

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 01/03/2025.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP CENTRO DE
AQUICULTURA DA UNESP**

**EFEITO DA EXTRUSÃO NA COMPOSIÇÃO
BROMATOLÓGICA E DIGESTIBILIDADE DE
INGREDIENTES PROTEICOS E ENERGÉTICOS PARA
JUVENIS DE TILÁPIA DO NILO (*var. GIFT*)**

Thalys Vinicius Cruz

Jaboticabal – SP

2024

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP CENTRO DE
AQUICULTURA DA UNESP**

**EFEITO DA EXTRUSÃO NA COMPOSIÇÃO
BROMATOLÓGICA E DIGESTIBILIDADE DE
INGREDIENTES PROTEICOS E ENERGÉTICOS PARA
JUVENIS DE TILÁPIA DO NILO (*var. GIFT*)**

Thalys Vinicius Cruz

Dr. Dalton José Carneiro

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Aquicultura do Centro de Aquicultura da UNESP - CAUNESP, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre.

Jaboticabal – SP

2024

C957e	<p>Cruz, Thalys Vinicius</p> <p>Efeito da extrusão na composição bromatológica e digestibilidade de ingredientes proteicos e energéticos para juvenis de tilápia do Nilo (var. GIFT) / Thalys Vinicius Cruz. -- Jaboticabal, 2024</p> <p>84 p. : tabs.</p> <p>Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Centro de Aquicultura da Unesp, Jaboticabal</p> <p>Orientador: Dalton José Carneiro</p> <p>1. Aquicultura. 2. Rações Processamento. 3. Nutrição animal. 4. Proteínas. 5. Peixes Alimentação e rações. I. Título.</p>
-------	---

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Centro de Aquicultura da Unesp, Jaboticabal.
Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Unidade Complementar - Jaboticabal

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: EFEITO DA EXTRUSÃO NA COMPOSIÇÃO BROMATOLÓGICA E DIGESTIBILIDADE DE INGREDIENTES PROTEICOS E ENERGÉTICOS PARA JUVENIS DE TILÁPIA DO NILO (*var. GIFT*)

AUTOR: THALYS VINICIUS CRUZ

ORIENTADOR: DALTON JOSÉ CARNEIRO

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

Prof. Dr. DALTON JOSÉ CARNEIRO (Participação Presencial)
Departamento de Zootecnia / FCAV/UNESP, Jaboticabal-SP



Documento assinado digitalmente
DALTON JOSE CARNEIRO
Data: 26/04/2024 12:22:45-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. HELLEN BUZOLLO PAZZINI (Participação Virtual)
. / Centro Universitário de Rio Preto (UNIRP), São José do Rio Preto/SP



Documento assinado digitalmente
HELLEN BUZOLLO PAZZINI
Data: 24/03/2024 19:58:32-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. JULIANA TOMOMI KOJIMA (Participação Virtual)
Laboratório de Nutrição de Organismos Aquáticos / Universidade Nilton Lins, Manaus-AM



Documento assinado digitalmente
JULIANA TOMOMI KOJIMA
Data: 11/03/2024 17:24:47-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Jaboticabal, 01 de março de 2024

Sumário

Dedicatória	1
Agradecimentos	2
Apoio Financeiro	4
CAPÍTULO I - Efeito da extrusão na composição bromatológica e digestibilidade de ingredientes proteicos para juvenis de tilápia do Nilo (var. GIFT)	5
Resumo	6
Abstract	7
Considerações gerais	8
Introdução	11
Objetivos	14
Material e Métodos	14
Caracterização das alterações na composição físico-química dos principais ingredientes proteicos de origem animal, vegetal e microbiana utilizados em dietas comerciais para peixes.....	15
Efeito do processamento de extrusão sobre a digestibilidade de nutrientes e energia dos principais ingredientes proteicos utilizados em dietas para juvenis de tilápia do Nilo (var. GIFT).....	16
Resultados	19
Caracterização da composição bromatológica dos ingredientes	19
Coeficiente de digestibilidade aparente (CDA) da proteína e da energia dos ingredientes	24
Valores digestíveis dos ingredientes proteicos	29
Discussão	31
Coeficientes de digestibilidade aparente da proteína bruta	32
Coeficientes de digestibilidade aparente da energia bruta	34
Conclusões	35
Considerações finais	35
Referências	36
CAPÍTULO II - Efeito da extrusão e de níveis de inclusão de ingredientes energéticos sobre a digestibilidade de proteína e energia em dietas para juvenis de tilápia do Nilo (var. GIFT)	42
Resumo	43
Abstract	44
Considerações iniciais	45

Lipídios	45
Amido.....	46
Introdução	50
Objetivos	51
Material e Métodos	52
Caracterização nutricional das dietas experimentais com os principais ingredientes energéticos utilizados em dietas praticas para tilápia do Nilo, efeitos da extrusão.	52
Digestibilidade de proteína e energia dos cinco principais ingredientes energéticos utilizados com diferentes níveis (10 ou 30%) de inclusão em dietas-teste cruas ou extrusadas para juvenis de tilápia do Nilo.	53
Resultados	57
Composição de proteína bruta e energia bruta das dietas experimentais .	57
Eficiência de processamento e níveis de inclusão sobre os ingredientes .	59
Valores digestíveis dos ingredientes energéticos	66
Discussão	68
Farelo de Arroz	68
Quirera de arroz.....	69
Milho	69
Farelo de Trigo	70
Sorgo	70
Conclusões	72
Considerações finais	72
Referências	74

Dedicatória

Dedico este trabalho, em especial, à memória de minha Mãe, Sônia (*in memoriam*), que de alguma forma guiou-me para que eu pudesse chegar até este momento, mantendo sempre meu olhar voltado para ela e assim me motivando a seguir meu caminho. Ainda não sei expressar quanta falta me faz.

Ao meu amado pai, Márcio, que esteve sempre presente em todos os momentos da minha vida, sempre me impulsionou, foi o vento nas minhas asas e me conduziu até onde cheguei, permitindo que meus sonhos se realizassem. Espero um dia ser ao menos parte do que ele é.

À minha irmã, Daiane, que tantas vezes acreditou em mim e no meu potencial mais do que eu mesmo, e hoje é quem vive meus sonhos por mim, antes mesmo de se concretizarem. Não sei se existe algo que represente melhor o amor e seja mais valioso do que isso.

Vejamos o que o futuro nos reserva

Amo vocês

Agradecimentos

Ao **Prof. Dr. Dalton José Carneiro**, que, além de sua excepcional orientação acadêmica, também me inspira como pessoa. Sou e sempre serei muito grato por me receber de volta ao lugar que fez parte da minha história, por ser parte da minha vida pessoal, e por todo o seu cuidado e atenção dedicados a mim.

À **Profa. Dra. Ligia Maria Neira** (Ligia Maria, para os amigos), que, além de ser uma grande amiga pessoal, foi parte fundamental para o andamento e conclusão desse projeto. Foram muitas horas de waffles com discussão estatística, além de muito café, almoços e risadas. Sua presença foi essencial para o meu retorno à nossa antiga 'casa', sempre nostálgicos e relembrando dos amigos e acontecimentos.

À comissão avaliadora do meu exame de qualificação, **Profa. Dra. Hellen Buzollo Pazzini** e **Dr. Eduardo Gianini Abimorad**, suas expertises e considerações foram essenciais para a melhor compreensão e elaboração da dissertação em questão. Sem qualquer sombra de dúvida, são inspirações profissionais.

À comissão avaliadora da minha banca de defesa, **Profa. Dra. Hellen Buzollo Pazzini** e **Profa. Dra. Juliana Tomomi Kojima**. É uma honra poder contar com a experiência de vocês para elevar a qualidade desse estudo. Tê-las contribuindo para a conclusão dessa etapa da minha vida é muito importante.

Aos técnicos do CAUNESP, em especial ao **Marcio (Perereca)** e **Valdecir**, assim como à equipe de apoio, **Lúcia** e **Elaine**. Estavam presentes quando pisei pela primeira vez no CAUNESP, mais de 10 anos atrás, e sempre foram prestativos, amigáveis e gentis. Agradeço sempre pelo bom humor de vocês.

Aos colegas de pós-graduação do laboratório, **Andressa**, **Denis**, **Isabela**, **Ligia**, **Magdiel** (Mag), **Vinicius** (Vini) e **Tomaz**. Sabemos que ninguém faz nada sozinho, e a ajuda de vocês durante as biometrias e coletas foi fundamental para o desenrolar desse projeto, principalmente pelo bom humor e descontração nesses momentos. Sem contar todas as vezes que ficamos sentados em volta da mesa, rindo, tomando café e comendo os bolos do Prof. Dalton; essa era minha parte favorita.

Um agradecimento especial ao **Mag**, que sempre me ajudou, acredito que em literalmente tudo, em toda e qualquer análise, nos manejos ou indo pra extrusora e ficando HORAS tentando fazê-la funcionar como deveria. Dificilmente me vem à memória alguma etapa que não estávamos trabalhando juntos ou em disciplinas, da pós ou da graduação. Trabalhamos juntos, viajamos juntos, demos aula juntos, rimos juntos, e a Dona Rute já até arrumou roupas minhas (isso tem um significado enorme para mim), mas também passamos por situações difíceis juntos, talvez especialmente para mim. Obrigado por estar lá naquele momento. Sou muito grato por seu companheirismo ao longo desses dois anos.

Às colegas do laboratório vizinho, de limnologia, **Débora**, **Juliane** e **Livia**. Passamos ótimos momentos e construímos uma amizade que quero carregar comigo para sempre. São presentes maravilhosos e inesperados que o retorno ao CAUNESP me proporcionou.

Aos meus 'Amiguinhos', **Gustavo** e **Liandra**, também trazidos pela pós-graduação, e que tornaram várias horas de disciplinas em momentos muito divertidos, fosse criando empresas fictícias ou conversando em off durante as aulas. Espero que sejamos sempre próximos assim.

À minha irmã acadêmica, **Daiane Vaneci**. Me perco em meio a tantas lembranças e tantos momentos que passamos juntos ao longo desse período, mas compreendo muito bem o grau de importância e cumplicidade que temos. Nada do que eu registre aqui jamais seria capaz de expressar o que você significa para mim.

À minha querida amiga, **Thais Gornati**, que sempre me contagiou com seu alto-astral, além de ser uma de minhas inspirações, profissionais e pessoais. Sou muito grato pelas oportunidades que tivemos de conviver ao longo desses anos; todas foram maravilhosas, e eu anseio pelo dia em que isso possa se tornar mais frequente.

E à pessoa que acompanhou essa etapa mais intimamente do que qualquer outra, alimentou peixes, participou de coletas, foi meu suporte emocional, foi meu parceiro, viu meus melhores e piores dias, se doou e cuidou de mim, mesmo antes dessa aventura acadêmica, **Denis**. Eu te amo.

Apoio Financeiro

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela Bolsa de Mestrado concedida, Código de Financiamento 001. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

**CAPÍTULO I - Efeito da extrusão na composição bromatológica e
digestibilidade de ingredientes proteicos para juvenis de tilápia do Nilo
(var. *GIFT*)**

Resumo

O estudo teve como objetivo avaliar os efeitos do processamento de extrusão em ingredientes proteicos para juvenis de tilápias do Nilo (*var.* GIFT). Doze ingredientes foram analisados, incluindo fontes animais, vegetais e microbianas. O primeiro ensaio investigou alterações físico-químicas nos ingredientes após a extrusão, enquanto o segundo avaliou a digestibilidade da proteína e da energia em dietas cruas e extrusadas utilizando 540 juvenis de tilápias do Nilo (peso médio de $127,76 \pm 8,39$ g) em 36 tanques de fibra de vidro (430 L), em DIC, sendo 24 tratamentos, em esquema fatorial 2x12, correspondente ao processamento ou não do ingrediente, e aos 12 ingredientes estudados, em etapas subsequentes. Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e se pertinente, as médias foram comparadas pelo Tukey ($P < 0,05$). Os resultados revelaram que a extrusão reduziu significativamente o teor de proteína bruta nas dietas-teste, exceto para a farinha de insetos. As médias do coeficiente de digestibilidade aparente da proteína (CD_{PB}) aumentaram significativamente para a farinha de insetos, farinha de tilápia, farelo de algodão, glúten de milho e soja integral após a extrusão. A extrusão causou aumento no coeficiente de digestibilidade aparente da energia (CD_{EB}) para o farelo de soja, mas reduziu o CD_{EB} da farinha de carne e ossos, a farinha de insetos, a farinha de peixe marinho e da soja grão integral. Conclui-se que o processamento por extrusão afeta o teor proteico dos ingredientes, com exceção para a farinha de insetos, e também influencia nos CD_{PB} e CD_{EB} de alguns dos ingredientes proteicos estudados.

Palavras chave: processamento de ingredientes, digestão de nutrientes, proteína, energia, *Oreochromis niloticus*, peixes

Abstract

The study aimed to assess the effects of extrusion processing on protein sources for Nile tilapia juveniles (*var.* GIFT). Twelve ingredients were analyzed, including animal, vegetable, and microbial sources. The first trial investigated physicochemical changes in the sources after extrusion, while the second assessed protein and energy digestibility in raw and extruded diets using 540 Nile tilapia juveniles (average weight of 127.76 ± 8.39 g) in 36 cages (430 L) arranged in a completely randomized design. There were 24 treatments in a 2x12 factorial scheme, corresponding to the extruded or non-extruded sources, and the 12 studied sources, in subsequent stages. Results underwent analysis of variance (ANOVA), and where applicable, means were compared using Tukey's test ($P < 0.05$). The findings revealed that extrusion significantly reduced crude protein content in test diets, except for insect meal. Mean of apparent protein digestibility coefficients (ADC_{PB}) significantly increased for insect meal, tilapia meal, cottonseed meal, corn gluten meal, and whole soybean after extrusion. Extrusion caused an increase in the apparent energy digestibility coefficient (ADC_{EB}) for soybean meal but decreased ADC_{EB} for bone and meat meal, insect meal, marine fish meal, and whole soybeans. In conclusion, extrusion processing affects protein content in sources, except for insect meal, and also influence the ADC_{PB} and ADC_{EB} for some of the studied protein sources.

Keywords: ingredient processing, nutrient digestion, protein, energy, *Oreochromis niloticus*, fish

Introdução

Os desafios da aquicultura estão atrelados à necessidade de melhorar os índices econômicos e redução no impacto ambiental ocasionado pela atividade (Cyrino et al., 2010; Science for Environment Policy, 2015), isto tem estimulado o desenvolvimento de pesquisas voltadas ao conhecimento da qualidade e a quantidade mínima de energia e nutrientes necessários para otimizar a utilização de dietas e dessa forma, melhorar o desempenho produtivo e o meio ambiente aquático.

A extrusão e a peletização são dois métodos principais de granulação dos ingredientes (Kamarudin et al., 2018). A peletização utiliza tecnologia simplificada, onde ocorre a compactação e a prensagem forçada da mistura de matéria-prima, atingindo temperaturas de 60 a 90°C (Millán et al., 1987; Kubitzka, 1999, NRC, 2011). Com isto, essas dietas apresentam baixa estabilidade na água e uma alta descarga de resíduos (Rout e Bandyopadhyay, 1999).

A extrusão é caracterizada como um processo contínuo no qual a matéria-prima é cozida através da combinação de calor, cisalhamento e pressão (Riaz, 2000), envolvendo níveis mais altos de calor, umidade e pressão do que o processo de peletização, além dos grânulos apresentarem maior estabilidade na água (Lundblad et al., 2012). Este processo envolve mudanças na composição físico-química na matéria-prima, como a gelatinização do amido, a redução da oxidação lipídica, o aumento da fibra alimentar solúvel, a inativação de muitas enzimas alimentares, a diminuição de fatores antinutricionais (Singh et al., 2007b; Soetan e Oyewole, 2009; Nikmaram, Kamani e Ghalavand, 2015; Nikmaram et al., 2017; Romano e Kumar, 2018; Krogdahl et al., 2020), a desnaturação da proteína e a inativação de bactérias patogênicas (Al et al., 2016), além de melhorar a digestibilidade de energia e nutrientes (Gaylord et al. 2008; Glencross et al., 2011; 2012). Contudo, em comparação ao processo de peletização, a necessidade de utilização de altas temperaturas durante o processo de extrusão pode ocasionar maiores perdas de substâncias termo sensíveis (Athar et al., 2006; Singh et al., 2007b) e a possibilidade de maior redução do teor de aminoácidos (Gao et al., 2019).

As espécies de peixes aproveitam de forma diferente os mesmos ingredientes; essa variação pode ser inicialmente quantificada por meio da determinação dos coeficientes de digestibilidade aparente (CDA). A digestibilidade é definida como a habilidade de uma espécie digerir e absorver os nutrientes e a energia contidos nos ingredientes, sendo mensurada através da fração de nutrientes ingeridos que não são excretados nas fezes, sem considerar as perdas endógenas (NRC, 1993; Goddard e Mclean, 2001). A digestibilidade de nutrientes e de energia exatamente sobre os ingredientes para peixes pode ser afetada por uma variedade de fatores, destacando-se a influência dos processamentos por peletização e extrusão, que têm sido abordados em poucos estudos (Cheftel, 1986; Sugiura et al., 1998; Cheng e Hardy 2003; Sklan, Prag e Lupatsch, 2004; Fedrizi, 2009; Gao et al., 2019).

Os efeitos do processamento de peletização e extrusão de ingredientes no desempenho de diferentes espécies de peixes ainda são incongruentes. O processamento de extrusão poderia melhorar o crescimento e a utilização de nutrientes em “silver perch” (*Bidyanus bidyanus*) (Booth e Evans, 2002), dourada (*Sparus aurata*) (Venou et al., 2003; 2009), truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) (Glencross et al., 2011), tilápia híbrida (*Oreochromis niloticus* x *O. aureus*) (Ma et al., 2015; 2016) e carpa de gibel (*Carassius auratus gibelio*) (Shi et al., 2016; Gao et al., 2019). No entanto, o crescimento foi similar em juvenis (42g) de bagre do canal (*Ictalurus punctatus*) (Xu et al., 2017) alimentados com dietas peletizadas ou extrusadas.

Os processamentos por extrusão fazem parte, cada vez mais, dos processos produtivos para animais de produção, principalmente para diversas espécies aquáticas de interesse produtivo. O conhecimento das alterações físico-químicas nos ingredientes submetidos ao processamento usual de extrusão de dietas comerciais é imprescindível para otimizar o atendimento das exigências nutricionais.

A literatura científica em nutrição de peixes apresenta-se incipiente em estudos sobre as alterações na matéria-prima ocasionadas pelo efeito do tratamento térmico na composição físico-química, na digestibilidade e na eficiência de utilização de nutrientes e energia de ingredientes proteicos, ainda são escassas para peixes. Especificamente sobre os efeitos do processamento

sobre a nutrição da tilápia do Nilo, a segunda espécie mais produzida mundialmente, seriam fundamentais os estudos sobre as melhores condições de processamento de ingredientes e dietas, na tentativa de minimizar degradações e perdas de biodisponibilidade de energia e nutrientes torna-se bastante importante. Usualmente, os estudos contemplam a avaliação de dietas, mas estes estudos precisam de informações definitivas sobre o aproveitamento de nutrientes de cada alimento, em separado. Torna-se necessário atrelar os resultados ao entendimento dos efeitos na composição dos ingredientes, antes e após serem submetidos ao processamento, e como eles podem influenciar nas diversas funções do organismo dos peixes, especificamente nos aspectos relacionados ao metabolismo, na utilização de micro e macronutrientes e na complexidade da interação entre a energia e os nutrientes.

O conhecimento referente as alterações físico-químicas nos ingredientes submetidos aos processamentos com tratamentos térmicos e pressão são fundamentais para a otimização da utilização de nutrientes e energia, a redução de perdas de sua biodisponibilidade e o adequado atendimento as exigências nutricionais da espécie.

As alterações nos coeficientes de digestibilidade de nutrientes e de energia dos ingredientes, após o processamento de extrusão, mais usual em dietas comerciais para peixes, são fundamentais para a formulação em valores digestíveis, que atendam realmente as exigências nutricionais de cada espécie, na tentativa de melhorar as condições de processamento, minimizando possíveis degradações e perdas de biodisponibilidade de nutrientes e energia dos ingredientes (Furuya et al., 2001; Meurer, Hayashi e Boscolo, 2003; Fedrizi, 2009; Dairiki e Silva, 2011), e com isso, promovendo melhorias também econômicas e ambientais.

Ademais, apesar das pesquisas focarem principalmente em formulações dietéticas e regimes de alimentação mais eficientes, não priorizam o desenvolvimento de estudos relacionados ao efeito do processamento de diferentes ingredientes no crescimento e eficiência nutricional dos peixes e nem mesmo às mudanças no metabolismo de proteínas e na atividade enzimática (Krogdahl et al., 2003; Kumar et al., 2010; 2012).

Conclusões

O processamento de extrusão dos ingredientes energéticos resultou em alterações nos valores de proteína e de energia brutas das dietas experimentais e dos ingredientes estudados.

O efeito da extrusão e dos níveis de inclusão (10% e 30%) variou dependendo do tipo de ingrediente utilizado em dietas para juvenis de tilápia do Nilo. A extrusão demonstrou impactos positivos apenas no CD_{PB} para o milho a 10% de inclusão e quirera de arroz a 30%, mas teve efeitos negativos para a quirera de arroz a 10%. Além disso, a inclusão de 30% beneficiou o CD_{PB} para o milho cru e quirera de arroz extrusada, enquanto o sorgo foi sempre beneficiado pela inclusão de 30%.

Quanto ao CD_{EB} , a extrusão teve efeitos positivos para quirera de arroz e sorgo a 30%, farelo de arroz a 10%, e milho em ambos os níveis de inclusão. No entanto, a inclusão de 30% resultou em redução do CD_{EB} para o farelo de arroz e quirera de arroz, enquanto a inclusão de 10% promoveu valores mais altos para farelo de arroz e milho extrusados, quirera de arroz e sorgo crus, assim como CDA_{EB} médios mais elevados para farelo de arroz cru, quirera de arroz extrusada, e farelo de trigo cru e extrusado.

Portanto, os efeitos da extrusão e dos níveis de inclusão são específicos para cada ingrediente, indicando a complexidade das interações entre esses fatores na digestibilidade de proteína e de energia bruta em dietas para juvenis de tilápia do Nilo.

Considerações finais

As divergências quanto aos valores observados por diferentes autores podem decorrer de divergências metodológicas, muitas vezes não sendo diretamente expostas nos estudos, seja no tempo excessivo para coleta de fezes ou mesmo em relação aos modelos matemáticos aplicados para determinação dos coeficientes de digestibilidade aparente dos nutrientes e da energia. Entende-se que os autores têm a liberdade de utilizar o modelo que melhor se adequa ao seu conjunto de dados. Adicionalmente, o intervalo de tempo e a lixiviação de nutrientes das fezes podem influenciar nos resultados obtidos, tanto

em função das características nutricionais inerentes dos ingredientes quanto pela espécie utilizada no estudo. Mesmo utilizando uma determinada espécie como ferramenta metodológica, ela pode estar constantemente passando por melhoramento genético, resultando em alterações na assimilação nutrientes e energia das dietas.

Os resultados e a análise comparativa entre os estudos destacam a importância da forma de processamento dos alimentos e variações nos valores de nutrientes, sendo que a inclusão de 30% do ingrediente influencia diretamente nos coeficientes de digestibilidade encontrados.

Referências

- Abimorad, E.G.; Carneiro, D. J. Métodos de coleta de fezes e determinação dos coeficientes de digestibilidade da fração protéica e da energia de ingredientes para o pacu, *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887). Revista Brasileira de Zootecnia, v. 33, p. 1101- 1109, 2004.
- Albuquerque, C. A. N. Desempenho de um extrusor nacional com base na caracterização física e físico-química de produtos extrusados de milho. 1985. Dissertação (Mestrado) – ESAL, Lavras, 1985.
- Altan, A., McCarthy, K.L., Maskan, M., 2009. Effect of extrusion cooking on functional properties and in vitro starch digestibility of barley-based extrudates from fruit and vegetable by-products. J. Food Sci. 74. <https://doi.org/10.1111/J.1750-3841.2009.01051.X>
- Amaya-Llano, S.L., Morales Hernández, N., Castaño Tostado, E., Martínez-Bustos, F., 2007. Functional characteristics of extruded blends of whey protein concentrate and corn starch. Cereal Chem. 84, 195–201. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-84-2-0195>
- Anderson, R. A., Conway, H. F., Pfeifer, V. F., & Griffin, E. L. Jr. (1969). Gelatinization of corn grits by roll-and extrusion-cooking. Cereal Science Today, 14(1), 130-135.
- Andriguetto, J. M. Nutrição animal: as bases e os fundamentos da nutrição animal - os ingredientes. 4ª ed. SÃO PAULO: Nobel. 395 p, 1990.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2016. Official Methods of Analysis (2016) (20th ed.). Rockville, United States: AOAC International.
- Arribas, C., Cabellos, B., Cuadrado, C., Guillamón, E., Pedrosa, M.M., 2019. Extrusion effect on proximate composition, starch and dietary fibre of ready-to-eat products based on rice fortified with carob fruit and bean. LWT 111, 387–393. https://doi.org/10.1016/J.LWT.2019.05.064/EXTRUSION_EFFECT_ON_PROXIMATE_COMPOSITION_STARCH_AND_DIETARY_FIBRE_OF_READY_TO_EAT_PRODUCTS_BASED_ON_RICE_FORTIFIED_WITH_CAROB_FRUIT_AND_BEAN.PDF
- Bertipaglia, L.M.A., De Melo, G.M.P., Sugohara, A., De Melo, W.J., Bertipaglia, L.A., 2008. Alterações bromatológicas em soja e milho processados por extrusão. Rev. Bras. Zootec. 37, 2003–2010. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982008001100016>
- Boscolo, W.R., Hayashi, C., Meurer, F., 2002. Digestibilidade aparente da energia e nutrientes de alimentos convencionais e alternativos para a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*, L.). Rev. Bras. Zootec. 31, 539–545. <https://doi.org/10.1590/s1516-35982002000300001>
- Butolo, J. E. Qualidade de ingredientes na alimentação animal: Colégio Brasileiro de nutrição animal. Campinas. 430 p, 2002
- Camire, M. Chemical and nutritional changes in food during extrusion. In: RIAZ, M. Extruders in Food Applications. Boca Raton, FL: Taylor & Francis Group, 2000.p.127-148.

- Cargo-Froom, C.L., Newkirk, R.W., Marinangeli, C.P.F., Shoveller, A.K., Ai, Y., Columbus, D.A., 2023. The effects of extrusion on nutrient content of Canadian pulses with a focus on protein and amino acids. *Can. J. Anim. Sci.* 103, 44–58. https://doi.org/10.1139/CJAS-2022-0088/SUPPL_FILE/CJAS-2022_0088SUPPLA.DOCX
- Fernández-Gutiérrez, J.A., Martín-Martínez, E.S., Martínez-Bustos, F., Cruz-Orea, A., 2004. Physicochemical properties of casein-starch interaction obtained by extrusion process. *Starch/Staerke* 56, 190–198. <https://doi.org/10.1002/star.200300211>
- Furukawa, A.; Tsukahara, H. On the acid digestion method for the determination of chromic oxide as an index substance in the study of digestibility of fish feed. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, v. 32, n. 6, p. 502-506, 1966.
- Furuya, W. M. (Ed.). *Tabelas brasileiras para a nutrição de tilápias*. Toledo, Brasil: GFM, 2010.
- Furuya, W.M., Pezzato, L.E., Pezzato, A.C., Barros, M.M., De Miranda, E.C., 2001. Coeficientes de digestibilidade e valores de aminoácidos digestíveis de alguns ingredientes para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Rev. Bras. Zootec.* 30, 1143–1149. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982001000500002>
- Gatlin III, D. M. Nutrition and feeding of red drum and hybrid striped bass. Chand and S.S Wang, editors. *Advances in extrusion technology*. Technomic Publishing Co. Lancaster, PA, USA. P 43-52 in Y.K, 1999.
- Guimarães, I.G., Pezzato, L.E., Barros, M.M., Tachibana, L., 2008. Nutrient digestibility of cereal grain products and by-products in extruded diets for Nile tilapia. *J. World Aquac. Soc.* 39, 781–789. <https://doi.org/10.1111/J.1749-7345.2008.00214.X>
- Guzman, L.B., Lee, T.C.,Chicester, C.O.,1992.Lipid binding during extrusion cooking .In: Kokini, J.C., Ho,.C.T.,Karwe, M.V. Eds., *Food Extrusion Science and Technology*. Marcel Dekker, New York.
- Haythornthwaite, A. *Extrusion: as a toll for improved nutritional value of feeds*. Reading: Creative Press, 1986. 4p.
- Hernández-Nava, R.G., Bello-Pérez, L.A., San Martín-Martínez, E., Hernández-Sánchez, H., Mora-Escobedo, R., 2011. Effect of extrusion cooking on the functional properties and starch components of lentil/banana blends: Response surface analysis. *Rev. Mex. Ing. química* 10, 409–419.
- Hillestad, M., Johnsen, F., Aasgaard, T. Protein to carbohydrate ratio in high-energy diets for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture Research*. 32. 517 – 529, 2001.
- Ho, C.T.; Izzo, M.T. 1992. Lipid protein and lipid carbohydrate interaction during extrusion. In: Kokini, J.L.; HO, C.T.; Karwe, M.V. (Eds.) *Food extrusion science and technology*. New York: Marcell Dekker. p.427-436.
- Jiang, L., Qi, M., Deng, Y., Suo, W., Song, J., Zhang, M., Zheng, H., Zhang, D., Chen, S., Li, H., 2022. Extrusion-induced pre-gelatinization and

- hydrolyzation of rice adjunct contributed to the mashing performance. *Lwt* 158, 113126. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113126>
- Kristiawan, M., Micard, V., Maladira, P., Alchamieh, C., Maigret, J.E., Réguerre, A.L., Emin, M.A., Della Valle, G., 2018. Multi-scale structural changes of starch and proteins during pea flour extrusion. *Food Res. Int.* 108, 203–215. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.03.027>
- Lawton, B.T., Henderson, G.A., Derlatka, E.J., 1972. The effects of extruder variables on the gelatinisation of corn starch. *Can. J. Chem. Eng.* 50, 168–172. <https://doi.org/10.1002/CJCE.5450500205>
- Li, J., Li, L., 2023. Effect of extrusion temperature on the structure and emulsifying properties of soy protein isolate-oat β -glucan conjugates formed during high moisture extrusion. *Food Chem.* 429, 136787. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2023.136787>
- Meurer, S. Digestibilidade aparente da matéria seca, proteína e energia bruta de alguns ingredientes para juvenis de piracanjuba, *Brycon orbignyanus*. 1999. Tese (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.
- Nose, T., 1966. Recent advances in the study of fish digestion in Japan. In: SYMPOSIUM ON FEEDING TROUT AND SALMON CULTURE, 7., 1966, Belgrade. Proceedings... Belgrade: EIFAC, p. 17, 1966.
- Novoa, D.M.T., Júnior, M.V.V., De Andrade, D.R., Nery, V.L.H., 2013. Digestibilidade aparente da energia bruta e da proteína de alimentos para Tilápia Vermelha (*Oreochromis sp.*). *Zootec. Trop.* 31, 141–149.
- Pablos, J.B. 1986. Consideraciones sobre el uso de la soya integral en la alimentación de las aves. *Soya (ASA)*, México, v.61. p.1-4.
- Pezzato, L.E., De Miranda, E.C., Barros, M.M., Pinto, L.G.Q., Furuya, W.M., Pezzato, A.C., 2002. Digestibilidade Aparente de Ingredientes pela Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Rev. Bras. Zootec.* 31, 1595–1604. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982002000700001>
- Russell, P.L., 1987. Gelatinisation of starches of different amylose/amylopectin content. A study by differential scanning calorimetry. *J. Cereal Sci.* 6, 133–145. [https://doi.org/10.1016/S0733-5210\(87\)80050-4](https://doi.org/10.1016/S0733-5210(87)80050-4)
- Schutte, J.B. Nutritional value and physiological effects of D-xylose and L-arabinose in poultry and pigs. Wageningen: Wageningen Agricultural University, 173p. 1991. Thesis (Doctor) - Wageningen Agricultural University, 1991.
- Singh, S., Gamlath, S., Wakeling, L., 2007. Nutritional aspects of food extrusion: A review. *Int. J. Food Sci. Technol.* 42, 916–929. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2621.2006.01309.X>
- Singha, P., Singh, S.K., Muthukumarappan, K., Krishnan, P., 2018. Physicochemical and nutritional properties of extrudates from food grade distiller's dried grains, garbanzo flour, and corn grits. *Food Sci. Nutr.* 6, 1914–1926. <https://doi.org/10.1002/FSN3.769>
- Soler-Jaramillo, M. d. P. Sistema digestivo de los peces, camaronês y su fisiología. In: Soler-Jaramillo, M. d. P.; Rodriguez-Gómez, H. DAZA, P. V.

Fundamentos em Nutrición y Alimentación en Acuicultura. Santa Fé de Bogotá: Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura, p. 23-52, 1996.

- Téllez-Morales, J.A., Herman-Lara, E., Gómez-Aldapa, C.A., Rodríguez-Miranda, J., 2020. Techno-functional properties of the starch-protein interaction during extrusion-cooking of a model system (corn starch and whey protein isolate). *Lwt* 132. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109789>
- Vranjes, M.V.; Pfirter, H.P.; Wenk, C. 1995. Influence of processing on dietary enzyme effect and nutritive value of diets for laying hens. *Canadian Journal of Animal Science*, v.75, p.453-460
- Wilson, R. P. Utilization of dietary carbohydrate by fish. *Aquaculture*, v. 124, p.67-80, 1994.
- Zhang, W., Li, S., Zhang, B., Drago, S.R., Zhang, J., 2016. Relationships between the gelatinization of starches and the textural properties of extruded texturized soybean protein-starch systems. *J. Food Eng.* 174, 29–36. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.11.011>
- Zhang, Z., Bai, Y., Qiao, J., Liang, Y., Zhou, J., Guo, S., Zhao, C., Xing, B., Qin, P., Zhang, L., Ren., G., 2024. Effect of high moisture extrusion on the structure and physicochemical properties of Tartary buckwheat protein and its in vitro digestion. *Food Res. Int.* 180, 114065. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2024.114065>