (Doutorado em Zootecnia) –  
542 Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2018.
- 543 Moro, G. V., Rodrigues, A. P. O. Rações para organismos aquáticos: tipos e formas de  
544 processamento. In: Embrapa Pesca e Aquicultura – Palmas/TO. ISSN 2318-1400, 2015.
- 545 NRC - National Research Council, 2011. Nutrient requirements of fish and shrimp. National  
546 academies press.
- 547 Oliveira, G. D. 2007. Obtenção de produtos extrusado expandidos e não-expandidos de casca  
548 de soja e milho. 106 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) –  
549 Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Saropédica, Rio de Janeiro, 2007.
- 550 Onwulata, C. I., Smith, P. W., Konstance, R. P., Holsinger, V. H., 2001. Incorporation of  
551 whey products in extruded corn, potato or rice snacks. *Food Res. Int.*, v. 34, p. 679-687.  
552 doi.org/10.1016/S0963-9969(01)00088-6.
- 553 Øvrum Hansen, J., Storebakken, T., 2007. Effects of dietary cellulose level on pellet quality  
554 and nutrient digestibilities in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 272,  
555 458-465. doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.09.005.
- 556 Passos Jr, H. da S., Bose, M. L. V., 1992. Uso de análise física para estimar a composição  
557 química em ingredientes para rações. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)*, vol.49, n. spe,  
558 pp.159-162. ISSN 1678-992X. doi.org/10.1590/S0103-90161992000400021.
- 559 Ramírez, A. P. 2005. Utilização de carboidratos digestíveis em dietas para pacu, *Piaractus*  
560 *mesopotamicus* (Holmberg, 1887). Tese (Doutorado), Centro de Aquicultura,  
561 Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, Brasil. 2005.

- 562 Riaz, M. N. Extrusion basics. In: KVAMME, J. L.; PHILLIPS, T. D. Pet Food Technology.  
563 Illinois Mt Morris, p. 347-360, 2003.
- 564 Rokey, G.J., Plattner, B., Souza, E. M., 2012. Descrição do processo de extrusão do alimento.  
565 In: IV Congresso Internacional e XI Simpósio sobre nutrição de animais de estimação -  
566 CBNA. São Paulo – SP, maio de 2012.
- 567 Rosentrater, K. A., Muthukumarappan, K., 2006. Corn ethanol coproducts: generation  
568 properties, and future prospects. *Int. Sugar J.* 108, p. 648–657.
- 569 Santos, F. W. B. Nutrição de peixes de água doce: definições, perspectivas e avanços  
570 científicos. I Simposio de nutrição e alimentação animal, Fortaleza. Reviewed, 2017.
- 571 Sarawong, C., Schoenlechner, R., Sekiguchi, K., Berghofer, E., Ng, P. K.W., 2014. Effect of  
572 extrusion cooking on the physicochemical properties, resistant starch, phenolic content  
573 and antioxidant capacities of green banana flour. *Food Chem.* 143, p. 33–39.  
574 doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.07.081.
- 575 Sena, R. F., Nunes, M. L., 2007. Utilização de resíduos agroindustriais no processamento de  
576 rações destinadas ao camarão "*Penaeus vannamei*". *Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.*, v. 7,  
577 n. 2, p. 94-102, ISSN 1519 9940.
- 578 Shankar, T.J., Sokhansanj, S., Bandyopadhyay, S., Bawa, A.S., 2008. A case study on  
579 optimization of biomass flow during single-screw extrusion cooking using genetic  
580 algorithm (GA) and response surface method (RSM). *Food Bioprocess Technol.* 3, p.  
581 498–510. doi.org/10.1007/s11947-008-0172-9.
- 582 Sharma, S. K., Bansal, S., Mangal, M., Dixit, A. K., Gupta, R. K., Mangal, A. K., 2016.  
583 Utilization of Food Processing By-products as Dietary, Functional, and Novel Fiber: A  
584 Review. *Crit. Ver. Food Sci. Nutr.*, v. 56, n. 10, p. 1647-1661. doi: 10.1080 /  
585 10408398.2013.794327.

- 586 Shiau, S. Y. Utilization of carbohydrates in warmwater fish – with particular reference to  
587 tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*., 1997. *Aquaculture*, 151:79–96.
- 588 Silva, R. F., Ascheri, J. L. R., 2009. Extrusão de quirera de arroz para uso como ingrediente  
589 alimentar. *Braz. J. Food Technol.*, v. 12 (3), 190-199. doi:  
590 10.4260/BJFT2009800900012.
- 591 Singh, N., Singh, J., Kaur, L., Sodhi, N. S e Gill, B. S., 2003. Morphological, thermal and  
592 rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chem.*,  
593 v.81 (2), p. 219-231. doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00416-8.
- 594 Thymi, S., Krokida, M. K., Pappa, A., Maroulis, Z. B., 2005. Structural properties of extruded  
595 corn starch. *J. Food Eng.*, 68, 519-526. doi: 10.1111 / j.1365-2621.1984.tb13664.x.
- 596 Umar, S., Kamarudin, M.S., Ramezani-Fard, E., 2013. Physical properties of extruded  
597 aquafeed with a combination of sago and tapioca starches at different moisture contents.  
598 *Anim. Feed Sci. Technol.* 183, p. 51–55. doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2013.03.009.
- 599 Vieira, J. S, Logato, P. V. R., Ribeiro, P. A. P., Freitas, R. T. F. D., Fialho, E. T., 2005. Efeito  
600 do processamento do milho sobre o desempenho e a composição da carcaça da piaba  
601 (*Leporinus friderici*) criada em tanques-rede. *Ciênc. Agrotec.*, 29 (2), p.453-458.  
602 doi.org/10.1590/S1413-70542005000200025.
- 603 Walter, M., Silva, L. P., Perdomo, D. M. X., 2005. Amido disponível e resistente em  
604 alimentos: adaptação do método da AOAC 996.11. *Alim. Nut.*, v.16, n.1, p.39-43.
- 605 Wilson, R. P., 1994. Utilization of dietary carbohydrate by fish. *Aquaculture*, 124:67–80.
- 606 Xie, F., Yu, L., Su, B., Liu, P., Wang, J., Liu, H., Chen, L., 2009. Rheological properties of  
607 starches with different amylose/amylopectin ratios. *J. Cereal Sci.* 49, p. 371–377.  
608 doi.org/10.1016/j.jcs.2009.01.002.
- 609 Zenebon, O., Pascuet, N. S., Tiglea, P., 2008. Métodos físico-químicos para análise de  
610 alimentos. Métodos físico-químicos para análise de alimentos (4 ed.). São Paulo:

611 Instituto Adolfo Lutz. [https://www.cambridge.org/core/product/identifier/CBO9781107415324A009/type/book\\_part](https://www.cambridge.org/core/product/identifier/CBO9781107415324A009/type/book_part). Acesso em: 22 jan de 2020.

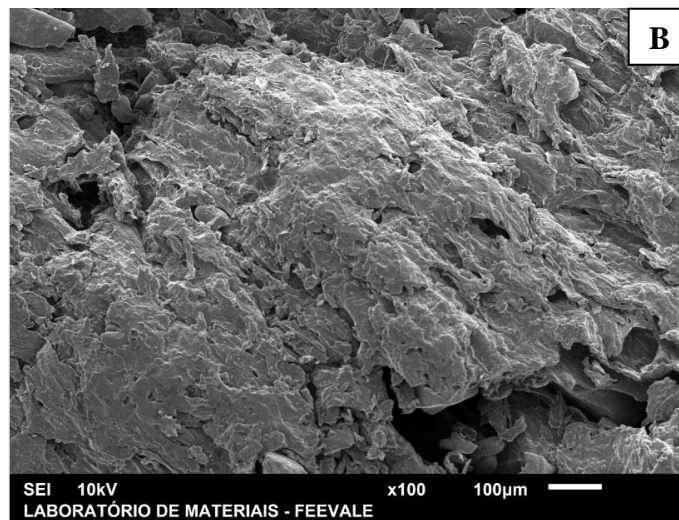
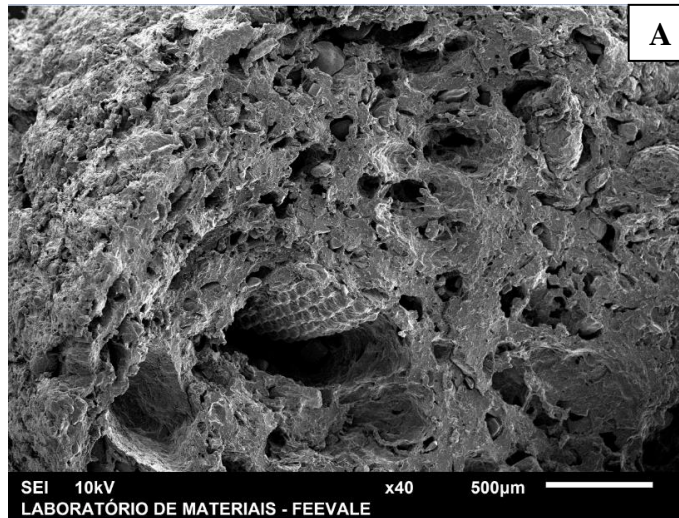
612

613

614

615 **Figura 1.** Imagens transversal (A) e superficial (B) da dieta selecionada

616



617 **Tabela 1.** Composição da dieta padrão\* (g/100 g base seca)

Ingredientes	Dieta padrão
Amido de milho	30,50
Farinha de peixe	28,00
CPS <sup>1</sup>	22,00
Inerte <sup>2</sup>	6,98
Celulose	6,00
Premix vitamínico e mineral <sup>3</sup>	3,00
Óleo de soja	3,00
Sal	0,50
BHT <sup>4</sup>	0,02
Composição centesimal (g/100 g base seca)	
Energia digestível <sup>5</sup>	3059,00
Proteína bruta <sup>6</sup>	29,46
E:P	103,85
Amido <sup>6</sup>	41,09
Matéria mineral <sup>6</sup>	6,90
Gordura <sup>6</sup>	6,12
Ca <sup>7</sup>	2,73
P <sup>7</sup>	1,08
Ca:P	2,53

618 \*Formulação adaptada de Mombach (2018);

619 <sup>1</sup>Concentrado proteico de soja (60% proteína bruta)620 <sup>2</sup>Areia

621 <sup>3</sup>Premix vitamínico e mineral (composição/kg de produto): ácido fólico: 299,88 mg; ácido ascórbico: 15.000,12  
622 mg; ácido pantotênico: 3.000,10 mg; biotina: 0,06 mg; niacina (vitamina B3): 9.000,32 mg; colina (vitamina  
623 B4): 103.500,00 mg; vitamina A: 1.000.000,00 UI; vitamina B1: 1.500,38 mg; vitamina B2: 1.500,00 mg;  
624 vitamina B6: 1.500,38 mg; vitamina D3: 240.000,00 UI; vitamina E: 10.000,00 mg; vitamina K3: 400,00 mg;  
625 inositol: 9.999,92 mg; ferro: 6.416,80 mg; manganês: 8.000,40 mg; cobre: 1.000,00 mg; zinco: 13.999,50 mg;  
626 iodo: 45,36 mg; cobalto: 60,06 mg; selênio: 60,30 mg; magnésio: 5,10 mg; cloro: 23 mg; enxofre: 0,1 mg

627 <sup>4</sup>Butil Hidroxitolueno

628 <sup>5</sup>Energia digestível calculada: [(Proteína bruta x 5,65 x 0,85) + (Gordura x 9,4 x 0,9) + (Carboidratos x 4,15 x  
629 0,7)] (adaptado de Meyer, Fracalossi e Borba, 2004)

630 <sup>6</sup>Composição analisada (Laboratório de Piscicultura, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio  
631 Grande do Sul, Brasil)

632 <sup>7</sup>Composição analisada (Laboratório de Tecido Vegetal, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz,  
633 Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, Brasil)

634

635 **Tabela 2.** Delineamento experimental para otimização das melhores condições de extrusão  
 636 com variáveis testadas e respostas obtidas (flutuabilidade e amido disponível)

Experimento	Variáveis		Respostas	
	Temperatura de saída (°C) (X <sub>1</sub> )	Umidade (%) (X <sub>2</sub> )	Flutuabilidade (%)	Amido disponível (g/100 g base seca)
1	-1 (100)	-1 (15)	100	43,34
2	-1 (100)	1 (35)	0	36,14
3	1 (130)	-1 (15)	100	35,96
4	1 (130)	1 (35)	100	40,43
5	0 (110)	0 (25)	25	40,37
6	0 (110)	0 (25)	5	35,64
7	0 (110)	0 (25)	20	37,99
8	1,41 (138)	0 (25)	50	36,72
9	-1,41 (92)	0 (25)	30	41,21
10	0 (120)	1,41 (39)	0	36,34
11	0 (120)	-1,41 (21)	100	35,21

637 Respostas são flutuabilidade e teor de amido disponível.  
 638



639 **Tabela 3.** Composição físico-química da dieta selecionada

Constituintes (g/100 g base seca)	Experimento 1
Matéria seca	96,64±0,06
Matéria mineral	18,00±0,23
Proteína bruta	29,82±0,81
Gordura	5,53±0,16
Fibra alimentar total	18,51±2,65
Fibra solúvel	4,10±2,29
Fibra insolúvel	14,41±2,86
Capacidade de retenção de água	3,47±0,59
Capacidade de ligação ao óleo	2,74±0,09

640 Resultados são expressos como média ± desvio padrão (n = 3).

641

642 **Tabela 4.** Características físico-químicas e tecnológicas da dieta selecionada

Características	Experimento 1
DA <sup>1</sup> (g/cm <sup>3</sup> )	492,51±74,08
IAA <sup>2</sup> (g/g de gel)	2,73±0,02
ISA <sup>3</sup> (%)	20,89±0,13
Textura <sup>4</sup>	0,10±0,05
IER <sup>5</sup> (g/cm <sup>3</sup> )	1,96±0,15
pH	6,54±0,03

643 <sup>1</sup>DA: densidade aparente; <sup>2</sup>IAA: índice de absorção de água; <sup>3</sup>ISA: índice de solubilidade em água; <sup>4</sup>Expressa  
644 como dureza (N); <sup>5</sup>IER: índice de expansão radial. Resultados são expressos como média ± desvio padrão (n =  
645 3).

#### **4 ARTIGO II**

O artigo científico intitulado “Influência do processamento de rações sobre digestibilidade aparente, composição química e enzimas digestivas de tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*)” foi submetido para a revista Anais da Academia de Ciências e está formatado segundo as normas descritas no Guia dos Autores (Anexo B).

1 Influência do processamento de rações sobre digestibilidade aparente, composição química e  
2 enzimas digestivas de tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*)

3  
4 Influence of feed processing on apparent digestibility, chemical composition and digestive  
5 enzymes of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)

6

### 7 **Resumo**

8 Este estudo foi desenvolvido para determinar os coeficientes de digestibilidade  
9 aparente (CDA) da matéria seca (MS), proteína bruta (PB), matéria mineral (MM), matéria  
10 orgânica (MO) e extrato etéreo (EE) de duas dietas, uma na forma extrusada e outra,  
11 peletizada para exemplares de tilápias do Nilo, sendo ambas dietas com mesma composição  
12 nutricional. Foram avaliados índices digestivos e atividades de enzimas digestivas. Doze  
13 exemplares de tilápias do Nilo foram distribuídos aleatoriamente em seis incubadoras (200 L),  
14 o delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com dois tratamentos e três  
15 repetições. Os dados foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo  
16 teste t de Student ( $P < 0,05$ ). Não houve diferença estatística nos parâmetros avaliados, exceto  
17 na composição centesimal das rações (MS, MM e EE) e fezes (PB), e o coeficiente de  
18 digestibilidade aparente de extrato etéreo. Em suma, ambas as dietas, tanto extrusadas quanto  
19 peletizadas usando os mesmos procedimentos empregados podem ser utilizadas para tilápias  
20 do Nilo, não interferindo nos parâmetros avaliados. Vale enfatizar que o processo de extrusão  
21 melhorou a digestibilidade da proteína, reduzindo a excreção deste nutriente através das fezes  
22 em comparação à dieta peletizada.

23 *Palavras-chave: extrusão, peletização, amido, aquicultura*

24 *Abreviações: CDA, coeficiente de digestibilidade aparente; EE, extrato etéreo; MM, matéria*  
25 *mineral; MO, matéria orgânica; MS, matéria seca; PB, proteína bruta.*

## 26 **Abstract**

27           This study was developed to determine the apparent digestibility coefficients (CDA)  
28 of dry matter (DM), crude protein (PB), mineral matter (MM), organic matter (MO) and ether  
29 extract (EE) from two diets, one in extruded form and another, pelletized for Nile tilapia  
30 specimens, both diets with the same nutritional composition. Digestive indexes and digestive  
31 enzyme activities were evaluated. Twelve specimens of Nile tilapia were randomly distributed  
32 in six incubators (200 L), the experimental design was completely randomized, with two  
33 treatments and three replications. The data were subjected to analysis of variance and the  
34 means compared by Student's t test ( $P<0.05$ ). There was no statistical difference in the  
35 parameters evaluated, except in the centesimal composition of the diets (MS, MM and EE)  
36 and feces (PB), and the apparent digestibility coefficient of ether extract. In short, both diets,  
37 both extruded and pelleted using the same procedures employed, can be used for Nile tilapia,  
38 without interfering in the evaluated parameters. It is worth emphasizing that the extrusion  
39 process improved the digestibility of the protein, reducing the excretion of this nutrient  
40 through the feces in comparison to the pelleted diet.

41 *Keywords: extrusion, pelletizing, starch, aquaculture*

42 *Abreviações:* ADC, apparent digestibility coefficients; DM, dry matter; EE, ether extract;  
43 MM, mineral matter; OM, organic matter; CP, crude protein.

44

## 45 **1 Introdução**

46           O pescado é hoje em dia um dos bens alimentares mais comercializados no mundo  
47 inteiro, sendo que em 2016 a produção atingiu os 170,9 milhões de toneladas (FAO, 2018),  
48 neste mesmo ano, o consumo *per capita* ultrapassou a barreira dos 20 kg, manifestando a  
49 procura satisfatória por alimentos mais saudáveis, como o peixe. De modo a acompanhar esta  
50 tendência, a produção mundial de pescado para consumo terá obrigatoriamente de continuar a

51 aumentar, estimando-se produções a rondar os 172 milhões de toneladas em 2020 e os 186,8  
52 milhões de toneladas em 2030 (World Bank, 2013). Grande parte da produção de peixes é  
53 dependente de rações, as quais são formuladas para atender à exigência nutricional das  
54 distintas espécies. Contudo, as dietas são pouco estudadas quanto à influência das variantes  
55 tecnológicas de fabricação.

56 O processamento da dieta, como peletização e extrusão, pode alterar o estado físico do  
57 amido melhorando sua utilização pelos peixes. A combinação de atrito mecânico, umidade,  
58 altas temperaturas e pressão resulta na perda, muitas vezes irreversível, da estrutura cristalina  
59 do grânulo de amido, deixando-o com aspecto gelatinizado (Cheng & Hardy, 2003; NRC,  
60 2011) e melhora sua utilização pelos peixes (Honorato et al., 2010). A gelatinização do amido  
61 pelo processo de extrusão aumenta sua digestibilidade para diversas espécies com diferentes  
62 hábitos alimentares, como para o onívoro *Piaractus mesopotamicus* (Honorato et al., 2010) e  
63 os carnívoros *Oncorhynchus mykiss* (Cheng & Hardy, 2003) e *Salminus brasiliensis* (Moro,  
64 Silva e Cyrino, 2015).

65 O equipamento de extrusão tem um custo de obtenção cerca de 10 vezes maior que o  
66 equipamento de peletização (Bandyopadhyay & Rout, 2001). No entanto, a extrusão parece  
67 oferecer muitas vantagens sobre a peletização para a produção de alimentos de alta qualidade,  
68 ricos em gordura e estáveis na água (Arévalo, 2019), tais como aumento da digestibilidade e  
69 melhor palatabilidade. Resultados que podem ser obtidos a partir do cozimento dos  
70 ingredientes sobre variáveis controladas no processo, além de contribuir na diminuição da  
71 seletividade alimentar e redução na perda de nutrientes por lixiviação (Vieira et al., 2005).  
72 Além disso, alimentos extrusados apresentam maior digestibilidade, alta estabilidade da água,  
73 menor risco de contaminação bacteriana, aumento da quantidade de matérias-primas de baixo  
74 custo (grãos de cereais) e maior durabilidade para manuseio e armazenamento.

75 A determinação da digestibilidade é importante ferramenta para a avaliação  
76 nutricional de alimentos para peixes, pois quantifica a fração do nutriente que foi absorvida  
77 (De Silva & Anderson, 1998). Para Fuller (1991) os coeficientes de digestibilidade aparente  
78 (CDAs) oferecem valores próximos dos reais como medidas da utilização de cada  
79 componente da dieta na alimentação animal.

80 A melhor forma de produzir dietas nutricionalmente balanceadas é quantificando a  
81 capacidade desses animais de digerir e assimilar os nutrientes dos alimentos (Da Mota, 2012).  
82 Quanto maior o CDA do alimento, maior será o seu aproveitamento pelos animais, resultando  
83 em melhoria nos índices produtivos. Alimentos altamente digestíveis contribuem também  
84 para a diminuição da excreção de nutrientes no ambiente de cultivo (Oliveira Filho &  
85 Fracalossi, 2006).

86 A redução dos custos com alimentação de peixes pode se dar pela redução do teor de  
87 proteína na dieta, uma vez que ingredientes proteicos, principalmente os de origem animal,  
88 são os mais onerosos (Koch et al., 2014). Com o aumento do teor de energia da dieta, seja por  
89 meio da suplementação de lipídios ou carboidratos, para algumas espécies é possível reduzir o  
90 teor de proteína sem afetar negativamente o desenvolvimento, reprodução e saúde dos peixes  
91 (Ovie et al., 2005; García-Meilán et al., 2014; Zhenyan et al., 2017).

92 Entre as espécies cultivadas, a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) tem despontado  
93 em produtividade devido a sua precocidade produtiva, adaptabilidade a distintos sistemas de  
94 cultivo e, principalmente, devido ao seu hábito alimentar onívoro e pouco restritivo quanto as  
95 variações de ingredientes da dieta (Zimmermann & Hasper, 2003). Para diminuir seu custo  
96 produtivo, busca-se aumentar a eficiência de conversão alimentar e minimizar os impactos  
97 ambientais sobre o ambiente de cultivo, o que pode ser conseguido pelo aprimoramento na  
98 tecnologia de processamento das rações.

99           Esse estudo teve como objetivo avaliar os efeitos uma ração padrão nas formas  
100 peletizada e extrusada sob a digestibilidade aparente, parâmetros de crescimento e atividade  
101 de enzimas digestivas para tilápia no Nilo.

102

## 103 **2. Material e métodos**

104           O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Piscicultura do Departamento  
105 de Zootecnia da Universidade Federal de Santa Maria – RS (altitude 95 m, longitude 29°43’S,  
106 latitude 53°42’W), após aprovação do Comitê Interno de Ética em Experimentação Animal da  
107 UFSM, sob nº 1742080519.

108

### 109 *2.1 Preparo dos ingredientes, composição, formulação e processamento da dieta padrão*

110           A dieta padrão foi formulada para atender as exigências de 27% de proteína bruta e  
111 3075 kcal de energia digestível calculada estabelecidas por Botaro et al. (2007) (Tabela 1).

112           Inicialmente, todos os ingredientes foram peneirados em granulometria de 590 µm  
113 para melhor uniformidade e após, misturados manualmente. O óleo de soja e a água foram  
114 adicionados instantes antes do processo. Foram fabricadas, uma ração extrusada e outra  
115 peletizada, ambas com a mesma composição de ingredientes.

116           Para confecção, foi utilizada extrusora Inbramaq modelo Labor PQ – 30, rosca simples  
117 com capacidade para extrusão de 30 kg/hora e três controladores de temperatura, a matriz  
118 utilizada foi de 4,22 mm de diâmetro, velocidade do motor de 1500,0 rpm e velocidade das  
119 facas de 10,0 hertz. Na dieta extrusada usou-se rampa de temperatura de 60, 80 e 100°C, e na  
120 peletizada, 40, 50 e 60°C, ambas as dietas com 15% de umidade. Os produtos finais foram  
121 secos em estufa de circulação de ar (50°C por 24 horas), após o processamento, os pellets com  
122 tamanho de 2,5 mm foram armazenados a uma temperatura de -20 °C durante todo o período  
123 experimental.



124 A composição da dieta foi determinada através dos ingredientes com base em análises  
125 de proteína bruta determinada pelo método de micro-Kjeldahl ( $N \times 6,25$ ) (método 960.2 da  
126 AOAC 1995), lipídios extraídos a frio utilizando clorofórmio e metanol, de acordo com o  
127 método de Bligh & Dyer (1959) e avaliação da matéria seca (MS), que foi realizada em estufa  
128  $105^{\circ}\text{C}$  por 12 horas (método 925.09/17 da AOAC 1995), após, as amostras foram incineradas  
129 em mufla a  $550^{\circ}\text{C}$  por 5 horas (método 923.03 da AOAC 1995) para obtenção da matéria  
130 mineral (MM).

131 Nas dietas extrusada e peletizada também foram avaliadas as análises citadas  
132 anteriormente. Além destas, também foi quantificado o teor de amido disponível, estabelecido  
133 através do método 996.11 da AOAC com modificações propostas por Walter, Silva e  
134 Perdomo (2005). Os resultados foram expressos em g por 100 g em base seca (Tabela 1).

135

## 136 2.2 Animais e instalações, manejo alimentar e coleta de fezes

137 Foram utilizados 72 exemplares de tilápias do Nilo (peso médio inicial em gramas de  
138  $37,32 \pm 0,31$ ), (12 animais por unidade experimental), oriundos da Piscicultura Campestre,  
139 Paraíso do Sul/RS. Do início ao final do período experimental, a biomassa média variou de  
140 448 a 598 gramas. Por sete dias, os animais foram adaptados ao manejo e a dieta.

141 Para realizar o ensaio de digestibilidade *in vivo*, foi utilizado o sistema “Guelph”  
142 adaptado, com seis incubadoras de fibra de vidro com capacidade de 200L cada, com entrada  
143 e saída individuais, dispostas em sistema de recirculação de água. Dois filtros biológicos com  
144 pedra britada e um reservatório (1000 L), com temperatura controlada (climatizador de ar de  
145 12000 BTUs).

146 Na parte inferior de cada incubadora foram instalados registros de esfera adaptados  
147 para o acoplamento de tubos tipo *Falcon*, utilizados na coleta das fezes. Os tubos ficavam  
148 imersos em recipientes com gelo para minimizar a degradação das fezes por ação bacteriana.

149 Para a coleta, o registro era fechado e o tubo retirado. Na porção intermediária das  
150 incubadoras foi colocada tela para evitar acesso dos peixes às fezes depositadas no fundo.

151

### 152 *2.3 Dietas experimentais e manejo alimentar*

153 Foram avaliadas duas dietas que continham 1% de óxido de cromo III, utilizado como  
154 marcador inerte. Para a coleta de fezes de cada uma das dietas, os peixes de três incubadoras  
155 eram alimentados com dieta extrusada, e as outras três, com peletizada. Após período de  
156 adaptação de sete dias, foi dado início ao período de coleta, que perdurou até a obtenção de no  
157 mínimo 70 g de fezes úmidas por tratamento.

158 Os peixes foram mantidos durante a noite nas incubadoras, para posterior coleta de  
159 fezes, que era realizada diariamente às 08 horas. Durante o dia, após o manejo da coleta de  
160 fezes, alocava-se os peixes em outras unidades experimentais (125 L de volume útil)  
161 pertencentes ao mesmo circuito, para que fossem alimentados duas vezes ao dia, às 09 e 16  
162 horas, até a saciedade aparente.

163 A limpeza das incubadoras para retirada de resíduos aderidos às paredes do realizava-  
164 se às 14 horas. Após a limpeza, aguardava-se o tempo de uma hora para que as partículas em  
165 suspensão se depositassem no fundo do tanque. Assim, antes de recolocar os tubos (17 horas),  
166 descartava-se a água do fundo, o que acontecia abrindo-se o registro por aproximadamente  
167 cinco segundos. Então, recolocava-se os tubos de coleta nos tanques e acondicionavam-se em  
168 caixas de poliestireno expandido, com gelo, para minimizar a atividade microbiana.

169 Após a coleta de fezes realizava-se a centrifugação dos tubos em centrífuga (Sanyo,  
170 modelo MTDIIIPLUS) a 3000 rpm por cinco minutos, para precipitação das fezes. As fezes  
171 coletadas foram armazenadas úmidas em freezer (-20°C) até o momento das análises, sendo  
172 então levadas à estufa (60°C) por 24 horas para obtenção das amostras parcialmente secas, as  
173 quais foram maceradas e homogeneizadas para a realização das análises.

#### 174 2.4 Parâmetros físicos e químicos da água

175 A temperatura da água foi monitorada diariamente, com termômetro de bulbo de  
176 mercúrio. Os demais parâmetros de qualidade da água, tais como, pH, alcalinidade, amônia  
177 total, nitrito, oxigênio dissolvido e dureza total foram analisados semanalmente através de kit  
178 colorimétrico Alfakit®. Os parâmetros de qualidade de água do sistema de criação durante o  
179 período experimental foram os seguintes: temperatura ( $27,2 \pm 0,79^{\circ}\text{C}$ ), amônia total ( $0,20 \pm$   
180  $0,09$  ppm), nitrito ( $0,01 \pm 0,01$  ppm), alcalinidade ( $36,00 \pm 7,87$  mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ ), dureza ( $29,70 \pm$   
181  $16,44$  mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ ), pH ( $7,33 \pm 0,29$ ) e oxigênio dissolvido ( $5,83 \pm 0,29$  ppm). Os  
182 parâmetros estão de acordo para a criação de tilápias do Nilo, conforme Kubitza (2000).

183

#### 184 2.5 Coleta de dados e variáveis analisadas

185 Foram realizadas duas biometrias, ao início e final do período experimental (seis  
186 semanas). Para tais procedimentos, os animais passaram por jejum de 24 horas e foram  
187 anestesiados com Benzocaína (100 mg/L). No final do período experimental, seis animais por  
188 tratamento foram eutanasiados por overdose de benzocaína (10%, 250 mg/L) (AVMA, 2013),  
189 para determinação da composição centesimal.

190 Outros nove animais por tratamento foram eutanasiados para determinação de  
191 rendimento de carcaça (RC) (%):  $(\text{peso do peixe eviscerado}/\text{peso do peixe inteiro}) \times 100$ ;  
192 índice digestivo-somático (IDS) (%):  $(\text{peso do trato digestório}/\text{peso do peixe inteiro}) \times 100$ ;  
193 índice hepato-somático (IHS) (%):  $(\text{peso fígado}/\text{peso do peixe inteiro}) \times 100$ ; quociente  
194 intestinal (QI):  $(\text{comprimento do trato digestório}/\text{comprimento total do peixe})$ .  
195 Posteriormente, os intestinos foram utilizados para a determinação de enzimas digestivas.

196

#### 197 2.3.1 Análise de enzimas digestivas

198 Nove peixes por tratamento foram utilizados para determinar a atividade das enzimas  
199 tripsina, quimotripsina e amilase intestinal. Os intestinos coletados foram homogeneizados em  
200 solução tampão (10 mM de fosfato/20 mM de Tris).

201 As amostras foram então centrifugadas e os sobrenadantes foram utilizados nos  
202 ensaios como fonte enzimática. Para determinação da atividade da enzima tripsina, TAME  
203 (cloridrato de éster de metil- $\alpha$ -p-toluenossulfonil-L-arginina e metílico) foi utilizado como  
204 substrato. Os extratos intestinais foram incubados por dois minutos em uma solução tampão  
205 de 2 mL de Tris/CaCl<sub>2</sub>, pH 8,1.

206 Para a determinação da quimotripsina, o substrato utilizado foi o BTEE (éster etílico  
207 de benzoil-L-tirosina). Os extratos foram incubados por dois minutos em uma solução tampão  
208 de 2 mL de Tris/CaCl<sub>2</sub> (2 mL), pH de 7,8. A atividade da tripsina foi expressa em  $\mu$ mol de  
209 TAME hidrolisado/minuto/mg de proteína, e a atividade da quimotripsina em  $\mu$ mol de  
210 BTEE/minuto/mg de proteína. As leituras foram realizadas em um espectrofotômetro,  
211 absorvância de 247 e 256 nm, respectivamente, seguindo a metodologia descrita por Hummel  
212 (1959).

213 A atividade de amilase foi determinada em tampão fosfato-citrato (0,2 M, pH 7,0,  
214 NaCl 0,5%) com concentração de amido de 2,5%. A reação foi interrompida com a adição de  
215 ZnSO<sub>4</sub> 5% e Ba (OH)<sub>2</sub> 0,3 N. A atividade amilohidrolítica foi estimada segundo o método  
216 proposto por Bernfeld (1955) modificado. A determinação da hidrólise do amido foi segundo  
217 metodologia descrita por Park & Johnson (1949). A leitura foi realizada em 660 nm.

218 A proteína dos extratos brutos foi determinada pelo método de Bradford (1976)  
219 utilizando albumina de soro bovino como padrão.

220

221 *2.3.4 Análise de digestibilidade aparente*

222 Foi quantificada a concentração de óxido de cromo III pelo método  
223 espectrofotométrico da 1,5-difenilcarbazida (Bremer Neto et al., 2005). Os teores de proteína  
224 bruta foram determinados pelo método de micro-Kjeldahl ( $N \times 6,25$ ) (método 960.2 da  
225 AOAC 1995). A avaliação da matéria seca (MS) foi realizada em estufa a 105°C por 12 horas  
226 (método 925.09/17 da AOAC 1995), posteriormente, as amostras foram incineradas em mufla  
227 a 550°C por 5 horas (método 923.03 da AOAC 1995) para obtenção da matéria mineral  
228 (MM). Os lipídios extraídos a frio utilizando clorofórmio e metanol, de acordo com o método  
229 de Bligh & Dyer (1959). Todas as determinações foram feitas nas fezes e nas dietas. O  
230 cálculo do coeficiente de digestibilidade aparente das dietas foi feito pela fórmula descrita por  
231 Cho & Slinger (1979):

$$\text{CDA (\%)} = 100 - \left[ 100 \times \left( \frac{Id}{If} \times \frac{Nf}{Ni} \right) \right]$$

232  
233 Onde: CDA = coeficiente de digestibilidade aparente; Id = concentração de cromo na dieta  
234 (%); If = concentração de cromo nas fezes (%); Nd = concentração do nutriente na dieta (%);  
235 Nf = concentração do nutriente nas fezes (%).

236

#### 237 *2.4 Delineamento experimental*

238 O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com dois tratamentos e  
239 três repetições. Os dados foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas  
240 pelo teste t de Student ( $P < 0,05$ ).

241

### 242 **3. Resultados**

243 A Tabela 2 mostra os resultados de composição química das dietas fornecidas aos  
244 peixes em experimento, bem como das fezes desses animais. Observa-se que houve diferença  
245 significativa para matéria mineral, matéria seca e extrato etéreo, encontrando-se os maiores  
246 valores para ração peletizada.

247 Na avaliação da composição química das fezes dos peixes observa-se diferença  
248 significativa para o conteúdo de proteína bruta, onde se encontrou maior conteúdo de proteína  
249 nas fezes dos peixes que receberam a ração peletizada.

250 A composição corporal total das tilápias do Nilo submetidas às dietas extrusada e  
251 peletizada está na Tabela 3. Os resultados mostram que não foram encontradas diferenças  
252 significativas entre os tratamentos.

253 Na tabela 4 estão os valores de rendimento de carcaça e índices digestivos das tilápias  
254 do Nilo que receberam as dietas extrusada e peletizada. Não houve diferença entre esses  
255 parâmetros.

256 Com relação à atividade de enzimas digestivas, não foram observadas diferenças  
257 significativas entre os tratamentos para quimiotripsina, tripsina e amilase das tilápias do Nilo  
258 (Tabela 5).

259 Os coeficientes de digestibilidade aparente (CDA) da matéria seca (MS), proteína  
260 bruta (PB), matéria mineral (MM), matéria orgânica (MO) e extrato etéreo (EE) das dietas  
261 extrusada e peletizada estão apresentados na Tabela 6.

262

#### 263 **4. Discussão**

264 A substituição de alimento *in natura* pelo extrusado para animais de interesse  
265 zootécnico vem apresentando melhores resultados em relação ao coeficiente de  
266 digestibilidade e à taxa de eficiência proteica. O processo de extrusão melhora  
267 significativamente a digestibilidade (Hernández et al.,1994; Venou et al., 2003), como  
268 relatado em alguns estudos em peixes (Booth et al., 2002; Sklan et al., 2004). Dentre os  
269 fatores que podem influenciar a digestibilidade em peixes, destacam-se a espécie, idade,  
270 condições fisiológicas, temperatura da água, salinidade, composição, quantidade de alimento  
271 ingerido e tamanho da partícula (Hepher, 1988).

272 Foram observadas diferenças significativas na composição química das dietas  
273 extrusada e peletizada, no que diz respeito à matéria mineral e extrato etéreo, que obtiveram  
274 um teor mais elevado na dieta peletizada (Tabela 2), acredita-se que isto ocorreu devido à  
275 forma de processamento utilizado, uma vez que na extrusão podem ocorrer perdas desses  
276 nutrientes através da alta temperatura utilizada no processo, podendo promover o  
277 escurecimento do produto pela reação de Maillard e redução na qualidade das proteínas  
278 (Embrapa, 2006). Mas, a ração extrusada facilita o manejo alimentar e a estabilidade da  
279 mesma na água (Cheng & Hard, 2003), o que não ocorre no processo de peletização.

280 Na peletização ocorre aglutinação dos ingredientes através de compressão mecânica, o  
281 que lhe confere certa estabilidade na água e diminuição de perdas por lixiviação (Rodrigues &  
282 Fernandes, 2006), oferece vantagem no transporte e armazenamento, em relação à dieta  
283 extrusada, devido à sua maior densidade.

284 Já a extrusão é o processo de alta temperatura e pressão que provoca maior  
285 gelatinização do amido e exposição dos nutrientes contidos no interior das células vegetais,  
286 facilitando a ação digestiva, melhorando a eficiência alimentar pelos peixes (Kiang, 1993). A  
287 extrusão pode oferecer muitas vantagens sobre a peletização para a produção de alimentos de  
288 alta qualidade, dentre elas a alta estabilidade em água, menor risco de contaminação  
289 bacteriana, aumento da quantidade de matérias-primas de baixo custo e maior durabilidade  
290 para manuseio e armazenamento (Arévalo, 2019).

291 Na composição centesimal das fezes observou-se maior excreção de proteína bruta ( $p$   
292 = 0,000), para os peixes que receberam a ração na forma peletizada. A excessiva excreção  
293 proteica não é desejada na aquicultura, em termos de prejuízo tanto para o animal, quanto para  
294 o meio ambiente. Uma vez que os compostos nitrogenados e fosforados são os principais  
295 produtos de excreção dos peixes (Lazzari & Baldisserotto, 2008), devem-se encontrar formas

296 de minimizar essa excreção, o que pode ser alcançado pela forma de processamento das  
297 dietas.

298 A produção de resíduos metabólicos de nitrogênio (N) por esses animais é  
299 determinada por diversos fatores endógenos e exógenos como genética, idade, tamanho,  
300 ambiente de criação e dieta (Mallekh et al., 1999). Nos peixes, a excreção de nitrogênio na  
301 forma de amônia é predominante. A elevação da excreção de amônia ocorre devido a uma alta  
302 ingestão proteica ou ainda por dietas inadequadamente formuladas e processadas, as quais  
303 causam desequilíbrio na síntese proteica. (Lazzari & Baldisserotto, 2008). O excesso de  
304 nitrogênio nos efluentes dos sistemas de aquicultura leva à eutrofização e uma consequente  
305 mudança no ecossistema aquático (Jahan et al., 2003).

306 Um importante avanço na nutrição de peixes foi o uso de dietas extrusadas, por  
307 possuírem maior estabilidade e digestibilidade, proporcionando uma significativa redução da  
308 quantidade de nutrientes excretados na água de criação (Johnsen et al., 1993). Hilton et al.,  
309 1981; De Silva & Owoyemi, 1983 verificaram que o processamento da extrusão aumenta o  
310 tempo de trânsito da ração no trato digestivo, contribuindo para uma melhor utilização. Em  
311 nosso estudo, podemos observar que a excreção de proteína nas fezes foi maior para os peixes  
312 que receberam a dieta na forma peletizada, esse resultado confirma o melhor aproveitamento  
313 da proteína, com redução da excreção deste nutriente quando essa mesma formulação de dieta  
314 foi fornecida na forma extrusada.

315 A tilápia do Nilo possui grande capacidade de utilizar carboidratos nas formas mais  
316 complexas e de tolerar dietas com elevados níveis de carboidratos (Degani & Revach, 1991).  
317 Em nosso estudo, as rações continham 35,76% de amido. Esse nível de amido é aceitável para  
318 tilápia do Nilo, pois utiliza eficientemente o amido do milho como fonte de energia (Boscolo  
319 et al., 2002). Para o “silver barb” (*Puntius gonionotus*) que é uma carpa de hábito onívoro, o



320 nível de carboidrato da ração pode ser aumentado de 26 para 34% sem afetar o crescimento  
321 (Mohanta et al., 2007).

322 Takeuchi et al. (1990) compararam alevinos de *Ornithorhynchus mykiss* e *Cyprinus*  
323 *carpio* alimentados com dietas contendo fontes de carboidratos (amido de batata, amido de  
324 milho, farinha de trigo, milho e centeio) extrusadas ou não. Observaram que, em ambas as  
325 espécies, o crescimento e as taxas de eficiência alimentar e eficiência proteica foram maiores  
326 nos peixes alimentados com rações contendo ingredientes extrusados, independente do hábito  
327 alimentar da espécie.

328 Os resultados obtidos em nossa pesquisa para o CDA da MS foi 72,85 e 73,75% para a  
329 forma extrusada e peletizada, respectivamente. Valores esses que condizem com o estudo  
330 realizado por Pedron (2010) utilizando fontes amídicas contendo diferentes proporções de  
331 amilose:amilopectina e duas formas físicas (amido cru e gelatinizado) para *Rhamdia quelen*,  
332 nesse estudo a gelatinização do amido proporcionou maior digestibilidade da matéria seca  
333 (73,36%) e amido (93,90%) para a espécie. O mesmo autor relata que pela maior  
334 digestibilidade, a gelatinização do amido pode causar absorção mais rápida da glicose em  
335 relação aos outros nutrientes, principalmente em relação à energia e proteína.

336 O índice hepato-somático (IHS) está relacionado com a nutrição dos peixes e é muito  
337 importante, pois pode mostrar se os peixes estão utilizando suas reservas metabólicas  
338 (glicogênio, lipídeos), ou estão acumulando estas no fígado (Yogata & Oku, 2000). O fígado é  
339 o centro metabólico do organismo e uma maior sobrecarga pode causar uma hiperplasia ou  
340 hipertrofia resultando num aumento do IHS (Meurer et al., 2009). O presente estudo  
341 demonstrou que não houve diferença neste parâmetro, porém a dieta extrusada obteve um  
342 menor índice quando comparada com a peletizada.

343 O perfil ou a concentração de enzimas digestivas pode ser alterado pelo tipo, fonte e  
344 quantidade de nutrientes ingeridos (Lundstedt et al., 2004). A absorção de nutrientes pelo

345 peixe depende da taxa em que estes são absorvidos no lúmen intestinal. A capacidade de  
346 digestão dos carboidratos está fortemente ligada à atividade enzimática dos peixes, a qual  
347 varia em função dos seus hábitos alimentares (Kaushik, 2001).

348 As enzimas digestivas avaliadas neste estudo não apresentaram diferença estatística,  
349 com exceção da amilase ( $P = 0,038$ ), sendo maior na dieta extrusada. Normalmente fontes de  
350 carboidratos mais complexas e sem gelatinização e as mais simples, como a glicose, não se  
351 mostram boas fontes na alimentação de peixes nativos de hábito alimentar onívoro, como o  
352 *Piaractus mesopotamicus* (Boscolo et al., 2011). No entanto, amidos submetidos a processos  
353 térmicos que potencializam a gelatinização são bem utilizados, inclusive com níveis de 40%  
354 de inclusão (Ramirez, 2005). Amidos pré-gelatinizados alcançam índices de digestibilidade  
355 aparente de até 99%, com inclusão de até 45% nas dietas (Baldan, 2008).

356 Usualmente, a atividade da amilase no trato digestório está relacionada à composição  
357 da dieta, principalmente quanto à inclusão de carboidratos: à medida que esta aumenta, ocorre  
358 aumento da atividade da amilase (Pedrotti, 2011). Contudo, em nosso estudo não houve  
359 aumento no nível de amido nas dietas, foi mantido igual para os dois tratamentos, porém as  
360 formas de processamento foram diferentes. Esse resultado pode demonstrar que a extrusão de  
361 rações para peixes melhora o aproveitamento dos carboidratos, uma vez que ocorre aumento  
362 da atividade da enzima amilase.

363 A determinação da digestibilidade têm sido uma das principais ferramentas para  
364 avaliar a qualidade de uma dieta ou ingrediente, indicando o seu valor nutricional, assim  
365 como dos níveis de nutrientes não digeridos que irão compor a maior parte dos resíduos  
366 acumulados no meio aquático (Furuya et al., 2008).

367 Os coeficientes de digestibilidade aparente (CDA) da matéria seca (MS), proteína  
368 bruta (PB) e matéria orgânica (MO) dos ingredientes estão apresentados na Tabela 7. O CDA  
369 da matéria seca permite estimar a quantidade de resíduos excretados que são liberados no

370 ambiente, podendo ser utilizado como uma das ferramentas pra medir o impacto ambiental em  
371 aquicultura (Guimarães et al., 2012).

372 O resultado para CDA da MS obtido nesta pesquisa foi semelhante ao relatado por  
373 Oliveira et al. (1998), que ao trabalharem com *Oreochromis niloticus* (massa corporal de 1,92  
374  $\pm$  0,04g) encontraram valores que variaram de 74,74 a 82,45%, de acordo com o nível de  
375 inclusão da torta de dendê em dietas extrusadas (7 a 35%) e, superior ao coeficiente de  
376 digestibilidade aparente de 54,80% encontrado por Oliveira et al. (1997), em experimento  
377 com *Piaractus mesopotamicus* com massa corporal de 180g.

378 Braga et al. (2009), determinaram coeficientes de digestibilidade aparente de seis  
379 coprodutos industriais (farelos da parte aérea da mandioca, algaroba, algodão, cacau, graviola  
380 e torta de dendê) fornecidos para *Oreochromis niloticus* de 300g, na forma peletizada.  
381 Encontraram CDA MS para farelo da parte aérea da mandioca o valor de 26,03%, já para o  
382 farelo de graviola foi 53,07%, valores relativamente baixos se comparados ao nosso estudo  
383 72,84% (extrusada) e 73,5% (peletizada). Essa diferença está relacionada à qualidade dos  
384 ingredientes, considerando que a ração padrão testada em nosso estudo utiliza  
385 majoritariamente macro ingredientes com elevado valor nutricional (Farinha de peixe e amido  
386 de milho).

387 Isso pode ser explicado devido ao fato de ingredientes utilizados no estudo supracitado  
388 serem coprodutos industriais, ou seja, ingredientes carentes de nutrientes essenciais ao  
389 metabolismo do peixe. Nossa dieta, independente do processamento foi absorvida e  
390 metabolizada pelos animais, como pode ser observado nos coeficientes de digestibilidade  
391 aparente analisados.

392 Guimarães et al. (2008), avaliaram a digestibilidade dos nutrientes e a disponibilidade  
393 de aminoácidos de cinco ingredientes extrusados para *Oreochromis niloticus*. O processo de  
394 extrusão aumentou o CDA dos alimentos, principalmente no milho, arroz e sorgo, pois esses

395 ingredientes apresentaram maior CDA de matéria seca e energia. Os valores de CDA da MS,  
396 após extrusão dos farelos de arroz e trigo foram 55,59 e 45,88%, respectivamente. Desta  
397 maneira, confirma-se a contribuição do processamento utilizado sobre o CDA MS para dietas  
398 e/ou alimentos ricos em amido (Cheng & Hardy, 2003).

399 O CDA PB obtido nos tratamentos deste experimento foi superior ao encontrado por  
400 Souza & Hayashi (2003) com coeficiente de digestibilidade aparente de 88,70% para  
401 *Oreochromis niloticus*. Guimarães et al. (2008) avaliaram a digestibilidade dos nutrientes e a  
402 disponibilidade de aminoácidos de cinco ingredientes extrusados (milho, farelo de trigo,  
403 quirera de arroz, farelo de arroz e sorgo) para *Oreochromis niloticus*. Relataram que o  
404 processo de extrusão aumentou o CDA dos alimentos, principalmente em milho, arroz e  
405 sorgo, pois esses ingredientes apresentaram maior CDA de matéria seca e energia, em  
406 comparação com os relatados por Pezzato et al. (2002) usando dietas purificadas em pellets.

407 De acordo com Botting (1991), o amido e alguns componentes de fibra de produtos  
408 vegetais são normalmente quebrados, expandidos e gelatinizados sob as altas forças de calor,  
409 pressão e cisalhamento do processo de extrusão, enquanto os complexos de proteínas em  
410 vários ingredientes de uma dieta também são desnaturados e plastificados, tornando-se mais  
411 suscetíveis ao processo digestivo. As observações dos autores citados sobre como o  
412 processamento da dieta pode influenciar na digestibilidade de alguns alimentos podem ser  
413 correlacionados com os resultados desta pesquisa, demonstrando que, preferencialmente o  
414 processo de extrusão promove benefícios quanto ao aproveitamento pelo peixe.

415 A extrusão torna-se preferida à peletização, por apresentar inúmeras vantagens, como  
416 mudanças físicas e químicas do material, gelatinização do amido e inativação de alguns  
417 fatores antinutricionais, além de provocar um aumento na exposição dos nutrientes contidos  
418 no interior das células à ação digestiva dos peixes.

419

420 **5. Conclusão**

421 Em nosso estudo podemos observar que a forma de processamento das rações não  
 422 interfere nos coeficientes de digestibilidade. No entanto, a menor excreção de proteína fecal,  
 423 demonstra que o processo de extrusão melhora o aproveitamento do amido como fonte de  
 424 energia, bem como melhora o aproveitamento da proteína, minimizando a excreção de  
 425 nitrogênio para o meio ambiente.

426

427 **Agradecimentos**

428 Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela  
 429 bolsa de pesquisa (Leila Picolli da Silva), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de  
 430 Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos de Mestrado da aluna Marina Osmari Dalcin.

431

432 **Referências**

- 433 AOAC, 1995. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists,  
 434 Washington, DC.  
 435  
 436 AVMA. Guidelines for the Euthanasia of Animals: 2013 Edition. Association American  
 437 Veterinary Medical, 2013. Disponível em:  
 438 <<https://www.avma.org/KB/Policies/Documents/euthanasia.pdf>>  
 439  
 440 ARÉVALO A M. 2019. Formulação e avaliação físico-química e tecnológica de rações  
 441 extrudadas para peixes. 92 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) –  
 442 Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro.  
 443  
 444 BALDAN A P. 2008. Avaliação da tolerância do pacu (*Piaractus mesopotamicus*) a  
 445 carboidratos. 106 f. Tese (Doutorado em Aquicultura) – Universidade Estadual Paulista,  
 446 Jaboticabal.  
 447  
 448 BANDYOPADHYAY S & ROUT R K. 2001. Aquafeed Extrudate Flow Rate and Pellet  
 449 Characteristics from Low-Cost Single-Screw Extruder. J Aquat Food Prod Technol, v. 10, n.  
 450 2, p. 3-15.  
 451  
 452 BERNFELD P. Amylases  $\alpha$  e  $\beta$ : colorimetric assay methods. 1955. In: COLOWICK, S. P.;  
 453 KAPLAN, N. O. Methods in enzymology. New York: Academic Press, p. 149-158.  
 454  
 455 BLIGH E G & DYER W J. 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification.  
 456 Canadian Journal Biochemistry Physiology, n.37, p.911-917.

- 457  
458 BOMFIM M A D & LANNA E A T. 2004. Fatores que afetam os coeficientes de  
459 digestibilidade nos alimentos para peixes. Revista Eletrônica Nutritime, v. 1, n. 1, p. 20-30,  
460 jul/ago de 2004. Disponível em:  
461 [http://www.nutritime.com.br/arquivos\\_internos/artigos/003V1N1P20\\_30\\_JUL2004.pdf](http://www.nutritime.com.br/arquivos_internos/artigos/003V1N1P20_30_JUL2004.pdf) .  
462 Acesso em: 20 jan. 2020.  
463
- 464 BOOTH M A, ALLAN G L, EVANS A J & GLEESON V P. 2002. Effects of steam pelleting  
465 or extrusion on digestibility and performance of silver perch *Bidyanus bidyanus*. Aquacult  
466 Res, New York, v.33, n.14, p.1163-1173.  
467
- 468 BOSCOLO W R, HAYASHI C & MEURER F. 2002. Digestibilidade aparente da energia e  
469 nutrientes de alimentos convencionais e alternativos para a tilápia-do-nylo (*Oreochromis*  
470 *niloticus*, L.). R. Bras. Zootec., v.13, n.2, p.539-545.  
471
- 472 BOSCOLO W R, SIGNOR A, FREITAS J D, BITTENCOURT F & FEIDEN A. 2011.  
473 Nutrição de peixes nativos. R. Bras. Zootec., v. 40, n. supl. especial.  
474
- 475 BOTARO D, FURUYA W M, SILVA L C R, SANTOS L D, SILVA T S C & SANTOS V G.  
476 2007. Redução da proteína da dieta com base no conceito de proteína ideal para tilápias-do-  
477 nylo (*Oreochromis niloticus*) criadas em tanques rede. R Bras Zootec, 36: 517-525.  
478
- 479 BOTTING, C.C. 1991. Extrusion technology in aquaculture feed processing. In: Proceedings  
480 of the aquaculture feed processing and nutrition workshop (Akiyama, D.M. & Tan, R.K.H.),  
481 pp. 129- 137, Thailand and Indonesia, 19-25 September 1991. American Soybean  
482 Association, Singapore, Republic of Singapore.  
483
- 484 BRADFORD M. 1976. A Rapid and Sensitive Method for the Quantitation of Microgram  
485 Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein-Dye Binding. Anal. Biochemi., 72,  
486 248-254.  
487
- 488 BRAGA L G T, RAMOS A P S, CARVALHO J S O, AZEVEDO R V & OLIVEIRA S J R.  
489 2009. Digestibilidade de coprodutos agroindustriais para Tilápia do Nilo (*Oreochromis*  
490 *niloticus*) de 300 g. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE NUTRIÇÃO E SAÚDE DE  
491 PEIXES, 3., Botucatu, 4-6/nov./2009. Anais... Botucatu. 1 CD-ROM.  
492
- 493 BREMER NETO H, GRANER C A F & PEZZATO L E. 2005. Determinação de rotina do  
494 crômio em fezes, como marcador biológico, pelo método espectrofotométrico ajustado da 1,5  
495 difenilcarbazida. Ciênc Rural v.35, n.3, p. 691-697.  
496
- 497 BUREAU D P, HARRIS A M & CHO C Y. 1999. Apparent digestibility of rendered animal  
498 protein ingredients for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture, 180: 345–358.  
499
- 500 CHENG Z J & HARDY R W. 2003. Effects of extrusion processing of feed ingredients on  
501 apparent digestibility coefficients of nutrients for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*).  
502 Aquacul nut, 9(2), 77-83.  
503
- 504 CHO C Y & SLINGER S J. 1979. Apparent digestibility measurement in feedstuffs for  
505 rainbow trout. In: Finfish Nutrition and Fish Feed Technology, 1979, Berlim. Anais...  
506 Berlim, v.2, p.239-247.

- 507  
508 DA MOTA C S. 2012. Diferentes métodos de coleta de fezes sobre os coeficientes de  
509 digestibilidade aparente para o tambaqui (*Colossoma macropomum*). 54 p. Trabalho de  
510 conclusão de curso (Bacharel em Zootecnia) – Universidade Federal de Goiás, Jataí, Goiás.  
511
- 512 DEGANI G & REVACH A. 1991. Digestive capabilities of three commensal fish species:  
513 carp, *Cyprinus carpio* L., Tilápia, *Oreochromis aureus* x *O. niloticus*, and African catfish,  
514 *Clarias gariepinus* (Burchell, 1882) *Aquacult Fish Manage*, v. 22, p.397-403.  
515
- 516 DE SILVA S S & ANDERSON T A. 1998. Fish nutrition in aquaculture. London: Chapman  
517 & Hall, 319p.  
518
- 519 DE SILVA S S & OWOYEMI A A. 1983. Effect of dietary quality on the gastric evacuation  
520 and intestinal passage in *Sarotherodon mossambicus* (Peters) fry. *J Fish Biol*, v. 23, p. 347 –  
521 355.  
522
- 523 EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Brasil). Trigo: extrusão.  
524 Região Sul do Brasil. Passo Fundo - RS: EMBRAPA, 2006.  
525
- 526 FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2018. The state of world  
527 fisheries and aquaculture 2018 – Meeting the sustainable development goals. Rome, Food and  
528 Agriculture Organization.  
529
- 530 FULLER M F. 1991. Methodologies for the measurement of digestion. In: DIGESTIVE  
531 physiology IN PIGS. V th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PHYSIOLOGY IN PIGS,  
532 1991, Wageningen (Doorwerth). Proceedings ... Wageningen: Netherlands v. 54, p. 273-288.  
533
- 534 FURUYA W M, SALES P J P, SANTOS L D, SILVA L C R, SILVA T C S & FURUYA V  
535 R B. 2008. Composição química e coeficientes de digestibilidade aparente dos subprodutos  
536 desidratados das polpas de tomate e goiaba para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*).  
537 Boletim do Instituto de Pesca, v.34, n.4, p.505-510. Disponível em:  
538 <[ftp://ftp.sp.gov.br/ftppesca/34\\_4\\_505-510.pdf](ftp://ftp.sp.gov.br/ftppesca/34_4_505-510.pdf)>. Acesso em 20 jan 2020.  
539
- 540 GARCÍA-MEILÁN I, ORDÓÑEZ-GRANDE B & GALLARDO M A. 2014. Meal timing  
541 affects protein-sparing effect by carbohydrates in sea bream: Effects on digestive and  
542 absorptive processes. *Aquaculture*, 434, 121-128.  
543
- 544 GONÇALVES K N V. 2016. Granulometria da matéria prima e configuração da extrusora  
545 sobre os parâmetros de processo, características do extrusado e digestibilidade de rações para  
546 gatos. 114 p. Tese (Doutorado em Medicina Veterinária) – Universidade Estadual Paulista,  
547 Jaboticabal, São Paulo.  
548
- 549 GUIMARÃES I G, PEZZATO L E, BARROS M M & TACHIBANA L. 2008. Nutrient  
550 digestibility of cereal grain products and by-products in extruded diets for Nile tilapia. *J*  
551 *World Aquacult Soc*, Baton Rouge, 39: 781-789.  
552
- 553 GUIMARÃES I G, PEZZATO L E, BARROS M M & FERNANDES R N. 2012. Apparent  
554 nutrient digestibility and mineral availability of protein-rich ingredients in extruded diets for  
555 Nile tilapia. *R Bras Zootec*, v.41, n.8, p.1801-1808.  
556

- 557 HEPHER B. 1988. Nutrition of Pond Fishes. 1.ed. New York: Cambridge University Press,  
558 p.388.  
559
- 560 HERNÁNDEZ M, TAKEUCHI T & WATANABE, T. 1994. Effect of gelatinized corn meal  
561 as a carbohydrate source on growth-performance, intestinal evacuation, and starch digestion  
562 in common carp. Fish Sci, Tokyo, v.60, n.5, p.579-582.  
563
- 564 HILTON J, CHO C & SLINGER S. 1981. Effect of extrusion processing and steam pelleting  
565 diets on pellet durability, pellet water absorption, and the physiological response of rainbow  
566 trout (*Salmo gairdneri* R.). Aquaculture, v. 25, n. 2-3, p. 185-194.  
567
- 568 HONORATO C A, ALMEIDA L C, NUNES C S, CARNEIRO D J & MORAES G. 2010.  
569 Effects of processing on physical characteristics of diets with distinct levels of carbohydrates  
570 and lipids: the outcomes on the growth of pacu (*Piaractus mesopotamicus*). Aquacul Nut,  
571 16(1), 91-99.  
572
- 573 HUMMEL B C W, 1959. A modified spectrophotometric determination of chymotrypsin,  
574 trypsin and thrombin. Can. J. Biochem. Physiol. 37, 1393–1399.  
575
- 576 KAUSHIK S J. 2001. Carbohydrate nutrition: importance and limits of carbohydrate supplies.  
577 In: GUILLAUME, J.; KAUSHIK, S.J.; BERGOT, P., et al. Nutrition and feeding of fish and  
578 crustaceans. Springer Praxis, Chichester, cap. 8, p. 131- 144.  
579
- 580 KIANG M J. 1993. La extrusion como herramienta para mejorar el valor nutritivo de los  
581 alimentos. In: Simposium Internacional de Nutrición y Tecnología de Alimentos para  
582 Acuicultura. 1993, Nuevo León. Anais...Nuevo León: Universidad de Nuevo León, p. 415-  
583 429.  
584
- 585 KOCH J F A, ESPERANCINI M S T, BARROS M M, DE CARVALHO P L P F, JUNIOR A  
586 C F, TEIXEIRA C P & PEZZATO L E. 2014. Avaliação econômica da alimentação de  
587 tilápias em tanques-rede com níveis de proteína e energia digestíveis. Boletim Do Instituto De  
588 Pesca, v. 40(4), p. 605-616.  
589
- 590 KUBITZA F. 2000. Tilápias: Qualidade da água, sistemas de cultivo, planejamento da  
591 produção, manejo nutricional e alimentar e sanidade. Parte I. Revista Panorama da  
592 Aquicultura, v.20, n. 119, p.1-6.  
593
- 594 JAHAN P, WATANABE T, KIRON I & SATOH, S H. 2003. Improved carp diets based on  
595 plant protein sources reduce environmental phosphorus loading. Fish Sci, Tokyo, v. 69,  
596 p.219-225.  
597
- 598 JOHNSEN F, HILLESTAD M & AUSTRENG E. 1993. High energy diets for Atlantic  
599 salmon. Effects on pollution. In: KAUSHIK, S.J., LUQUET, P. (Eds.), Fish nutrition in  
600 practice. Les Colloques n.61, INRA ed., Versailles Cedex, France, p. 391-402.  
601
- 602 LAZZARI R & BALDISSEROTTO B. 2008. Nitrogen and phosphorus waste in fish  
603 farming. Boletim do Instituto de Pesca, v. 34, n. 4, p. 591-600.  
604



- 605 LUNDSTEDT L M, MELO J F B & MORAES G. 2004. Digestive enzymes and metabolic  
606 profile of *Pseudoplatystoma coruscans* (Teleostei: Siluriformes) in response to diet  
607 composition. *Comp Biochem Physiol, Amsterdam, Part B*, v. 137, n. 3, p. 331-339.  
608
- 609 MALLEKH R, BOUJARD T & LAGARDÈRE J P. 1999 Evaluation of retention and  
610 environmental discharge of nitrogen and phosphorus by farmed turbot (*Scophthalmus*  
611 *maximus*). *N Am J Aquac*, v. 61, p.141-145.  
612
- 613 MEURER F, COSTA M M, BARROS D A D, OLIVEIRA S T L & PAIXÃO P S. 2009.  
614 Brown propolis extract in feed as a growth promoter of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*,  
615 *Linnaeus 1758*) fingerlings. *Aquacult Res. Medford* v.40, n.5, p.603-608.  
616
- 617 MEYER G, FRACALOSSO D M & BORBA M R. 2004. A importância da quantidade de  
618 energia na ração de peixes. *Panorama da Aquicultura*, v. 14, p. 53-57.  
619
- 620 MOHANTA K N, MOHANTY S N & JENA J K. 2007. Protein-sparing effect of  
621 carbohydrate in silver barb, *Puntius gonionotus* fry. *Aquacult Nut, Oxford*, v. 13, n. 4, p. 311-  
622 317.  
623
- 624 MOMBACH P I. 2018. Hidrolisados pécticos na dieta de tilápia do Nilo e jundiá: implicações  
625 nutricionais e potencial prebiótico. 100 p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade  
626 Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2018.  
627
- 628 MORO G V, SILVA T S C & CYRINO J E P. 2015. Feed processing affected the  
629 digestibility of carbohydrate sources for dourado *Salminus brasiliensis*. *Aquacul Nut*, 23(1),  
630 40-45.  
631
- 632 NRC - National Research Council, 2011. Nutrient requirements of fish and shrimp. National  
633 academies press.  
634
- 635 OLIVEIRA A C B, CANTELMO O A, PEZZATO L E, RIBEIRO M A R & BARROS M M.  
636 1997. Coeficiente de digestibilidade aparente da torta de dendê e do farelo de coco em pacu  
637 (*Piaractus mesopotamicus*). *Rev Unimar*, v.19, n.3, p.897-903.  
638
- 639 OLIVEIRA A C B, PEZZATO L E, BARROS M M & GRANER A. 1998. Digestibilidade  
640 aparente e efeito macromicroscópico em tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*) arraçadas  
641 com torta de dendê. *Rev Bras Zootec*, v.27, n.2, p.210-215.  
642
- 643 OLIVEIRA FILHO P R C & FRACALOSSO D M. 2006. Coeficiente de digestibilidade  
644 aparente de ingredientes para juvenis de jundiá. *R Bras Zootec*, v. 35, n.4, p. 1581- 1587.  
645
- 646 OVIE S O, SADIKU S O E & OVIE S I. 2005. Protein-sparing activity of lipid and  
647 carbohydrate in the Giant African Mudfish, *H. longifilis* diets. *J Appl Sci Environ Manage*,  
648 9(3), 108-112.  
649
- 650 PARK J T & JOHNSON M J. 1949. A submicro determination of glucose. *J. Biol. Chem.*,  
651 181, 149-151.  
652

- 653 PEDRON F A. 2010. Composição e gelatinização do amido na resposta biológica do jundiá  
654 (*Rhamdia quelen*). 111 p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Santa  
655 Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul.  
656
- 657 PEDROTTI F S. 2011. Microbiota intestinal de jundiá (*Rhamdia quelen*) e tilápia  
658 (*Oreochromis niloticus*) alimentados com diferentes fontes de carboidrato. 61 p. Dissertação  
659 (Mestre em Aquicultura) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa  
660 Catarina.  
661
- 662 PEZZATO L E, MIRANDA E C, BARROS M M, PINTO L G Q, FURUYA W M &  
663 PEZZATO A C. 2002. Digestibilidade aparente de ingredientes pela tilápia do Nilo  
664 (*Oreochromis niloticus*). Rev Bras Zootec, v.31, n.4, p.1595-1604.  
665
- 666 RAMÍREZ A P M. 2005. Utilização de carboidratos digestíveis em dietas para pacu *Piaractus*  
667 *mesopotamicus* (Holmberg, 1887). Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista, 2005. 138 f.  
668 Tese (Doutorado em Aquicultura) – Universidade Estadual Paulista.  
669
- 670 RODRIGUES L A & FERNANDES J B K. 2006. Influência do processamento da dieta no  
671 desempenho produtivo do acará bandeira (*Pterophyllum scalare*). Acta Sci Anim Sci, v. 28,  
672 n.1, p.113-118.  
673
- 674 SKLAN D, PRAG T & LUPASTCH I. 2004. Apparent digestibility coefficients of feed  
675 ingredients and their prediction in diets for tilapia *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis*  
676 *aureus* (*Teleostei, Cichlidae*). Aquacult Res. New York, v.35, n.4, p.358-364.  
677
- 678 SOUZA S R & HAYASHI C. 2003. Digestibilidade do farelo de algodão pela tilápia do Nilo  
679 (*Oreochromis niloticus* L.) e piavuçu (*Leporinus macrocephalus* B & G). Acta Sci Anim Sci,  
680 v.25, n.1, p.15-20.  
681
- 682 TAKEUCHI T, JEONG K S & WATANABE T. 1990. Availability of extruded carbohydrate  
683 ingredients to rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* and carp *Cyprinus carpio*. Bull Japan Soc  
684 Sci Fish, Tokio, v. 56, n. 11, p. 1839-1845.  
685
- 686 VENOU B, ALEXIS M N, FOUNTOULAKI E, NENGAS I, APOSTOLOPOULOU M &  
687 CASTRITSI-CATHARIOU I. 2003. Effect of extrusion of wheat and corn on gilthead sea  
688 bream (*Sparus aurata*) growth, nutrient utilization efficiency, rates of gastric evacuation and  
689 digestive enzyme activities. Aquaculture, Amsterdam, v.225, n.1-4, p.207-223.  
690
- 691 VIEIRA J S, LOGATO P V R, RIBEIRO P A P, FREITAS R & FIALHO E T. 2005. Efeito  
692 do processamento do milho sobre o desempenho e composição de carcaça de piaba  
693 (*Leporinus friderici*) criada em tanques-rede. Ciênc Agrotec, v. 29, n. 2, p. 453-458.  
694
- 695 ZIMMERMANN S & HASPER T O B. 2003. Piscicultura no Brasil: o processo  
696 deintensificação da tilapicultura. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 40.,  
697 2003, Santa Maria. Anais... Santa Maria:SBZ. CD ROOM.  
698

- 699 ZHENYAN C, JINGHUI L, BAOLONG Z, ZHENZHEN F, JINHUI S, DONGQING B,  
700 JINSHENG S & XIUTING Q. 2017. Verification of protein sparing by feeding carbohydrate  
701 to common carp *Cyprinus carpio*. Chin J Oceanol Limn, 35(2), 251-257.  
702
- 703 WALTER M, SILVA L P & PERDOMO D M X. 2005. Amido disponível e resistente em  
704 alimentos: adaptação do método da AOAC 996.11. Alim Nut, v.16, n.1, p.39-43.  
705
- 706 WORLD BANK. 2013. Fish to 2030: prospects for fisheries and aquaculture (English).  
707 Agriculture and environmental services discussion paper; no. 3. Washington DC; World Bank  
708 Group. Disponível em  
709 <[http://documents.worldbank.org/curated/en/458631468152376668/Fish-to-2030-prospects-](http://documents.worldbank.org/curated/en/458631468152376668/Fish-to-2030-prospects-for-fisheries-and-aquaculture)  
710 [for-fisheries-and-aquaculture](http://documents.worldbank.org/curated/en/458631468152376668/Fish-to-2030-prospects-for-fisheries-and-aquaculture)>.  
711
- 712 YOGATA H & OKU H. 2000. The effects of swimming exercise on growth and whole-body  
713 protein and fat contents of fed and unfed fingerling yellowtail. Fish Sci. v. 66, p. 1100-1105.  
714

715 **Tabela 1.** Composição da dieta padrão com óxido de cromo III\* (g/100 g base seca).

Ingredientes	Dieta padrão
Amido de milho	30,50
Farinha de peixe	29,00
CPS <sup>1</sup>	22,00
Inerte <sup>2</sup>	6,98
Celulose	4,00
Premix vitamínico e mineral <sup>3</sup>	3,00
Óleo de soja	3,00
Óxido de cromo III	1,00
Sal	0,50
BHT <sup>4</sup>	0,02
Composição calculada (g/100 g base seca)	
Energia digestível <sup>5</sup>	3097,00
Proteína bruta <sup>6</sup>	30,05
E:P	103,07
Amido <sup>6</sup>	35,76
Matéria mineral <sup>6</sup>	21,21
Gordura <sup>6</sup>	5,33
Ca <sup>7</sup>	2,83
P <sup>7</sup>	1,12
Ca:P	2,54

716 \*Formulação adaptada de Mombach (2018);

717 <sup>1</sup>Concentrado proteico de soja (60% proteína bruta)718 <sup>2</sup>Areia719 <sup>3</sup>Premix vitamínico e mineral (composição/kg de produto): ácido fólico: 299,88 mg; ácido ascórbico: 15.000,12  
720 mg; ácido pantotênico: 3.000,10 mg; biotina: 0,06 mg; niacina (vitamina B3): 9.000,32 mg; colina (vitamina  
721 B4): 103.500,00 mg; vitamina A: 1.000.000,00 UI; vitamina B1: 1.500,38 mg; vitamina B2: 1.500,00 mg;  
722 vitamina B6: 1.500,38 mg; vitamina D3: 240.000,00 UI; vitamina E: 10.000,00 mg; vitamina K3: 400,00 mg;  
723 inositol: 9.999,92 mg; ferro: 6.416,80 mg; manganês: 8.000,40 mg; cobre: 1.000,00 mg; zinco: 13.999,50 mg;  
724 iodo: 45,36 mg; cobalto: 60,06 mg; selênio: 60,30 mg; magnésio: 5,10 mg; cloro: 23 mg; enxofre: 0,1 mg725 <sup>4</sup>Butil HidroxitTolueno726 <sup>5</sup>Energia digestível calculada: [(Proteína bruta x 5,65 x 0,85) + (Gordura x 9,4 x 0,9) + (Carboidratos x 4,15 x  
727 0,7)] (adaptado de Meyer, Fracalossi e Borba, 2004)728 <sup>6</sup>Composição analisada (Laboratório de Piscicultura, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio  
729 Grande do Sul, Brasil)730 <sup>7</sup>Composição analisada (Laboratório de Tecido Vegetal, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz,  
731 Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, Brasil)

732

733 **Tabela 2.** Composição centesimal (%) das dietas e das fezes de tilápias do Nilo submetidas  
 734 aos tratamentos.

	Extrusada	Peletizada	Teste-T (<0,05)
	<i>Dietas</i>		
MS	94,50±0,05	94,77±0,02	0,001
MM	19,93±0,07	22,49±0,14	0,000
EE	4,66±0,25	6,01±0,02	0,017
PB	30,71±0,46	29,88±0,78	0,189
AD	36,12±0,99	35,39±1,65	0,657
	<i>Fezes</i>		
MS	96,40±0,07	96,41±0,08	0,959
MM	53,74±0,23	55,03±0,92	0,078
EE	1,42±0,06	1,53±0,18	0,504
PB	6,39±0,14	7,59±0,13	0,000

735 MS: matéria seca; MM: matéria mineral; EE: extrato etéreo; PB: proteína bruta; AD: amido disponível. Médias ±  
 736 desvio padrão (n = 3).  
 737

738 **Tabela 3.** Composição corporal do peixe inteiro (%) de tilápias do Nilo (*Oreochromis*  
 739 *niloticus*) alimentadas com dietas extrusada e peletizada.

	<i>Tratamentos</i>		Teste-T (<0,05)
	Extrusada	Peletizada	
MS	22,77±1,15	22,95±3,43	0,880
MM	3,70±0,51	3,66±0,59	0,900
EE	6,00±0,73	5,26±1,25	0,250
PB	12,83±1,93	12,87±1,78	0,960

740 MS: matéria seca; MM: matéria mineral; EE: extrato etéreo; PB: proteína bruta. Médias ± desvio padrão (n = 3).  
 741

742 **Tabela 4.** Rendimento de carcaça e índices digestivos de tilápias do Nilo (*Oreochromis*  
 743 *niloticus*) alimentadas com dietas extrusada e peletizada.

	<i>Tratamentos</i>		Teste-T (<0,05)
	Extrusada	Peletizada	
RC (%)	86,19±4,93	87,37±2,53	0,537
IDS (%)	1,99±0,58	2,25±0,59	0,362
IHS (%)	1,55±0,50	1,84±0,52	0,241
QI (%)	4,26±0,59	4,70±1,00	0,276

744 RC: rendimento de carcaça; IDS: índice digestivo-somático; IHS: índice hepato-somático; QI: quociente  
 745 intestinal. Médias ± desvio padrão (n = 3).  
 746

747 **Tabela 5.** Atividade de enzimas digestivas\* de *Oreochromis niloticus* recebendo dietas  
 748 experimentais.

	<i>Tratamentos</i>		Teste-T (<0,05)
	Extrusada	Peletizada	
Quimotripsina*	3040,09±745,94	2364,89±624,24	0,054
Tripsina*	4,60±1,45	3,83±1,08	0,222
Amilase*	0,82±0,24	0,63±0,09	0,038

749 \*Enzimas digestivas do intestino; Quimotripsina: expressa em mmol/btee/min/mg prot; Tripsina expressa em  
 750  $\mu$ mol/tame/min/mg prot; e Amilase: expressa em  $\mu$ mol glicose/min/mg prot. Médias  $\pm$  desvio padrão (n = 3).  
 751



752 **Tabela 6.** Coeficientes de digestibilidade aparente (CDA %) da matéria seca (MS), proteína  
 753 bruta (PB) matéria mineral (MM), matéria orgânica (MO) e extrato etéreo (EE) das  
 754 dietas avaliadas.

	<i>Tratamentos</i>		Teste-T (<0,05)
	Extrusada	Peletizada	
CDA MS	72,84±1,61	73,75±2,60	0,638
CDA PB	94,45±0,23	93,42±0,91	0,179
CDA MM	28,21±4,20	36,80±7,21	0,166
CDA MO	84,76±0,90	85,24±1,27	0,625
CDA EE	91,88±0,66	93,45±0,65	0,015

755 CDA MS: coeficiente de digestibilidade aparente da matéria seca; CDA PB: coeficiente de digestibilidade  
 756 aparente da proteína bruta; CDA MM: coeficiente de digestibilidade aparente da matéria mineral; CDA MO:  
 757 coeficiente de digestibilidade aparente da matéria orgânica; CDA EE: coeficiente de digestibilidade aparente do  
 758 extrato etéreo. Médias ± desvio padrão (n = 3).

## 5 DISCUSSÃO GERAL

Com o propósito de aglomerar os alimentos e diminuir as perdas no arraçoamento de organismos aquáticos, os processos de extrusão e peletização são usados na confecção de dietas (ONO e OLIVEIRA, 2008).

Em nossa pesquisa, as diferenças encontradas entre os coeficientes de digestibilidade entre as dietas peletizadas e extrusadas foram mínimas. Porém, o processo de extrusão altera consideravelmente uma série de eventos como gelatinização do amido (ZONGJILA e HARDY-RONALD, 2003), desnaturação de proteínas, quelação de minerais e destruição de vitaminas (LOPES-DA-SILVA, SANTOS e CHOUPINA, 2016), além de apresentarem como característica principal, a flutuabilidade.

As características das dietas extrusada e peletizada para alimentação de tilápias do Nilo deste estudo não apresentaram variações em relação às características físicas. Como nossa dieta continha amido de milho, acredita-se que este ingrediente foi alterado mediante o processamento usado, especialmente a extrusão. Segundo Honorato et al. (2010) o aumento de carboidratos nas dietas extrusadas diminui a lixiviação de proteínas.

Em nosso trabalho, obtivemos resultados para flutuabilidade, amido disponível e índice de absorção de água de 100%, 43,34% e 2,73 g/g de gel, respectivamente, com 100°C de temperatura e 15% de umidade. Souza (2009) observou correlação positiva entre as variáveis de flutuabilidade e absorção de água. No que tange a estabilidade, existem vários fatores que afetam o produto extrusado, entre eles destacam-se a temperatura da extrusão, a umidade da matéria prima, o diâmetro da matriz, a quantidade de amido e a natureza do amido empregado. Conforme Alves e Grossman (2002) o que simboliza o produto extrusado é o grau de expansão que por sua vez vai afetar a densidade e a fragilidade. A extrusão aumenta a eficiência do amido devido à sua expansão na massa de ingredientes (PFEFFER et al. 1991; BOOTH et al. 2000).

Peixes alimentados com dietas extrusadas crescem melhor do que aqueles alimentados com dietas peletizadas (BOOTH et al. 2000; CHENG e HARDY 2003; VENOU et al. 2003).

A extrusão, processo pelo qual foram submetidas as dietas testadas nesta pesquisa, melhorou a digestibilidade da MS e energia de dietas com diferentes fontes de carboidratos para *Salminus brasiliensis* (MORO, SILVA e CYRINO, 2015), acarretando em melhora na digestibilidade da soja para *Piaractus mesopotamicus* (STECH et al., 2010).

Os resultados dos coeficientes de digestibilidade aparente nas dietas extrusada e peletizada não apresentaram diferença para MS, PB, MM e MO, exceto para EE. Este resultado vai de encontro ao relatado por Pezzato et al. (2002), onde avaliaram a digestibilidade aparente do milho, amido de milho, milho extrusado, germe de milho, sorgo, farelo de trigo, farelo de arroz, glúten 21, glúten 60, farelo de soja, farelo de canola, farelo de algodão, farinha de peixe, farinha de carne, farinha de vísceras de aves, farinha de sangue e farinha de penas para *Oreochromis niloticus*. Obtiveram o melhor CDA EE pelo milho extrusado (81,24%). Isto pode ser explicado pelo fato do processamento, onde na extrusão tem-se alta temperatura o que melhora a disposição dos nutrientes.

Dos Santos et al. (2014) avaliaram a digestibilidade aparente dos nutrientes e energia da raspa de mandioca, farinha de resíduo de abate de caprinos/ovinos e farinha de feno de maniçoba para *Oreochromis niloticus* em rações processadas na forma peletizada e na forma extrusada. A ração extrusada apresentou melhor digestibilidade aparente da MS fato que pode estar relacionado ao efeito deste processamento sobre a fibra do alimento (MEURER e HAYASHI, 2003). A fibra pode ter sua estrutura rompida ou modificada pelo processamento (BERTIPAGLIA et al., 2008; SOUZA e LEONEL, 2010), facilitando a utilização dos seus componentes por microrganismos presentes no trato digestório da tilápia do Nilo (MEURER et al., 2008).

De acordo com os resultados da composição centesimal do peixe inteiro, podemos observar um aumento do teor de gordura ( $p = 0,250$ ) dos peixes que consumiram a dieta extrusada (6,00%) quando comparado aos animais que receberam a peletizada (5,23%). Nas dietas extrusadas, devido à maior disponibilidade do amido, frequentemente ela é estocada na forma de gordura (HONORATO et al, 2013). O aumento de lipídeo nas dietas reflete em regulação do apetite e maior acúmulo de lipídeos na carcaça (YAMAMOTO et al., 2001). O aumento de carboidratos e de lipídeos na dieta de *Lates calcarifer* reflete em aumento no conteúdo de lipídeos na carcaça, o que, conseqüentemente, diminui a qualidade do produto final (CATACUTAN e COLOSO et al., 1997).

A tilápia do Nilo é capaz de digerir eficientemente alguns carboidratos, poupando assim a utilização de proteínas como substrato de produção de energia (WILSON 1994; SHIAU 1997). Esses fatores podem reduzir os custos de alimentação e melhorar a qualidade nutricional das dietas.

Ambas as dietas, tanto extrusadas quanto peletizada, usando os mesmos procedimentos empregados podem ser utilizadas para tilápias do Nilo, não interferindo nos

parâmetros avaliados. Pode-se observar que, ainda existem muitas diferenças nos resultados encontrados por diferentes autores para iguais ingredientes utilizados nas pesquisas, faltando, portanto, uma padronização das metodologias. Isto demonstra que os CDA devem ser interpretados com cautela, mesmo assim em nossa pesquisa os valores encontraram-se próximos aos da literatura, em especial para algumas espécies de peixes e com as mesmas condições de manejo e processamento.

A extrusão é um processo interessante, porém em algumas situações pode prejudicar o valor nutritivo dos alimentos. Entretanto há a necessidade de estudos acerca dos níveis adequados de inclusão dos alimentos avaliados em rações extrusadas e peletizadas para as diversas fases de cultivo da tilápia do Nilo.

## 6 CONCLUSÃO GERAL

- O processo de extrusão com temperatura de saída de 100°C e umidade de 15%, apresentou maior fluvariabilidade e conteúdo de amido disponível;
- Nesta mesma condição, houve a formação de poros pequenos, que auxiliam na flutuação dos pellets e gelatinização do amido, que facilita a ação enzimática;
- As características físico-químicas da ração estudada, podem ser utilizadas na alimentação de tilápias do Nilo por apresentarem composição nutricional de acordo com as exigências da espécie;
- As características tecnológicas apresentadas, proporcionam produto final de qualidade para a alimentação de organismos aquáticos;
- As formas de processamento, extrusada ou peletizada, não interferem nos coeficientes de digestibilidade em tilápias do Nilo;
- A menor excreção de proteína fecal, foi obtida com o processo de extrusão, comprovando que este processo melhora o aproveitamento do amido como fonte de energia, bem como melhora o aproveitamento da proteína, minimizando a excreção de nitrogênio para o meio ambiente.

## REFERÊNCIAS

- ABECASSIS, J. et al. Influence of extrusion conditions on extrusion speed, temperature and pressure in the extruder and on pasta quality. **Cereal Chemistry**, v. 71, n. 3, p. 247- 253, 1994.
- ALVES, R. M. L. e GROSSMANN, M.V.E. Parâmetros de extrusão para produção de snacks de farinha de cará (*Dioscorea alata*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas: São Paulo, Brasil, v.22, n.1, p.32-38, 2002.
- AYROZA, L.M.S. et al. Efeito da densidade de estocagem e do nível proteico da ração sobre o peso médio, produção e sobrevivência de tilápias do Nilo, *Oreochromis niloticus* criadas em tanques-rede. In: AQUACIÊNCIA, 2006, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves: Aquaciência, [2006] (CD-ROM).
- BERTIPAGLIA, L. M. A. et al. Alterações bromatológicas em soja e milho processados por extrusão. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 37, n. 11, p. 2003-2010, 2008.
- BHANDARI, B., D'ARCY, B. e YOUNG, G. Flavour retention during high temperature short time extrusion cooking process: a review. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 36, p.453-461, 2001.
- BOOTH, M.A. et al. Effects of grinding, steam conditioning and extrusion of a practical diet on digestibility and weight gain of silver perch, *Bidyanus bidyanus*. **Aquaculture**, 182, 287-299, 2000.
- BOOTH, M.A. e EVANS, A. J. Effects of steam pelleting or extrusion on digestibility and performance of silver perch *Bidyanus bidyanus*. **Aquaculture Research**., v. 33, p. 1163-1173, 2002.
- CASTAGNOLLI, N. **Piscicultura de água doce**. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 189p.
- CATACUTAN, M.R. e COLOSO, R.M. Growth of juvenile Asian seabass *Lates calcarifer*, fed varying carbohydrate and lipid levels. **Aquaculture**, v. 149, p.137-144, 1997.
- CHENG, Z. J. e HARDY, R.W. Effects of extrusion processing of feed ingredients on apparent digestibility coefficients of nutrients for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture Nutrition**, 9(2), 77-83, 2003.
- CHUANG, G. C. e YEH, A. Effect of screw profile residence time distribution and starch gelatinization of rice flour during single screw extrusion cooking. **Journal of Food Engineering**, v. 63, p. 21-31, 2004.
- COWELL, C. S. et al. **Making commercial pet food**. In: HAND, M. et al. Small animal clinical nutrition, 4ed Kansas: Mark Morris Institute, p. 127-146, 2000.

CYRINO, J. E. P. e FRACALOSSO, D. M. **Nutriaqua**: Nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aquicultura brasileira. Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, Florianópolis, 2012.

DOS SANTOS, L. D. et al. Efeitos da peletização e extrusão sobre a digestibilidade de ingredientes alternativos do Semi-árido Nordeste para a tilápia do Nilo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 6, p. 3367-3376, 2014.

FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. The State of World Fisheries and Aquaculture: Contributing to food security and nutrition for all. Rome: FAO, 200 p., 2016. Disponível em <http://www.fao.org/3/a-i5555e.pdf> (acesso em 20/12/2019).

FAUBION, J. M.; HOSENEY, R. C.; SEIB, P. A. Functionality of grain components in extrusion. **Cereal Foods World**, v. 27, n. 5, p. 212-216, 1982.

FELLOWS, P. **Food Processing Technology: Principles and Practice**. p. 177–182. Cambridge: Woodhead Publishing Ltd, 2000.

FOOD ENGINEERING WORLD. 2012. **Processo de extrusão de alimentos**. Disponível em: <[http://foodengineeringworld.blogspot.com.br/2012\\_07\\_01\\_archive.html](http://foodengineeringworld.blogspot.com.br/2012_07_01_archive.html)>. Acesso em 29 jan 2020.

FRACALOSSO, D.M.; CYRINO J. E. P. **Nutrição e Alimentação de Espécies de Interesse para a Aquicultura Brasileira**. Nutriaqua, v.1, 2013, p. 325-333.

FURUYA, W. M. et al. Dietas peletizada e extrusada para machos revertidos de tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus* L.) na fase de terminação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 28, n.3, p. 483-487, 1998.

GARBELLOTTI, A. R. 2014. **Efeito da temperatura de alimentos extrusados no empacotamento sobre a atividade de água**. 2014. 71 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Zootecnia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2014.

HEIDENREICH, E. e MICHAELSEN, T. **Manufacture of special feeds with a twin extruder (Spezialfutterherstellung mit einem Zweiwellenextruder)**. Kraftfutter., n. 12, p. 468 – 488. 1994.

HONORATO, C. A. et al. Efeito do processamento de dietas com diferentes níveis de carboidratos e lipídeos sobre a composição corporal e perfil de ácidos graxos do filé do Pacu (*Piaractus mesopotamicus*). **Ciência Animal Brasileira**, v. 14, n. 1, p. 49-50, 2013.

HONORATO, C.A. et al. Effects of processing on physical characteristics of diets with distinct levels of carbohydrates and lipids: the outcomes on the growth of pacu (*Piaractus mesopotamicus*). **Aquaculture Nutrition**, 16(1), 91-99, 2010.

KAUSHIK, S.J. Carbohydrate nutrition: importance and limits of carbohydrate supplies. In: GUILLAUME, J.; KAUSHIK, S.J.; BERGOT, P., et al. **Nutrition and feeding of fish and crustaceans**. Springer Praxis, Chichester, 2001, cap. 8, p. 131-144.

KIANG, M. J. La extrusion como herramienta para mejorar el valor nutritivo de los alimentos. In: Simposium Internacional de Nutrición y Tecnología de Alimentos para

Aquacultura. 1993, Nuevo León. **Anais...**Nuevo León: Universidad de Nuevo León, 1993, p. 415-429.

KRABBE, E. L. Controle da atividade de água e produção de alimentos secos e semi-úmidos. In: I Congresso Internacional e VIII Simpósio sobre nutrição de animais de estimação - CBNA. Campinas – SP, **Anais...** 2009.

KUBITZA, F. Qualidade do alimento, qualidade da água e manejo alimentar na produção de peixes. In: Simpósio Sobre Manejo e Nutrição de Peixes, 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: CBNA, 1997, p. 63-101.

KUBITZA, F. **Tilápia**: tecnologia e planejamento na produção comercial. 2 ed. Jundiaí: F. Kubitza 2011. 316 p.

LI, X-Q. et al. Grass carp fed a fishmeal-free extruded diet showed higher weight gain and nutrient utilization than those fed a pelleted diet at various feeding rates. **Aquaculture**. v. 493, p.283-288, 2018.

LOBO, A. R e LEMOS SILVA, G.M. Amido resistente e suas propriedades físico-químicas. **Revista de Nutrição**. Campinas/SP. p. 219-226, 2003.

LOPES-DA-SILVA, M. F; SANTOS, L. e CHOUPINA, A. A extrusão em tecnologia alimentar: aplicações, características dos produtos, composição e tendências futuras. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 39, n. 1, p. 04-14. 2016.

MA, F. et al. 2015. Effects of extruded and pelleted diets with differing protein levels on growth and nutrient retention of tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*. **Aquaculture International**, v.23, p.1341-1356, 2015.

MARQUES, G. et al. 2018. O efeito do processamento por extrusão termoplástica na qualidade nutricional dos alimentos: uma revisão. **Journal of Applied Pharmaceutical Sciences–JAPHAC**, v. 5, n. 1, p. 45-56, 2018.

MEDEIROS, F. (Coord.). **Anuário Brasileiro da Piscicultura PeixeBR**. São Paulo/SP, p. 7-9, 2018.

MEURER, F. e HAYASHI, C. Polissacarídeos não amiláceos na nutrição de peixes - revisão. **Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da Unipar**, Umuarama, v. 6, n. 2, p. 127-138, 2003.

MEURER, F. **Levedura (*Saccharomyces cerevisiae*) como prebiótico para as fases iniciais do cultivo da Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)**. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná, 2005.

MEURER, F. et al. Farelo de soja na alimentação de tilápias-do-nilo durante o período de reversão sexual. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 37, n. 5, p. 791-794, 2008.

MORO, G. V.; SILVA, T. S. C e CYRINO, J. E. P. Feed processing affected the digestibility of carbohydrate sources for dourado *Salminus brasiliensis*. **Aquaculture Nutrition**, v. 23, n. 1, p. 40-45, 2015.



MORO, G.V. e RODRIGUES, A. P. O. **Rações para organismos aquáticos: tipos e formas de processamento.** In: Embrapa Pesca e Aquicultura – Palmas/TO. ISSN 2318-1400, 2015.

MUÑOZ-RAMÍREZ, A. P. **Utilização de carboidratos digestíveis em dietas para pacu, *Piaractus mesopotamicus* (HOLMBERG, 1887).** 2005. 137 f. Tese (Doutorado em Aquicultura) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, São Paulo, SP, 2005.

NRC - **National Research Council**, Nutrient requirements of fish and shrimp. National academies press, 2011.

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.

ONO, E. A. e OLIVEIRA, S. R. Rações para a aquicultura brasileira: os problemas e as possíveis soluções. **Panorama da Aquicultura**, n. 106, v. 18, p. 20-30, 2008.

PEZZATO, L. E. Digestibilidade aparente de ingredientes pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, 31(4), 1595-1604, 2002.

PFEFFER, E. et al. Effect of extrusion on efficiency of utilization of maize starch by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, 96, 293–303, 1991.

RAMOS, A. Q. Aplicaciones y tendencias de la tecnologia de extrusion – Coccion. In: Simposium Internacional de Nutrición y Tecnología de Alimentos para Aquicultura. 1993, Nuevo León. **Anais...**Nuevo León: Universidad de Nuevo León. 1993, p. 465-477.

REIS, E.S. et al. Processamento da ração no desempenho de juvenis de jundiá (*Rhamdia voulezi*) cultivados em tanques-rede. **Ciência Animal Brasileira**, 13(2), 205-212, 2012.

RIAZ, M. N. **Extrusion basics.** In: KVAMME, J. L.; PHILLIPS, T. D. Pet Food Technology. Illinois Mt Morris, p. 347-360, 2003.

RODRIGUES, R. B. et al. Tecnologia de bioflocos no cultivo de tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus*). **Acta Tecnológica**, v. 10, n. 2, p. 75-89, 2017.

ROKEY, G. J., PLATTNER, B. e SOUZA E. M. 2012. **Descrição do processo de extrusão do alimento.** In: IV Congresso Internacional e XI Simpósio sobre nutrição de animais de estimação - CBNA. São Paulo – SP, maio de 2012.

SALLUM, W. B. et al. Coeficiente de digestibilidade aparente da matéria seca, proteína bruta e extrato etéreo de ingredientes de ração para o matrinhã (*Brycon cephalus*, GÜNTHER 1869) (TELEOSTEI, CHARACIDAE). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 26, n. 1, p. 174-181, 2002.

SATO, L. S. **Digestibilidade aparente de ingredientes pela tilápia-do-Nilo em tanques rede.** 54 f. Dissertação (Mestrado em Aquicultura) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, São Paulo, 2016.

- SCORVO-FILHO, J.D. et al. A tilapicultura e seus insumos, relações econômicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, p.1-7, 2010.
- SHIAU, S. Y. Utilization of carbohydrates in warmwater fish – with particular reference to tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*. **Aquaculture** 151:79–96, 1997.
- SINGH, N. et al. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. **Food Chemistry**, v.81, n.219-231, 2003.
- SOUZA E. **Importância do condicionador na produção de extrusados**. In: II Congresso Internacional e IX Simpósio sobre nutrição de animais de estimação - CBNA. Campinas – SP, mai 2010.
- SOUZA, D. B. L. **Caracterização e controle de qualidade de dietas para o surubim (*Pseudoplatystoma sp.*)**. Dourados, 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Medicina Veterinária) – Centro Universitário da Grande Dourados, UNIGRAN, 2009.
- SOUZA, L. B. e LEONEL, M. Efeito da concentração de fibra e parâmetros operacionais de extrusão sobre as propriedades de pasta de misturas de fécula de mandioca e polpa cítrica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, n. 6, p. 686-692, 2010.
- STECH, M. R. et al. Fatores antinutricionais e coeficientes de digestibilidade aparente da proteína de produtos de soja para o pacu (*Piaractus mesopotamicus*). **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 32, n. 3, p. 255-262, 2010.
- TENGJAROENKUL, B. et al. Distribution of intestinal enzyme activities along the intestinal tract of cultured Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L. **Aquaculture**, v.182, p.317-327, 2000.
- VENOU, B. et al. Effect of extrusion of wheat and corn on gilthead sea bream (*Sparus aurata*) growth, nutrient utilization efficiency, rates of gastric evacuation and digestive enzyme activities. **Aquaculture**, 225, 207–223, 2003.
- VENOU, B. et al. Performance factors, body composition and digestion characteristics of gilthead sea bream (*Sparus aurata*) fed pelleted or extruded diets. **Aquaculture Nutrition.**, v. 15, p. 390-401, 2009.
- YAMAMOTO, T. et al. Influence in dietary fat and carbohydrate levels on growth and body composition of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* under self- feeding conditions. **Fisheries Science**, v. 67, p. 221-227, 2001.
- ZIMMERMANN, S. e HASPER, T. O. B. 2003. Piscicultura no Brasil: o processo deintensificação da tilapicultura. In: ReuniãoAnual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 40., 2003, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria:SBZ. CD ROOM.
- IMMERMANN, S.; FITZSIMMONS, K. Tilapicultura intensiva. In: CYRINO, J.E.P. et al. (Orgs.) Tópicos Especiais em Piscicultura de água Doce Tropical Intensiva. São Paulo: **Aquabio**, p.239-266, 2004.

ZONGJILA, J. C. e HARDY-RONALD, W. Effects of extrusion processing of feed ingredients on apparent digestibility coefficients of nutrients for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, v. 9, n. 2, p. 77- 83, 2003.

WILSON, R. P. Review: utilization of dietary carbohydrate by fish. **Aquaculture** 124:67–80, 1994.

## APÊNDICE A – Figuras referentes à metodologia do Artigo I

Figura 1 – Ingredientes da dieta



Figura 2 – Extrusora (A), painel com as temperaturas (B) e produto final (C)

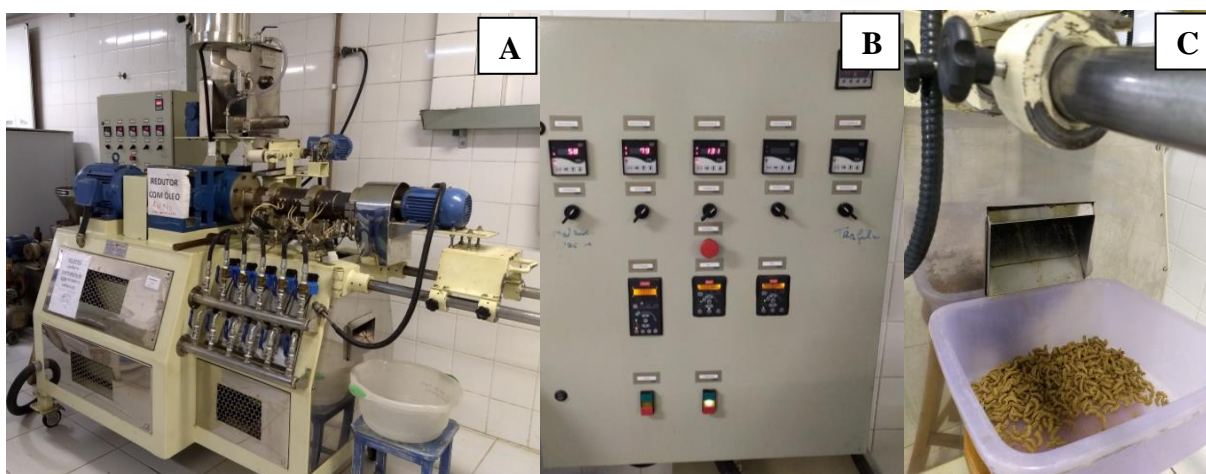


Figura 3 – Análise de e fluutuabilidade (A) e amido disponível (B)

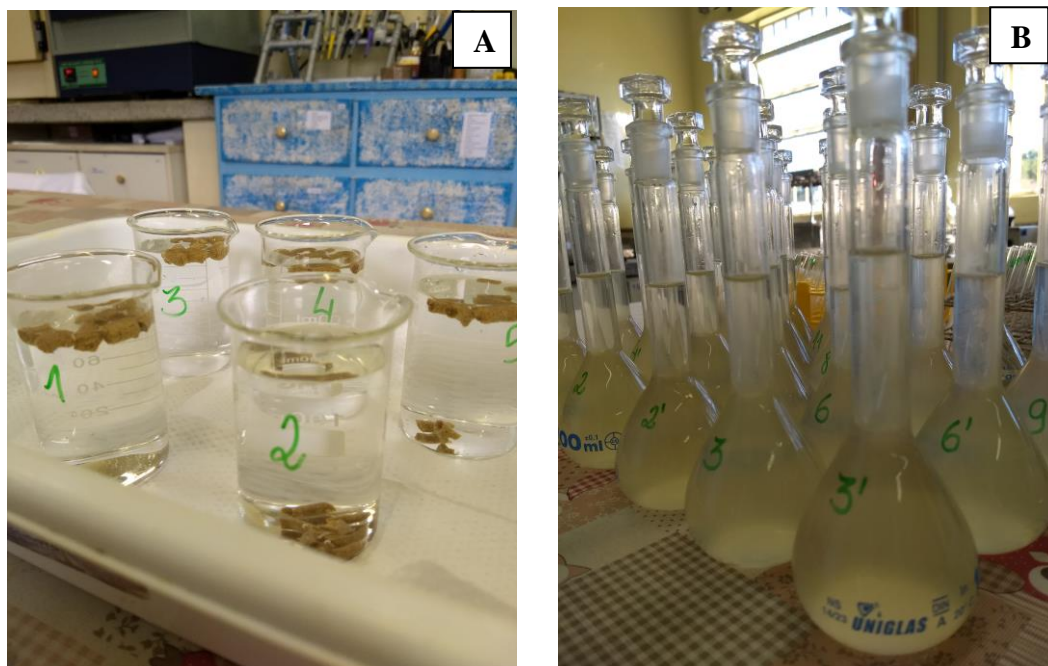
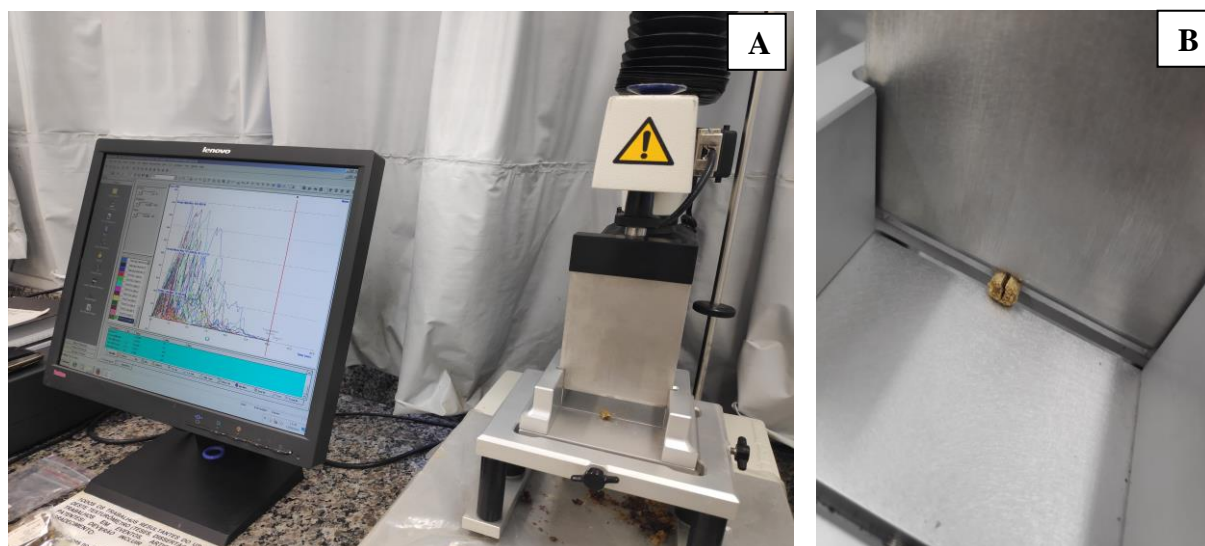


Figura 4 – Texturômetro (A) e momento do corte (B)



## APÊNDICE B – Figuras referentes à metodologia do Artigo II

Figura 1 – ingredientes da dieta



Figura 2 – Extrusora (A) e rações extrusada e peletizada em estufa de circulação de ar (B)



Figura 3 – Sistema tipo “Guelph” (A) e filtros biológicos (B)



Figura 4 – Unidades experimentais onde os peixes permaneciam durante o dia (A) e animais sendo alimentados (B)



Figura 5 – Fezes dos peixes que consumiam ração extrusada, secas em estufa (60°C/24horas)



Figura 6 – Pesagem inicial (A) e medição (B) dos peixes

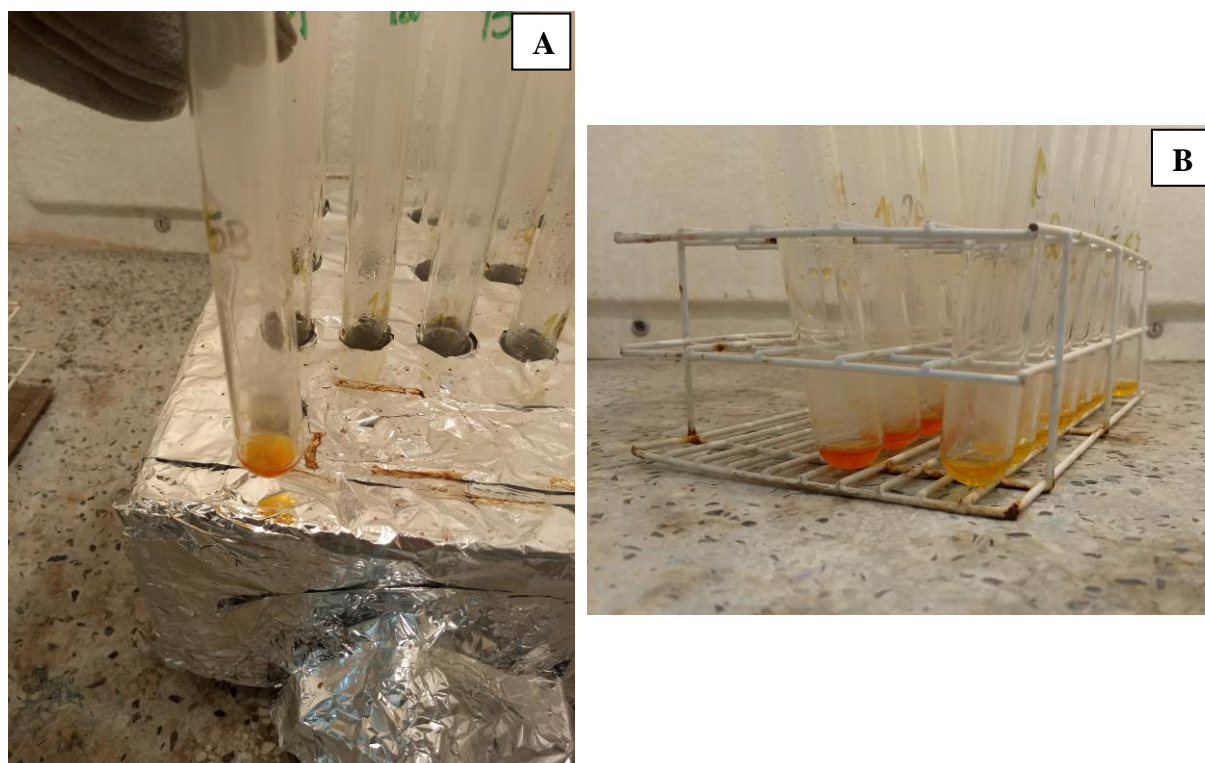




Figura 7 – Peixe eutanasiado (A) e posterior retirada de órgãos (B) para análises



Figura 8 – Análise de digestibilidade aparente em bloco digestor (320°C) (A) e amostras com coloração amarelada/alaranjada (B)



## ANEXO A – Normas da revista *Animal Feed Science and Technology*

### Types of article

1. Original Research Papers (Regular Papers)
2. Review Articles
3. Short Communications
4. Book Reviews

*Original Research Papers* should report the results of original research. The material should not have been previously published elsewhere, except in a preliminary form.

*Review Articles* should cover subjects falling within the scope of the journal which are of active current interest. A *Short Communication* is a concise but complete description of a limited investigation, which will not be included in a later paper. Short Communications should be as completely documented, both by reference to the literature and description of the experimental procedures employed, as a regular paper. They should not occupy more than six printed pages (about 12 manuscript pages, including figures, tables and references).

*Book Reviews* will be included in the journal on a range of relevant books which are not more than two years old. Book reviews will be solicited by the Book Review Editor. Unsolicited reviews will not usually be accepted, but suggestions for appropriate books for review may be sent to the Book Review Editor:

Professor G. Flachowsky, Federal Research Centre of Agriculture, Institute of Animal Nutrition, Bundesallee 50, D-38116 Braunschweig, Germany

**Contact details for submission:** For queries concerning the submission process or journal procedures please visit the [Elsevier Support Center](#). Authors can determine the status of their manuscript within the review procedure using Elsevier Editorial System.

**Submission checklist:** You can use this list to carry out a final check of your submission before you send it to the journal for review. Please check the relevant section in this Guide for Authors for more details.

**Ensure that the following items are present:** One author has been designated as the corresponding author with contact details: E-mail address; Full postal address; All necessary files have been uploaded:

*Manuscript:* Include keywords; All figures (include relevant captions); All tables (including titles, description, footnotes); Ensure all figure and table citations in the text match the files provided; Indicate clearly if color should be used for any figures in print *Graphical Abstracts/Highlights files* (where applicable), *Supplemental files* (where applicable) Further considerations: Manuscript has been 'spell checked' and 'grammar checked'; All references mentioned in the Reference List are cited in the text, and vice versa; Permission has been obtained for use of copyrighted material from other sources (including the Internet); A competing interests statement is provided, even if the authors have no competing interests to declare; Journal policies detailed in this guide have been reviewed; Referee suggestions and contact details provided, based on journal requirements. For further information, visit our [Support Center](#).

**Ethics in publishing:** Please see our information pages on [Ethics in publishing](#) and [Ethical guidelines for journal publication](#).

**Studies in humans and animals:** If the work involves the use of human subjects, the author should ensure that the work described has been carried out in accordance with [The Code of Ethics of the World Medical Association](#) (Declaration of Helsinki) for experiments involving humans. The manuscript should be in line with the [Recommendations for the Conduct, Reporting, Editing and Publication of Scholarly Work in Medical Journals](#) and aim for the inclusion of representative human populations (sex, age and ethnicity) as per those recommendations. The terms [sex and genders](#) should be used correctly.

**Declaration of interest:** All authors must disclose any financial and personal relationships with other people or organizations that could inappropriately influence (bias) their work. Examples of potential competing interests include employment, consultancies, stock ownership, honoraria, paid expert testimony, patent applications/registrations, and grants or other funding. Authors must disclose any interests in two places: 1. A summary declaration of interest statement in the title page file (if double-blind) or the manuscript file (if single-blind). If there are no interests to declare then please state this: 'Declarations of interest: none'. This summary statement will be ultimately published if the article is accepted. 2. Detailed disclosures as part of a separate Declaration of Interest form, which forms part of the journal's official records. It is important for potential interests to be declared in both places and that the information matches. [More information](#).

**Submission declaration and verification:** Submission of an article implies that the work described has not been published previously (except in the form of an abstract, a published lecture or academic thesis, see '[Multiple, redundant or concurrent publication](#)' for more information), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. To

verify originality, your article may be checked by the originality detection service [Crossref Similarity Check](#). **Preprints:** Please note that [preprints](#) can be shared anywhere at any time, in line with Elsevier's [sharing policy](#). Sharing your preprints e.g. on a preprint server will not count as prior publication (see '[Multiple, redundant or concurrent publication](#)' for more information).

**Use of inclusive language:** Inclusive language acknowledges diversity, conveys respect to all people, is sensitive to differences, and promotes equal opportunities. Articles should make no assumptions about the beliefs or commitments of any reader, should contain nothing which might imply that one individual is superior to another on the grounds of race, sex, culture or any other characteristic, and should use inclusive language throughout. Authors should ensure that writing is free from bias, for instance by using 'he or she', 'his/her' instead of 'he' or 'his', and by making use of job titles that are free of stereotyping (e.g. 'chairperson' instead of 'chairman' and 'flight attendant' instead of 'stewardess').

**Changes to authorship:** Authors are expected to consider carefully the list and order of authors before submitting their manuscript and provide the definitive list of authors at the time of the original submission. Any addition, deletion or rearrangement of author names in the authorship list should be made only **before** the manuscript has been accepted and only if approved by the journal Editor. To request such a change, the Editor must receive the following from the **corresponding author**: (a) the reason for the change in author list and (b) written confirmation (e-mail, letter) from all authors that they agree with the addition, removal or rearrangement. In the case of addition or removal of authors, this includes confirmation from the author being added or removed. Only in exceptional circumstances will the Editor consider the addition, deletion or rearrangement of authors **after** the manuscript has been accepted. While the Editor considers the request, publication of the manuscript will be suspended. If the manuscript has already been published in an online issue, any requests approved by the Editor will result in a corrigendum.

**Copyright:** Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete a 'Journal Publishing Agreement' (see [more information](#) on this). An e-mail will be sent to the corresponding author confirming receipt of the manuscript together with a 'Journal Publishing Agreement' form or a link to the online version of this agreement. Subscribers may reproduce tables of contents or prepare lists of articles including abstracts for internal circulation within their institutions. [Permission](#) of the Publisher is required for resale or distribution outside the institution and for all other derivative works, including compilations and translations. If excerpts from other copyrighted works are included, the author(s) must obtain written permission from the copyright owners and credit the source(s) in the article. Elsevier has [preprinted forms](#) for use by authors in these cases. For gold open access articles: Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete an 'Exclusive License Agreement' ([more information](#)). Permitted third party reuse of gold open access articles is determined by the author's choice of [user license](#).

**Author rights:** As an author you (or your employer or institution) have certain rights to reuse your work. [More information](#).

**Elsevier Researcher Academy:** [Researcher Academy](#) is a free e-learning platform designed to support early and mid-career researchers throughout their research journey. The "Learn" environment at Researcher Academy offers several interactive modules, webinars, downloadable guides and resources to guide you through the process of writing for research and going through peer review. Feel free to use these free resources to improve your submission and navigate the publication process with ease.

**Language (usage and editing services):** Please write your text in good English (American or British usage is accepted, but not a mixture of these). Authors who feel their English language manuscript may require editing to eliminate possible grammatical or spelling errors and to conform to correct scientific English may wish to use the [English Language Editing service](#) available from Elsevier's WebShop.

**Submission:** Our online submission system guides you stepwise through the process of entering your article details and uploading your files. The system converts your article files to a single PDF file used in the peerreview process. Editable files (e.g., Word, LaTeX) are required to typeset your article for final publication. All correspondence, including notification of the Editor's decision and requests for revision, is sent by e-mail. Poorly written and/or presented manuscripts (relative to the journal's guidelines) may be returned to authors for upgrading by the editorial office, prior to a review for scientific merit. Before preparing their manuscript, it is suggested that authors examine the editorial by the Editors-in-Chief in [Vol. 134/3-4](#), which outlines several practices and strategies of manuscript preparation that the Editors-in-Chief have found to be successful. This editorial also outlines practices that can lead to difficulties with reviewers and/or rejection of the manuscript for publication. There is also an example of an Animal Feed Science and Technology manuscript available on the journal website at <http://www.elsevier.com/locate/anifeedsci>.

**Submit your article:** Please submit your article via <https://www.elsevier.com/profile/api/navigate/ANIFEE>.

**Referees:** Please submit the names and institutional e-mail addresses of several potential referees. For more details, visit our [Support site](#). Note that the editor retains the sole right to decide whether or not the suggested reviewers are used.

**Peer review:** This journal operates a single blind review process. All contributions will be initially assessed by the editor for suitability for the journal. Papers deemed suitable are then typically sent to a minimum of two independent expert reviewers to assess the scientific quality of the paper. The Editor is responsible for the final decision regarding acceptance or rejection of articles. The Editor's decision is final. [More information on types of peer review](#). Use past tense for current findings, and the present tense for "truths" and hypotheses.

**Article Structure:** Manuscripts should have **numbered lines**, with wide margins and **double spacing** throughout, i.e. also for abstracts, footnotes and references. **Every page of the manuscript, including the title page, references, tables, etc., should be numbered continuously.** However, in the text no reference should be made to page numbers; if necessary, one may refer to sections. Avoid excessive usage of italics to emphasize part of the text.

**Introduction:** State the objectives of the work and provide an adequate background, avoiding a detailed literature survey or a summary of the results.

**Material and methods:** Provide sufficient details to allow the work to be reproduced by an independent researcher. Methods that are already published should be summarized, and indicated by a reference. If quoting directly from a previously published method, use quotation marks and also cite the source. Any modifications to existing methods should also be described. If reference is made to AOAC, ISO or similar analytical procedure(s), the specific procedure identification number(s) must be cited. A number of references for neutral and acid detergent fibre (NDF, ADF) assays exist, and an alternative reference to the now out-of-print USDA Agriculture Handbook 379 must be used. There are many options for NDF and ADF assays (e.g. sodium sulfite, alpha amylase, residual ash), which must be specified in the text. For more details see the editorial in [Vol. 118/3-4](#). While expressions of NDF and ADF inclusive of residual ash will continue to be acceptable (i.e., the terms aNDF, NDF and ADF above), the Editors-in-Chief highly recommend reporting all fibre values, including digestibilities, on an OM basis. Silica is partially soluble in ND, is quantitatively recovered in AD, and so may contribute to the 'fibre' values and to subsequent digestibility coefficients. Reporting 'hemicellulose' values as the difference between NDF and ADF is generally only acceptable if the analyses have been sequential on the same sample. Crude fibre (CF), nitrogen-free extract (NFE) and total digestible nutrients (TDN) are not acceptable terms for describing feeds and should only be referred to in a historical context.

**Results:** Results should be clear and concise.

**Discussion:** This should explore the significance of the results of the work, not repeat them. Avoid extensive citations and discussion of published literature. Combined 'Results and Discussion' sections are only acceptable for 'Short Communications', except under compelling circumstances.

**Conclusions:** The main conclusions of the study may be presented in a short Conclusions section, which may stand alone or form a subsection of a Discussion or Results and Discussion section.

**Highlights:** highlights are mandatory for this journal. They consist of a short collection of bullet points that convey the core findings of the article and should be submitted in a separate editable file in the online submission system. Please use 'Highlights' in the file name and include 3 to 5 bullet points (maximum 85 characters, including spaces, per bullet point). You can view [example Highlights](#) on our information site.

**Keywords:** Immediately after the abstract, provide a maximum of 6 keywords, using American spelling and avoiding general and plural terms and multiple concepts (avoid, for example, 'and', 'of'). Be sparing with abbreviations: only abbreviations firmly established in the field may be eligible. These keywords will be used for indexing purposes.

**Abbreviations:** Define abbreviations that are not standard in this field in a footnote to be placed on the first page of the article. Such abbreviations that are unavoidable in the abstract must be defined at their first mention there, as well as in the footnote. Ensure consistency of abbreviations throughout the article.

**Acknowledgements:** Collate acknowledgements in a separate section at the end of the article before the references and do not, therefore, include them on the title page, as a footnote to the title or otherwise. List here those individuals who provided help during the research (e.g., providing language help, writing assistance or proof reading the article, etc.).

**Formatting of funding sources:** List funding sources in this standard way to facilitate compliance to funder's requirements: Funding: This work was supported by the National Institutes of Health [grant numbers xxxx, yyyy]; the Bill & Melinda Gates Foundation, Seattle, WA [grant number zzzz]; and the United States Institutes of Peace [grant number aaaa].

**Nomenclature and units:** Follow internationally accepted rules and conventions: use the international system of units (SI). If other quantities are mentioned, give their equivalent in SI. You are urged to consult [IUB: Biochemical Nomenclature and Related Documents](#) for further information. Authors and Editors are, by general agreement, obliged to accept the rules governing biological nomenclature, as laid down in the *International Code of Botanical Nomenclature*, the *International Code of Nomenclature of Bacteria*, and the *International Code of Zoological Nomenclature*. All biotica (crops, plants, insects, birds, mammals, etc.) should be identified by their scientific names when the English term is first used, with the exception of common domestic animals. All biocides and other organic compounds must be identified by their Geneva names when first used in the text.

Active ingredients of all formulations should be likewise identified. SI or SI-derived units should be used throughout (e.g. MJ and not Kcal for energy concentrations). Concentrations should be expressed on a 'per kg' basis (w/w); however, w/v, v/v, mol/mol or M may be accepted depending on the circumstances. In addition, 'units' and 'equivalents' are acceptable. Normality should be avoided, as it may be ambiguous for certain acids. If analytical standards have been used, they should be specified by name (e.g. yeast RNA) and form (e.g. lactose monohydrate). Percents should only be used when describing a relative increase or decrease in a response. Proportions should be maximum 1.0 or  $\leq 1.0$ . For more details see the editorial in Vol. 118/3-4.

Percent is *only* used to indicate relative changes. For composition, both w/w (often solids composition g/kg) and w/v (e.g. g/L), v/v (e.g. mL), mol/mol or M can be accepted depending on the circumstances. Specify units (e.g. g/L) and never as percent.

**Math formulae:** Please submit math equations as editable text and not as images. Present simple formulae in line with normal text where possible and use the solidus (/) instead of a horizontal line for small fractional terms, e.g., X/Y. In principle, variables are to be presented in italics. Powers of e are often more conveniently denoted by exp. Number consecutively any equations that have to be displayed separately from the text (if referred to explicitly in the text). If differences between treatments are statistically significant, this should be indicated by adding the actual 'P' value obtained. If  $0.10 > P > 0.05$ , then differences can be considered to suggest a trend, or tendency, to a difference, but the actual 'P' value should be stated. Further information on this issue can be found in *Animal Feed Science and Technology* Vol. 129/1-2.

Spaces should be used between all values and units, except for the following: Between the value and degrees or percent. In equations around \* and /. In probability expressions ( $P < 0.05$ ). When probability values are given, the 'P' should be a capital letter.

#### **Artwork**

**Electronic artwork:** *General points:* Make sure you use uniform lettering and sizing of your original artwork. Embed the used fonts if the application provides that option. Aim to use the following fonts in your illustrations: Arial, Courier, Times New Roman, Symbol, or use fonts that look similar. Number the illustrations according to their sequence in the text. Use a logical naming convention for your artwork files. Provide captions to illustrations separately. Size the illustrations close to the desired dimensions of the published version. Submit each illustration as a separate file. A detailed [guide on electronic artwork](#) is available. **You are urged to visit this site; some excerpts from the detailed information are given here.**

*Format:* If your electronic artwork is created in a Microsoft Office application (Word, PowerPoint, Excel) then please supply 'as is' in the native document format. Regardless of the application used other than Microsoft Office, when your electronic artwork is finalized, please 'Save as' or convert the images to one of the following formats (note the resolution requirements for line drawings, halftones, and line/halftone combinations given below): EPS (or PDF): Vector drawings, embed all used fonts. TIFF (or JPEG): Color or grayscale photographs (halftones), keep to a minimum of 300 dpi. TIFF (or JPEG): Bitmapped (pure black & white pixels) line drawings, keep to a minimum of 1000 dpi. TIFF (or JPEG): Combinations bitmapped line/half-tone (color or grayscale), keep to a minimum of 500 dpi.

**Please do not:** Supply files that are optimized for screen use (e.g., GIF, BMP, PICT, WPG); these typically have a low number of pixels and limited set of colors; Supply files that are too low in resolution; Submit graphics that are disproportionately large for the content. All data in figures should have a measure of variation either on the plot (e.g., error bars), in the figure legend itself, or by reference to a table with measures of variation in the figure legend. Explanations should be given in the figure legend(s). Drawn text in the figures should be kept to a minimum. If a scale is given, use bar scales (instead of numerical scales) that must be changed with reduction.

**Color artwork:** Please make sure that artwork files are in an acceptable format (TIFF (or JPEG), EPS (or PDF), or MS Office files) and with the correct resolution. If, together with your accepted article, you submit usable color figures then Elsevier will ensure, at no additional charge, that these figures will appear in color online (e.g., ScienceDirect and other sites) regardless of whether or not these illustrations are reproduced in color in the printed version. **For color reproduction in print, you will receive information regarding the costs from Elsevier after receipt of your accepted article.** Please indicate your preference for color: in print or online only. [Further information on the preparation of electronic artwork.](#)

**Tables:** Please submit tables as editable text and not as images. Tables can be placed either next to the relevant text in the article, or on separate page(s) at the end. Number tables consecutively in accordance with their appearance in the text and place any table notes below the table body. Be sparing in the use of tables and ensure that the data presented in them do not duplicate results described elsewhere in the article. Please avoid using vertical rules and shading in table cells.

**References:** All publications cited in the text should be presented in a list of references following the text of the manuscript. The manuscript should be carefully checked to ensure that the spelling of authors' names and dates are exactly the same in the text as in the reference list. The accuracy of the references is the responsibility of the author(s).

**Reference links:** Increased discoverability of research and high quality peer review are ensured by online links to the sources cited. In order to allow us to create links to abstracting and indexing services, such as Scopus, CrossRef and PubMed, please ensure that data provided in the references are correct. Please note that incorrect surnames, journal/book titles, publication year and pagination may prevent link creation. When copying references, please be careful as they may already contain errors. Use of the DOI is highly encouraged.

A DOI is guaranteed never to change, so you can use it as a permanent link to any electronic article. An example of a citation using DOI for an article not yet in an issue is: VanDecar J.C., Russo R.M., James D.E., Ambeh W.B., Franke M. (2003). Aseismic continuation of the Lesser Antilles slab beneath northeastern Venezuela. *Journal of Geophysical Research*, <https://doi.org/10.1029/2001JB000884>. Please note the format of such citations should be in the same style as all other references in the paper.

**Web references:** As a minimum, the full URL should be given and the date when the reference was last accessed. Any further information, if known (DOI, author names, dates, reference to a source publication, etc.), should also be given. Web references can be listed separately (e.g., after the reference list) under a different heading if desired, or can be included in the reference list.

**Data references:** This journal encourages you to cite underlying or relevant datasets in your manuscript by citing them in your text and including a data reference in your Reference List. Data references should include the following elements: author name(s), dataset title, data repository, version (where available), year, and global persistent identifier. Add [dataset] immediately before the reference so we can properly identify it as a data reference. The [dataset] identifier will not appear in your published article.

**Reference management software:** Most Elsevier journals have their reference template available in many of the most popular reference management software products. These include all products that support Citation Style Language styles, such as Mendeley and Zotero, as well as EndNote. Using the word processor plug-ins from these products, authors only need to select the appropriate journal template when preparing their article, after which citations and bibliographies will be automatically formatted in the journal's style. If no template is yet available for this journal, please follow the format of the sample references and citations as shown in this Guide. If you use reference management software, please ensure that you remove all field codes before submitting the electronic manuscript. More information on how to remove field codes.

**Reference formatting:** There are no strict requirements on reference formatting at submission. References can be in any style or format as long as the style is consistent. Where applicable, author(s) name(s), journal title/book title, chapter title/article title, year of publication, volume number/book chapter and the article number or pagination must be present. Use of DOI is highly encouraged. The reference style used by the journal will be applied to the accepted article by Elsevier at the proof stage. Note that missing data will be highlighted at proof stage for the author to correct. If you do wish to format the references yourself they should be arranged according to the following examples:

**Reference style: Text:** All citations in the text should refer to:

1. *Single author:* the author's name (without initials, unless there is ambiguity) and the year of publication;
2. *Two authors:* both authors' names and the year of publication;
3. *Three or more authors:* first author's name followed by 'et al.' and the year of publication. Citations may be made directly (or parenthetically). Groups of references can be listed either first alphabetically, then chronologically, or vice versa. Examples: 'as demonstrated (Allan, 2000a, 2000b, 1999; Allan and Jones, 1999)... Or, as demonstrated (Jones, 1999; Allan, 2000)... Kramer et al. (2010) have recently shown ...'

**List:** References should be arranged first alphabetically and then further sorted chronologically if necessary. More than one reference from the same author(s) in the same year must be identified by the letters 'a', 'b', 'c', etc., placed after the year of publication.

**Journal abbreviations source:** Journal names should be abbreviated according to the List of Title Word Abbreviations.

**Video:** Elsevier accepts video material and animation sequences to support and enhance your scientific research. Authors who have video or animation files that they wish to submit with their article are strongly encouraged to

include links to these within the body of the article. This can be done in the same way as a figure or table by referring to the video or animation content and noting in the body text where it should be placed. All submitted files should be properly labeled so that they directly relate to the video file's content. . In order to ensure that your video or animation material is directly usable, please provide the file in one of our recommended file formats with a preferred maximum size of 150 MB per file, 1 GB in total. Video and animation files supplied will be published online in the electronic version of your article in Elsevier Web products, including [ScienceDirect](#). Please supply 'stills' with your files: you can choose any frame from the video or animation or make a separate image. These will be used instead of standard icons and will personalize the link to your video data. For more detailed instructions please visit our [video instruction pages](#). Note: since video and animation cannot be embedded in the print version of the journal, please provide text for both the electronic and the print version for the portions of the article that refer to this content.

**Data visualization:** Include interactive data visualizations in your publication and let your readers interact and engage more closely with your research. Follow the instructions hereto find out about available data visualization options and how to include them with your article.

**Supplementary material:** Supplementary material such as applications, images and sound clips, can be published with your article to enhance it. Submitted supplementary items are published exactly as they are received (Excel or PowerPoint files will appear as such online). Please submit your material together with the article and supply a concise, descriptive caption for each supplementary file. If you wish to make changes to supplementary material during any stage of the process, please make sure to provide an updated file. Do not annotate any corrections on a previous version. Please switch off the 'Track Changes' option in Microsoft Office files as these will appear in the published version.

**Research data:** This journal encourages and enables you to share data that supports your research publication where appropriate, and enables you to interlink the data with your published articles. Research data refers to the results of observations or experimentation that validate research findings. To facilitate reproducibility and data reuse, this journal also encourages you to share your software, code, models, algorithms, protocols, methods and other useful materials related to the project.

Below are a number of ways in which you can associate data with your article or make a statement about the availability of your data when submitting your manuscript. If you are sharing data in one of these ways, you are encouraged to cite the data in your manuscript and reference list. Please refer to the "References" section for more information about data citation. For more information on depositing, sharing and using research data and other relevant research materials, visit the [research data](#) page.

**Data linking:** If you have made your research data available in a data repository, you can link your article directly to the dataset. Elsevier collaborates with a number of repositories to link articles on ScienceDirect with relevant repositories, giving readers access to underlying data that gives them a better understanding of the research described.

There are different ways to link your datasets to your article. When available, you can directly link your dataset to your article by providing the relevant information in the submission system. For more information, visit the [database linking page](#).

For [supported data repositories](#) a repository banner will automatically appear next to your published article on ScienceDirect.

In addition, you can link to relevant data or entities through identifiers within the text of your manuscript, using the following format: Database: xxxx (e.g., TAIR: AT1G01020; CCDC: 734053; PDB: 1XFN).

**Mendeley Data:** This journal supports Mendeley Data, enabling you to deposit any research data (including raw and processed data, video, code, software, algorithms, protocols, and methods) associated with your manuscript in a free-to-use, open access repository. During the submission process, after uploading your manuscript, you will have the opportunity to upload your relevant datasets directly to *Mendeley Data*.

For more information, visit the [Mendeley Data for journals page](#).

**Data statement:** To foster transparency, we encourage you to state the availability of your data in your submission. This may be a requirement of your funding body or institution. If your data is unavailable to access or unsuitable to post, you will have the opportunity to indicate why during the submission process, for example by stating that the research data is confidential. The statement will appear with your published article on ScienceDirect. For more information, visit the [Data Statement page](#).

***Additional Information:*** Authors should use the 'Track Changes' option when revising their manuscripts, so that any changes made to the original submission are easily visible to the Editors. Those revised manuscripts upon which the changes are not clear may be returned to the author.

Specific comments made in the Author Comments in response to referees' comments must be organised clearly. For example, use the same numbering system as the referee, or use 2 columns of which one states the comment and the other the response.

**Online proof correction:** Corresponding authors will receive an e-mail with a link to our online proofing system, allowing annotation and correction of proofs online. The environment is similar to MS Word: in addition to editing text, you can also comment on figures/tables and answer questions from the Copy Editor. Web-based proofing provides a faster and less error-prone process by allowing you to directly type your corrections, eliminating the potential introduction of errors. If preferred, you can still choose to annotate and upload your edits on the PDF version. All instructions for proofing will be given in the e-mail we send to authors, including alternative methods to the online version and PDF.



## ANEXO B – Normas da revista Anais da Academia Brasileira de Ciências

### Preparação de manuscritos

Todas as partes do manuscrito devem ter espaço duplo. Após a aceitação, nenhuma alteração será feita no manuscrito para que as provas exijam apenas correções de erros tipográficos. Os autores devem enviar seu manuscrito apenas na versão eletrônica.

### Comprimento do manuscrito

Embora os trabalhos possam ter o tamanho necessário para a apresentação e discussão concisa dos dados, os documentos sucintos e cuidadosamente preparados são favorecidos tanto em termos de impacto quanto de legibilidade. No entanto, eles não devem exceder 50 páginas, incluindo todos os itens (figuras, tabelas, referências, etc.), a menos que previamente acordado com o Editor Chefe.

### Folha de rosto

A página de título do manuscrito deve apresentar os seguintes itens: **1.** Título do artigo (o título deve ter até 150 caracteres, incluindo espaços, e informativo para uma ampla comunidade científica); não inclua abreviações no título. **2.** Nome completo de todos os autores; use números sobrescritos logo após o nome de cada autor para indicar a afiliação; **3.** Endereço profissional e ORCID de todos os autores, incluindo o nome do departamento e instituição, nome e número da rua, CEP, cidade, estado e país; **4.** Palavras-chave (quatro a seis em ordem alfabética, separadas por vírgulas); **5.** Título em execução (uma versão curta do título, até 50 caracteres, incluindo espaços); **6.** Seção da Academia à qual o conteúdo da obra pertence; **7.** Nome, endereço, número de telefone, e-mail do autor correspondente, incluindo a quem toda a correspondência e provas devem ser enviadas (indique o autor correspondente com um \* após o nome). Caso algum desses requisitos não seja atendido, podemos cancelar o envio do seu trabalho e solicitar correções.

### Abstrato

O resumo deve conter no máximo 200 palavras e apresentar as principais conclusões do artigo, incluindo uma breve introdução, os objetivos do trabalho e uma conclusão com base nas conclusões apresentadas. Se os autores estiverem enviando uma revisão convidada / autorizada, o resumo deverá apresentar o tema principal da revisão e explicitar a contribuição da revisão para o campo. As referências não devem ser incluídas no resumo.

### Texto do manuscrito

Todo o texto deve ser escrito em espaço duplo, usando fonte Times New Roman de 12 pontos ou tipo equivalente. Organize, sempre que possível, o texto nas seguintes partes: **1.** Primeira página; **2.** Resumo (escrito em uma página separada, 200 palavras ou menos, sem abreviações); **3.** Introdução; **4.** Materiais e Métodos; **5.** Resultados; **6.** Discussão; **7.** Agradecimentos, se aplicável; **8.** Contribuição dos autores (quando o trabalho tiver mais de um autor); **9.** Referências. **10.** Legendas das figuras, se aplicável.

Artigos de algumas áreas, como Ciências Matemáticas, devem seguir seu formato usual. Em alguns casos, pode ser aconselhável omitir a parte (4) e mesclar as partes (5) e (6). Sempre que aplicável, a seção Materiais e Métodos deve indicar o Comitê de Ética que avaliou os procedimentos para estudos em humanos ou as normas seguidas para a manutenção e tratamentos experimentais de animais. Todos os procedimentos devem ser descritos em detalhes. Use o estilo inglês americano para escrever o texto. Os nomes químicos devem ser fornecidos de acordo com a IUPAC, e as cepas de organismos devem ser especificadas. Forneça nomes de reagentes e / ou fornecedores de equipamentos. Use unidades e símbolos de acordo com os símbolos do Bureau International des Poids et Mesures (SI) sempre que possível.

### Agradecimentos

Estes devem ser incluídos no final do texto. Agradecimentos pessoais devem preceder os de instituições ou agências. Notas de rodapé devem ser evitadas; quando necessário, eles devem ser numerados. Agradecimentos a subvenções e bolsas de estudo e endividamento a colegas, bem como menção à origem de um artigo (por exemplo, tese) devem ser adicionados à seção Agradecimentos. Inclua o nome completo da agência financiadora, país e número do projeto financiado (se aplicável).

### Abreviações

Eles devem ser definidos na sua primeira ocorrência no texto, exceto as abreviações padrão oficiais. As unidades e seus símbolos devem estar em conformidade com os aprovados pelo Bureau International des Poids et Mesures (SI).

### Figura Legends

Esta informação deve ser fornecida no final do manuscrito, após as abreviações. Todas as figuras devem conter uma legenda descritiva. A legenda deve conter uma frase introdutória que descreva as principais descobertas. Todos os painéis (se aplicável) devem ser identificados na legenda da figura por letras minúsculas (1a, 2a, 2b, 3c, 3d etc.). Ao apresentar barras de erro, informe se um número que segue o sinal  $\pm$  é um erro padrão da média (SEM) ou um desvio padrão da média (DP). Ou inclua na legenda se o resultado apresentado é representativo de N experimentos individuais.

### Tabelas

Cada tabela deve ter um breve título acima dela. As notas de rodapé da tabela devem ser colocadas abaixo da tabela. As tabelas devem ser citadas no artigo em algarismos romanos (Tabela I, Tabela II, Tabelas IV e V, etc.). As tabelas devem ser enviadas como arquivos separados em formato editável, de preferência como arquivo \* .doc ou \* docx.

### **Figuras**

Somente figuras de alta qualidade serão aceitas (mínimo de 300 dpi). Todas as ilustrações serão consideradas figuras, incluindo desenhos, gráficos, mapas, fotografias, etc. Sua colocação provisória no texto deve ser indicada e todas as figuras devem ser citadas com o respectivo número ao longo do texto. As figuras devem ser enviadas de acordo com as seguintes especificações: 1. Desenhos e ilustrações devem estar no formato .PS / .EPS ou .CDR (PostScript ou Corel Draw) e nunca devem ser inseridos no texto; 2. Imagens ou figuras em escala de cinza devem estar no formato .TIF e nunca devem ser inseridas no texto; 3. Cada figura deve ser salva e enviada em um arquivo separado; 4. As figuras devem, em princípio, ser submetidas no tamanho em que aparecerão na revista, ou seja, 8 cm (uma coluna) ou 16,2 cm (duas colunas) de largura,

As legendas das figuras devem ser enviadas em espaço duplo em uma página separada. Cada dimensão linear dos menores caracteres e símbolos não deve ser inferior a 2 mm após a redução. As figuras coloridas são aceitas tanto quanto as preto e branco, mas até 5 figuras em preto e branco são gratuitas, enquanto todas as figuras coloridas são cobradas, a devida comunicação será feita na fase de produção (após o processo de avaliação), se o autor quiser que eles sejam coloridos também na versão impressa. Com o objetivo de contar figuras em preto e branco, as tabelas que ocupam dois terços da página ou que possuem mais de 12 colunas ou 24 linhas serão consideradas figuras em preto e branco; 5. Manuscritos em Matemática, Física ou Química podem ser digitados em TEX, AMS-TEX ou L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X; 6. Manuscritos sem fórmulas matemáticas podem ser enviados em .RTF ou doc/docx para Windows.

### **Referências**

Os autores são responsáveis pela precisão das referências. Artigos publicados e impressos podem ser incluídos. As comunicações pessoais (Smith, comunicação pessoal) devem ser autorizadas por escrito pelos envolvidos. Referências a teses, resumos de reuniões (não publicadas em revistas indexadas) e manuscritos em preparação ou submetidas, mas ainda não aceitas, devem ser citadas no texto como (Smith et al., Dados não publicados) e NÃO devem ser incluídas na lista de referências.

As referências devem ser citadas no texto como, por exemplo, 'Smith 2004', 'Smith & Wesson 2005' ou, para três ou mais autores, 'Smith et al. 2006'. Dois ou mais trabalhos do (s) mesmo (s) autor (es) no mesmo ano devem ser distinguidos por letras, por exemplo, 'Smith 2004a', 'Smith 2004b' etc. etc. As cartas também devem distinguir trabalhos de três ou mais autores com primeiro autor e ano de publicação. As referências devem ser listadas de acordo com a ordem alfabética do primeiro autor, sempre na ordem SOBRENOME XY em que X e Y são iniciais. Se houver mais de dez autores, use et al. após o primeiro autor. As referências devem conter o título do artigo. Os nomes dos periódicos devem ser abreviados sem pontos ou vírgulas. Para as abreviações corretas, consulte as listas dos principais bancos de dados nos quais a revista está indexada ou consulte a Lista Mundial de Periódicos Científicos. A abreviação a ser usada para os Anais da Academia Brasileira de Ciências é An Acad Bras Cienc. Os exemplos a seguir devem ser considerados como diretrizes para as referências.