

INGREDIENTES VEGETAIS EM RAÇÕES EXTRUSADAS PARA O TAMBAQUI

um estudo sobre a influência dos ingredientes vegetais nas propriedades físicas dos péletes

*Elcimar da Silva Sousa¹, César Augusto Oishi², Francisco de Matos Dantas³,
Flávio Augusto Leão da Fonseca⁴, Juliana Tomomi Kojima⁵ e Ligia Uribe Gonçalves⁶*

RESUMO

O amido é o nutriente responsável por aglutinar e expandir o pélete durante a gelatinização, que ocorre no processo de extrusão de ração. O objetivo desse estudo foi avaliar a qualidade física de péletes de rações extrusadas formuladas com diferentes ingredientes vegetais. Foram formuladas e extrusadas rações para tambaqui, variando a fonte de amido: amido de milho, crueira de mandioca, farelo de arroz, milho grão e farinha de trigo. Os péletes foram analisados quanto ao teor de umidade, densidade aparente (DA), flutuabilidade (F), taxa de expansão (TE), índice de absorção de água (IAA), índice de solubilidade em água (ISA), resistência a água (RA), índice de durabilidade (IDP) e microestrutura. O maior teor de umidade foi observado nas rações contendo crueira de mandioca, farinha de trigo e amido de milho, 25,22, 24,60, 23,90%, respectivamente. A ração com milho grão apresentou maior DA de 363,35 e a menor foi observada para crueira de mandioca 306 g/l. A TE para farelo de arroz foi de 89,03, farinha de trigo com 75,84, crueira de mandioca 66,08, amido de milho 65,67 e milho grão 62,51%. Os valores de DA e TE garantiram 100% de flutuabilidade para péletes de todas as rações, confirmados pelas várias câmaras de ar presentes nas fotomicrografias de varredura dos péletes. Para IAA, as rações com milho grão e crueira de mandioca apresentaram as maiores médias com 7,10 e 6,51%, respectivamente. Os valores de ISA, RA e IDP se mantiveram ao redor de 1,48, 84,51 e 99,72% demonstrando que todas fontes de amido gelatinizaram e aglutinaram todos os componentes das rações, permitindo que os péletes mantivessem suas integridades físicas na água. A crueira de mandioca pode ser um ingrediente potencial para rações para tambaqui na Amazônia, por proporcionar péletes de alta qualidade, e por ser um coproduto com alta disponibilidade na região.

Palavras-Chave: amido; *Colossoma macropomum*; extrusão; gelatinização; pélete de ração.

¹Universidade Nilton Lins. elcimarsousa.silva@gmail.com, Lattes: [3919708847237879](https://lattes.cnpq.br/3919708847237879)

²Amanayara LTDA. cesara.oishi@gmail.com, Lattes: [8601193895571775](https://lattes.cnpq.br/8601193895571775)

³Secretaria de Estado da Produção Rural/SEPROR. dantasfm3@gmail.com, ORCID: [0000-0002-2050-1086](https://orcid.org/0000-0002-2050-1086)

⁴Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas/IFAM. flavio.fonseca@ifam.edu.br, Lattes: [3578903186402293](https://lattes.cnpq.br/3578903186402293)

⁵Universidade Nilton Lins. juliana.kojima@uniniltonlins.edu.br, ORCID: [0000-0001-5099-7505](https://orcid.org/0000-0001-5099-7505)

⁶Instituto Nacional de Pesquisas na Amazônia - INPA. ligia.goncalves@inpa.gov.br, ORCID: [0000-0002-5014-6986](https://orcid.org/0000-0002-5014-6986)

VEGETABLE INGREDIENTS IN EXTRUDED FEEDS FOR TAMBAQUI
a study on the influence of vegetable ingredients on the physical properties of pellets

ABSTRACT

Starch is the nutrient responsible for binding and expanding the pellet during gelatinization, which occurs in the feed extrusion. The aim of this study was to evaluate the physical quality of pellets from extruded feeds formulated with different plant ingredients. Feeds for tambaqui were formulated and extruded, varying the starch source: corn starch, cassava byproduct, rice bran, corn grain, and wheat flour. The pellets were analyzed for moisture content, bulk density (BD), buoyancy (B), expansion rate (ER), water absorption index (WAI), water solubility index (WSI), water resistance (WR), durability index (DI), and microstructure. The highest moisture content was observed in feeds containing cassava byproduct, wheat flour, and corn starch, 25.22, 24.60, 23.90%, respectively. The corn grain feed showed the highest BD of 363.35 and the lowest was observed for cassava byproduct at 306 g/l. The ER for rice bran was 89.03, wheat flour with 75.84, cassava byproduct 66.08, corn starch 65.67, and corn grain 62.51%. The BD and ER values ensured 100% buoyancy for pellets from all feeds, confirmed by the various air chambers present in the scanning photomicrographs of the pellets. For WAI, the feeds with corn grain and cassava byproduct showed the highest averages with 7.10 and 6.51%, respectively. The values of WSI, WR, and DI remained around 1.48, 84.51, and 99.72%, demonstrating that all starch sources gelatinized and bound all the components of the feeds, allowing the pellets to maintain their physical integrity in water. Cassava byproduct may be a potential ingredient for tambaqui feeds in the Amazon, as it provides high-quality pellets and is a coproduct with high availability in the region.

Keywords: feed pellet; *Colossoma macropomum*; extrusion; gelatinization; starch.

INTRODUÇÃO

O uso de ingredientes vegetais em rações para peixes onívoros é amplamente difundido na aquicultura. Além de serem fontes de energia não proteica, são fontes de amido, o qual possui características adequadas para o processamento de extrusão, pois contribui para a aglutinação de nutrientes e expansão do pélete (HORN e BRONIKOWSKI, 1979; ILO e BERGHOFER, 1999).

No processo de extrusão, o amido é umedecido, submetido à altas temperatura e pressão, o que proporciona o rompimento das ligações de hidrogênio intermoleculares, permitindo a passagem de água e, conseqüentemente, promovendo a gelatinização. O aumento da viscosidade causado pela gelatinização permite que todos os ingredientes da mistura da ração sejam aglutinados, promovendo maior estabilidade do pélete na água (TAKO et al., 2014). Além disso, o amido cozido é melhor aproveitado pelos peixes, pois com a ruptura dos grânulos, a amilose se dissolve, e se torna mais acessível à ação das enzimas digestivas e absorvidas pelos peixes (CARVALHO et al., 2012).

A alta pressão durante a extrusão permite a expansão do pélete devido a formação interna de microbolhas, o que garante sua flutuabilidade e possibilita o acompanhamento visual do arraçoamento dos peixes pelo produtor. Porém, cada ingrediente vegetal possui composição nutricional distinta, especialmente, na quantidade, qualidade e tamanho das moléculas de amido (GLENCROSS et al., 2011). Assim, cada fonte de amido possui uma temperatura de gelatinização e é influenciada pelas quantidades de amilose e amilopectina, as quais estão relacionadas a espécie do vegetal e sua origem geográfica que inclui condições do solo, clima e até mesmo a variedade (CEREDA et al., 2002; PARK et al., 2007). Para a maioria dos tipos de amido, a gelatinização ocorre entre 60 e 80° C, sendo que a das raízes e tubérculos, a temperatura de gelatinização fica entre 52 e 65° C.

A farinha de trigo é comumente utilizada como fonte de amido na indústria mundial de ração (SØRENSEN, et al., 2010), porém outras fontes como o milho, arroz, mandioca e seus subprodutos possuem grande potencial como ingredientes para produção de rações para peixes onívoros em países em desenvolvimento, devido à alta disponibilidade e baixos custos.

No Brasil, a aquicultura está inserida no Plano Regional de Desenvolvimento da Amazônia – PRDA 2020- 2023 da Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM) do Governo Federal, que visa promover e consolidar o desenvolvimento sustentável da pesca e aquicultura na Amazônia Legal. Tendo em vista que o tambaqui (*Colossoma macropomum*), é a espécie nativa mais produzida em todo território brasileiro, o objetivo deste estudo foi investigar o potencial de cinco fontes de ingredientes vegetais nas propriedades físicas de rações extrusadas para sua fase de engorda.

METODOLOGIA

O experimento foi realizado na Estação Experimental de Aquicultura do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, Manaus, Amazonas, Brasil.

Foram formuladas cinco rações isoproteicas (28% de PB) e isoenergéticas (3.506 Kcal de EB/kg), conforme as necessidades nutricionais do tambaqui (*Colossoma macropomum*) durante a fase de engorda, variando o ingrediente vegetal: amido de milho, crueira de mandioca, farelo de arroz; milho grão e farinha de trigo (Tabela 1). Os ingredientes vegetais foram comprados no comercio, exceto a crueira de mandioca, que foi doada por um produtor local. As misturas dos ingredientes foram moídas em moinho de martelo (VIEIRA®, modelo MCS 280) com granulometria de 0,7 mm. Todas as misturas foram extrusadas a quente em extrusora monorosca (INBRAMAQ, Modelo MX - 80), com condicionador duplo e injeção d'água, matriz de 3 mm, com as seguintes condições de processamento: frequência de alimentação da mistura de 30 hz, fluxo de água no condicionador de 36%, temperatura da água no barril de 60 °C e temperatura do canhão de 100 °C.

Tabela 1. Formulação e composição centesimal de rações contendo ingredientes vegetais.

Ingredientes	Fontes de Amido				
	Amido de milho	Crueira de mandioca	Farelo de arroz	Milho grão	Farinha de trigo
Farelo de soja	43,00	41,00	40,00	40,00	35,00
Farinha de carne e ossos	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Glúten de milho	8,40	8,40	8,40	8,40	8,40
Amido de milho	21,00	--	--	--	--
Crueira de mandioca	--	21,00	--	--	--
Farelo de arroz	--	--	27,00	--	--
Milho grão	--	--	--	32,00	--
Farinha de trigo	--	--	--	--	23,00
Farelo de trigo	16,00	18,00	13,00	8,00	22,0
Premix ¹	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68
L-Lisina	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Metionina	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Sal comum	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
BHT	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Nutrientes e energia					
PB (%)	28,73	29,15	28,66	29,00	28,89
ENN (%)	6,78	7,02	6,86	7,68	6,40
FB (%)	2,54	2,53	2,79	3,03	2,29
A (%)	21,85	22,32	21,96	21,85	22,32
MM (%)	7,75	7,44	7,20	7,14	7,29
EB (Kcal/Kg)	3665,33	3689,00	3744,00	3713,67	3746,00

¹Premix: suplemento vitamínico e mineral expressos em (g/kg) Cloreto de potássio 2,00; óxido de magnésio 0,60; sulfato de ferro 7,50; Sulfato de cobre 1,00; Óxido de manganês 2,00; Selenito de sódio 0,07; Iodato de cálcio 0,25; Cloreto de colina 80,00; Vitamina K3 0,70; Ácido nicotínico 10,00; Ácido pantotênico 5,00; Ácido fólico 0,10; Biotina 0,05; Vitamina A 2.000.000,00 UI; Vitamina D3 60.000,00 UI; Vitamina B2 4,00; Vitamina B6 5,00; Vitamina B12 0,01; Vitamina C80,00; Inositol 4,00; Etoxiquin 1,00; B.H.T 5,00.

Nutrientes: PB: Proteína Bruta; ENN: Extrativos não-nitrogenados. FB: Fibra Bruta; A: Amido; MM: Matéria Mineral; EB: Energia Bruta.

Fonte: Autoria Própria

As rações extrusadas foram secas em estufa com circulação de ar forçada a 55 °C, até obterem o teor de umidade de 7%. Todas as rações foram armazenadas em sacos plásticos, identificados e armazenados em sala climatizada, a uma temperatura de 18°C. Posteriormente, as rações foram analisadas quanto às propriedades físicas e composição centesimal.

Teor de umidade (UM)

O teor de umidade foi determinado logo após a extrusão através do aparelho de determinação da umidade por infravermelho (IR-35, DENVER INSTRUMENT GERMANY). Para cada ração foram utilizados dois gramas de cada ração, com cinco réplicas cada.

Densidade aparente (DA)

A densidade aparente (g/l) foi calculada conforme o método de AAS *et al.* (2011). Para isso, os péletes de cada ração foram inseridos no densímetro até preencher o seu volume total, o excesso da ração foi retirado e o conteúdo foi pesado.

Flutuabilidade (F)

Foram utilizados quinze recipientes (volume útil de 6 litros) para cada dieta experimental, foram colocados trinta péletes por balde, e após vinte minutos foram contabilizados quantos péletes permaneceram suspensos na água. A flutuabilidade foi determinada através do número de péletes que permaneceram suspensos. A flutuabilidade final foi determinada a partir da seguinte equação (Cruz *et al.*, 2015):

$$F = \left(\frac{n^{\circ} \text{ de péletes flutuantes}}{n^{\circ} \text{ total de péletes}} \right) \times 100$$

Taxa de expansão (TE)

O diâmetro de cinquenta péletes extrusados foram aferidos através de paquímetro digital. A taxa de expansão foi calculada a partir da equação conforme sugerido por UMAR *et al.* (2013).

$$ID = \left(\frac{\text{Diâmetro do pélete extrusado} - \text{Diâmetro da matriz}}{\text{Diâmetro da matriz}} \right) \times 100$$

Índice de durabilidade (IDP)

Para avaliação do índice de durabilidade, foram pesados 50g de cada tratamento em cinco réplicas cada, as amostras foram acondicionadas individualmente no friabilador adaptado, onde foram agitados por 10 minutos a uma velocidade de (25 rpm). Após agitação, as amostras foram peneiradas em uma peneira com malha de 2 mm. Os péletes restantes na peneira foram pesados e o índice de durabilidade foi calculado de acordo com a equação CRUZ *et al.* (2015).

$$ID = \left(\frac{\text{Peso da amostra após o teste}}{\text{Peso da amostra antes do teste}} \right) \times 100$$

Resistência a água (RA)

Foram utilizadas 50 g de cada tratamento e adicionadas em incubadoras com o volume útil de 40 litros de água, agitados por 30 minutos e filtrados através de uma peneira de malha (0,3 mm). Os péletes retidos na peneira foram pesados e o teor dos sólidos foi determinado após a secagem (24h a 55°C). A resistência a água foi calculada acordo com CIAN *et al.* (2018).

$$RA = \left(\frac{\text{sólidos retidos}}{\text{peso da amostra}} \right) \times 100$$

Índices de absorção em água (IAA) e índice solubilidade em água (ISA)

O índice de absorção de água (IAA) e o índice de solubilidade em água (ISA) foram determinados conforme descrito por GONZÁLEZ, TORRES, DE GREEF (2002). Foram moídos 50g de cada dieta usando um moinho a facas com peneira de (0,2 mm). Foi adicionado 2,5 g de cada amostra, suspensa em 30 ml de água destilada em tubos Falcon (50 ml a 30°C) e agitados intermitentemente por 30 min. Em seguida, a amostra suspensa foi centrifugada a 3000 rpm por 10 min. O sobrenadante foi transferido para um recipiente descartável de alumínio e foram levadas para estufa com ventilação forçada a (105° C) por 2 horas. O peso do gel restante no tubo de centrifugação foi calculado como índice de absorção de água na seguinte equação:

$$IAA = \left(\frac{\text{peso do gel}}{\text{Peso seco da amostra}} \right)$$

O peso do sobrenadante obtido após a secagem será calculado como índice de solubilidade em água (ISA), a partir da seguinte equação KAMARUDIN *et al.* (2018).

$$ISA = \left(\frac{\text{Peso do sobrenadante sólido}}{\text{Peso seco da amostra}} \right) \times 100$$

Lixiviação (L)

Foram pesados 100 gramas de cada tratamento em triplicatas, totalizando assim 300 gramas de ração. As amostras foram colocadas em caixas com volume útil de (100 L) de água sem turbulência por 20 minutos. Após esse tempo, os péletes foram retirados das caixas e submetidos à secagem em estufa à 55°C por 24 horas. Após secagem, os péletes foram pesados e analisados quanto à composição centesimal AOAC (2012). Desta forma, a lixiviação dos nutrientes foi encontrada a partir da seguinte fórmula:

$$L = (\text{Peso inicial} - \text{Peso final}) \times 100$$

Análise da composição centesimal

Todas as rações foram submetidas para a análise da composição centesimal, conforme metodologia descrita pela AOAC (2012), em que: A umidade foi determinada submetendo a amostra à temperatura de 105°C até peso constante. A proteína bruta foi calculada através da determinação do nitrogênio total, pelo método de micro-kjeldahl. ($N \times 6,25$). O extrato etéreo foi determinado por extração contínua com o solvente éter de petróleo, em um extrator intermitente em aparelho Soxhlet. As concentrações de cinza total foram determinadas em amostras incineradas em mufla a 450°C durante 3 horas. A fibra bruta foi determinada, no resíduo, por digestão acidobásica de acordo com o método de Weende. Os valores do extrato não nitrogenado (ENN), referente a carboidratos, foi calculado pela seguinte equação:

$$ENN (\%) = 100 - (\% \text{ Umidade} + \% \text{ Proteína bruta} + \% \text{ Extrato etéreo} + \% \text{ Fibra bruta} + \% \text{ Cinza})$$

Microestrutura dos péletes

As amostras foram montadas em stubs de alumínio e pulverizadas com ouro (Bal-Tec, SCD 050, Balzers, Alemanha) e examinadas ao microscópio eletrônico de varredura (TESCAN/VEGA3) quanto à morfologia das seções transversais e das superfícies externas conforme CRUZ *et al.* (2015).

Análises Estatísticas

Os dados foram comparados por análise de variância unifatorial e pelo teste de Tukey para comparação das médias para as variáveis; DA, TE e IDP cujos dados atenderam aos pressupostos paramétricos de normalidade e homocedasticidade pelos testes de Shapiro-Wilk e Levene, seguido do teste de Tukey, respectivamente. Os dados das variáveis que não atenderam a esses pressupostos foram ajustados, quando possível, por logaritmo natural (IAA). As variáveis com dados não-paramétricos (TE, UM, ISA e RA) foram comparadas pelo teste de Kruskal-Wallis e, existindo diferença, as médias foram comparadas par a par pelo teste de Dunn. Em todas as análises o nível de significância adotado foi de 5%. As variáveis com dados percentuais (%) foram transformados pelo arco seno da raiz quadrada antes de serem submetidas às análises estatísticas. Os parâmetros estão representados por média $\pm$ desvio-padrão.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A umidade dos péletes logo após a extrusão variou entre 18,59 a 25,22%, sendo o maior valor para farinha de trigo e o menor para farelo de arroz ($p < 0,05$) (Tabela 2). Essas diferenças estão relacionadas aos diferentes teores de amido dos ingredientes vegetais, principalmente, nas quantidades de amilose e amilopectina que necessitam de água e altas temperaturas para serem rompidas, para então dar formato no produto final (CHINNASWAMY, 1993; KOKINI 1993).

A umidade da mistura tem a capacidade de modificar várias propriedades físicas das rações, como a taxa de expansão e a densidade aparente (WANG *et al.*, 2016). Observamos que o farelo de arroz apresentou o menor teor de umidade 18,59%, devido as altos teores de amilose e amilopectina (19 e 81%, respectivamente). A amilose quando exposta em água e ao aquecimento, incha e se dissolve formando o gel responsável pela aglutinação de todos os

componentes da ração e expansão do pélete. Já a amilopectina contribui para uma maior viscosidade (CHINNASWAMY, 1993).

As rações formuladas com farelo de arroz apresentaram a maior taxa de expansão (TE) com 89,03%, seguido por farinha de trigo 75,84%, não houve diferença significativa entre os péletes das demais rações (Tabela 2). A expansão dos péletes ocorre devido à susceptibilidade de ruptura das ramificações da amilopectina quando expostas ao calor durante ao processo de extrusão (KAMARUDIN *et al.*, 2018), enquanto a amilose é responsável pela retrogradação que ocorre durante o resfriamento do gel, formando pontes de hidrogênio intermoleculares causando contração e maior firmeza do gel, podendo afetar a disponibilidade dos nutrientes (CHEN *et al.*, 2013). O milho pode conter entre 25 a 28% de amilose, mandioca íntegra 17%, amido de milho 27%, trigo 25% e o arroz com 19% de amilose, sendo o restante das porcentagens constituído por amilopectina (FENNEMA *et al.*, 2010). Nossos achados na taxa de expansão (TE) apresentaram diferenças entre as rações, em que foi observado o maior valor de 89,03% na ração contendo farinha de arroz, essas diferenças podem estar relacionadas com a composição do amido do arroz que apresenta menor quantidade de amilose e maior concentração de amilopectina.

A DA está relacionada a taxa de expansão e estes fatores determinam a flutuabilidade dos péletes, pois a umidade auxilia na gelatinização do amido e aumenta o tamanho das bolhas de ar que se formam com o vapor, aumentando o diâmetro e a flutuabilidade dos péletes e diminuindo a densidade aparente da ração (VIJAYAGOPAL, 2004; XIE *et al.*, 2009; UMAR *et al.*, 2013). Todas as rações apresentaram valores de densidade aparente (DA) inferiores a 363,35 g/l (Tabela 2). Os baixos valores de DA do nosso estudo indicam que ocorreu um alto nível de gelatinização e expansão do amido (CASE, HAMANN, SCHWARTZ, 1992; ROLFE, HUFF, HSIEH, 2000) e foram inferiores aos relatados na literatura para péletes de rações formuladas com tapioca e três diferentes teores de umidade que apresentaram DA de 421 a 491,1 g/l (UMAR *et al.*, 2013), porém mais próximos a DA de 388,97 de péletes de rações formuladas com arroz quebrado a uma temperatura de 170 °C (CRUZ *et al.*, 2015). Para os péletes flutuarem a DA deve ser inferior a 550 g/l (VIJAYAGOPAL, 2004), assim, a baixa DA das rações do nosso estudo garantiu 100% de flutuação dos péletes, esses resultados também confirmam que houve expansão e gelatinização dos amidos de todas as fontes vegetais.

O uso de ingredientes vegetais também não interferiu no índice de durabilidade dos péletes (IDP) e os resultados observados foram superiores a 99% (Tabela 2). O índice de durabilidade dos péletes é uma variável física importante para produção de rações, pois quantifica a produção de finos. As partículas finas são denominadas como perdidas, por não serem aproveitadas na alimentação, além de contribuírem para que ocorra deterioração na qualidade da água (MJOUN e ROSENTRATER, 2011). Todas as rações apresentaram índice de durabilidade dos péletes (IDP) superior a 99% indicando que suportam choques mecânicos, o que inibe a produção de finos durante transporte e estocagem, além de perdas de ração por lixiviação (MJOUN e ROSENTRATER, 2011). Da mesma forma CRUZ *et al.* (2015) quando testaram quatro diferentes temperaturas na matriz extrusora em rações contendo amido de arroz quebrado, não observaram diferenças significativas e valores acima de 99%. Já UMAR *et al.* (2013) observou diferença significativa em uma combinação de amido de sago e tapioca com diferentes teores de umidade, apresentando o IDP de 81 a 86,6%. As rações do presente estudo apresentaram valores inferiores a 1% de produção de finos, o que caracteriza péletes duráveis e que suportam choques mecânicos (LIU *et al.*, 2021).

Os dados de resistência a água (RA) variaram entre 83,07 a 86,18%, porém sem diferenças significativas entre todas as rações (Tabela 2). Por meio da análise de resistência a água (RA) é possível verificar a integridade dos péletes, que dificulta a lixiviação dos nutrientes na água (CIAN *et al.*, 2018). As rações apresentaram resultados similares de resistência a água (RA) e próximos aos encontrados por UMAR *et al.* (2013) que variaram de 87,6 a 90,8% entre todas as combinações de sago e tapioca em rações extrusadas com diferentes teores de umidade. Péletes com maior capacidade de se manterem estáveis na superfície da água, estão associados ao poder aglutinante do amido que foi bem gelatinizado durante a extrusão (AARSETH, SORENSEN, STOREBAKKEN, 2006).

O índice de solubilidade em água (ISA) variou de 1,38 e 1,55% entre todas as rações, porém não houve diferença estatística. Da mesma forma, os valores do índice de absorção em água (IAA) e índice de solubilidade em água (ISA), demonstraram que os péletes mantiveram suas integridades físicas na água, apontando que as condições do processo de extrusão foram suficientes para que os amidos das rações se gelatinizassem e aglutinassem todos os componentes da mistura, garantindo a sua propriedade física (ANDERSON, 1982).

Durante os testes para determinação do IAA, observamos diferenças entre as rações em que o maior valor foi de 7,10% na ração contendo milho grão, e os menores foram para amido de milho e farinha de trigo com 5,56 e 5,68 %, respectivamente (Tabela 2). O mesmo foi observado por CRUZ *et al.* (2015) ao testar amido de arroz quebrado em diferentes temperaturas, seu maior valor foi de 4,17%. Durante um estudo com diferentes ingredientes vegetais; amido de milho; amido de milho pré-gelatinizado; amido de tapioca; amido de tapioca pré-gelatinizado, KANMANI *et al.* (2018) observou que seu maior valor de IAA foi de 3,74% nas rações de amido de milho e amido de milho pré-gelatinizado.

Nossos resultados no índice de solubilidade em água (ISA) observamos que os valores ficaram entre 1,38 a 1,55%. Segundo ANDERSON *et al.* (1969) o valor do ISA pode ser utilizado como índice de gelatinização. Os valores observados por CRUZ *et al.* (2015) foram de 3,34 a 4,25%, esses resultados estão relacionados com arroz quebrado em diferentes temperaturas (125, 140, 155 e 170°C). Da mesma forma KANMANI *et al.*, (2018) quando testou amido de milho, amido de milho pré-gelatinizado, amido de tapioca e amido de tapioca pré-gelatinizado, observou que os valores foram entre 11,07 a 14,95%. O IAA e ISA, são indicadores que as rações manterão suas propriedades íntegras durante o arraçoamento, e que após o contato com a água não se desintegrarão rapidamente, ficando disponíveis por mais tempo para os peixes se alimentarem. Esses fatores podem contribuir para produção de alimentos de baixo impacto poluente (CYRINO *et al.*, 2010), maior digestibilidade dos nutrientes pelos animais (FURUYA, 2001), redução de custos da produção (ROMANO e KUMAR, 2018) e sustentabilidade da aquicultura.

As fotomicrografias eletrônicas de varredura das seções transversais (Figura 1) demonstraram que todas as rações apresentaram várias câmaras de ar. No entanto, na morfologia da superfície dos péletes (Figura 2), as rações contendo amido de milho e crueira de mandioca apresentaram superfície rugosa, enquanto os péletes das rações contendo farelo de arroz, milho grão e farinha de trigo apresentaram morfologia superficial lisa. Nas fotomicrografias das seções transversais, observamos a presença de poros nos péletes de todas as rações, indicando o cozimento da mistura, gelatinização do amido que causam a expansão pela formação das bolhas devido ao vapor (VIJAYAGOPAL, 2004). Na análise das

superfícies, observamos superfícies lisas e rugosas, que de acordo com o ingrediente vegetal e temperatura utilizada, podem influenciar na gelatinização em proporções distintas, causando diferenças nas superfícies. Os péletes da ração formulada com crueira de mandioca apresentaram a superfície mais rugosa e porosa. Essa superfície pode ser benéfica para atuação do suco gástrico e enzimas digestivas na superfície do pélete durante a digestão.

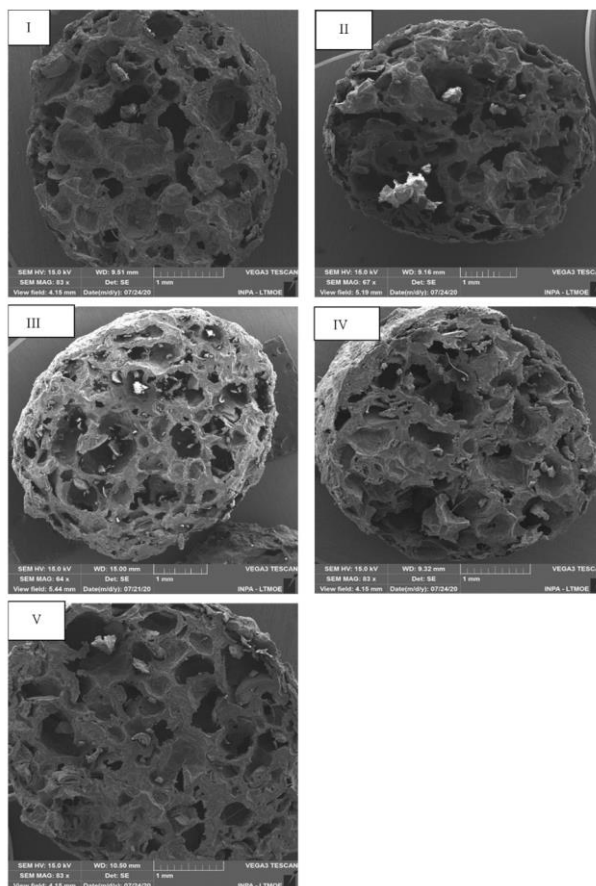
Tabela 2. Propriedades físicas de rações extrusadas contendo ingredientes vegetais.

Propriedades físicas	Amido de milho	Crueira de ^b mandioca	Farelo de arroz	Milho grão	Farinha de trigo
UM ² (%)	23,90±0,49 ^{abc}	25,22±1,93 ^{ab}	18,59±2,51 ^c	21,07±0,53 ^{bc}	24,60±0,76 ^a
DA ¹ (g/l)	312,26±4,02 ^c	306,06±2,16 ^d	307,85±2,88 ^{cd}	363,35±2,34 ^a	318,37±3,59 ^b
F (%)	100	100	100	100	100
TE ² (%)	65,67±14,56 ^c	66,08±17,83 ^c	89,03±7,96 ^a	62,51±12,79 ^c	75,84±11,22 ^b
IDP ¹ (%)	99,71±0,07 ^a	99,71±0,07 ^a	99,64±0,24 ^a	99,86±0,13 ^a	99,71±0,06 ^a
RA ² (%)	86,18±4,46 ^a	85,55±3,67 ^a	83,07±0,54 ^a	84,74±0,45 ^a	83,03±0,98 ^a
IAA ¹ (%)	5,56±0,29 ^c	6,51±0,17 ^{ab}	6,13±0,44 ^{bc}	7,10±0,52 ^a	5,68±0,17 ^c
ISA ² (%)	1,53±0,10 ^a	1,48±0,09 ^a	1,38±0,06 ^a	1,48±0,27 ^a	1,55±0,13 ^a
LPB (%)	9,00±0,71 ^a	7,94±1,25 ^a	1,83±1,50 ^b	3,07±0,89 ^{ab}	5,60±0,89 ^{ab}
LEE (%)	2,95±0,77 ^{bc}	12,13±1,26 ^a	2,92±1,38 ^a	4,91±1,32 ^{bc}	5,85±0,17 ^b
LFB (%)	0,70±0,33 ^d	0,70±0,33 ^d	3,07±0,39 ^c	19,97±1,10 ^b	14,97±1,10 ^b
LMM (%)	20,87 ± 2,99 ^b	21,06 ± 1,34 ^b	7,34 ± 1,77 ^c	29,53 ± 3,09 ^a	11,56 ± 0,28 ^c

Letras diferentes na mesma linha indicam diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos para os testes de Tukey (1) ou Dunn (2) UM: umidade; TE: taxa de expansão; DA: densidade aparente; IAA: índice de absorção em água; ISA: índice de solubilidade em água; RA: resistência a água; IDP: índice de durabilidade dos péletes. LPB: lixiviação de proteína bruta; LEE: lixiviação de extrato etéreo; LFB: lixiviação de fibra bruta; LMM: lixiviação de matéria mineral. Em todas as análises o nível de significância adotado foi de 5%.

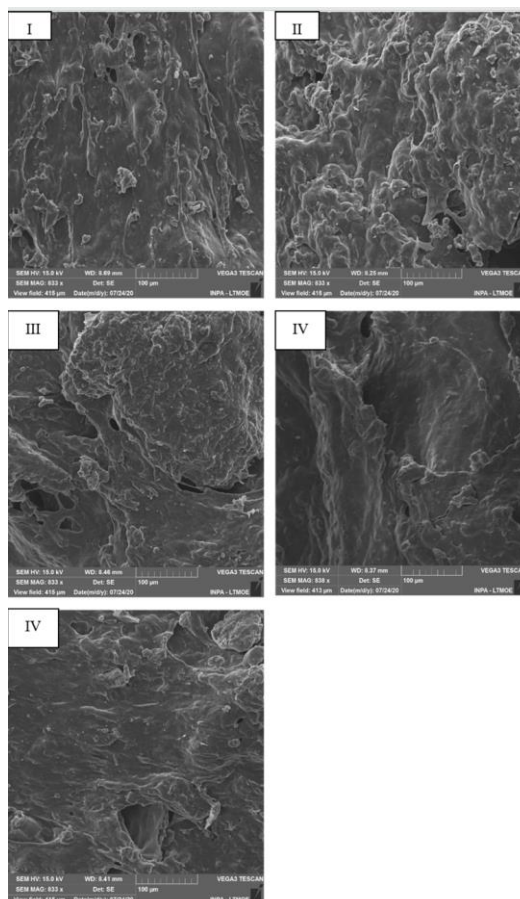
Fonte: Autoria própria.

Figura 1. Cortes transversais dos péletes extrudados contendo fontes vegetais. I) amido de milho; II) crueira de mandioca; III) farelo de arroz; IV) Milho grão; V) farinha de trigo.



Fonte: Autoria própria.

Figura 2. Morfologia da superfície dos péletes extrusados contendo ingredientes vegetais. I) amido de milho; II) crueira de mandioca; III) farelo de arroz; IV) Milho grão; V) farinha de trigo.



Fonte: Autoria própria.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os ingredientes vegetais amido de milho, crueira de mandioca, farelo de arroz, milho grão e farinha de trigo, além de serem uma fonte de amido e energia de baixo custo, proporcionam alta qualidade física dos péletes extrusados. Em especial, a crueira de mandioca se apresenta como um ingrediente potencial para formulação de rações para tambaqui na Amazônia, devido a sua alta disponibilidade e baixo custo. Sugerem-se teste futuros para avaliar o potencial de digestão dos nutrientes e energia de rações formuladas com crueira de mandioca pelo tambaqui.

REFERÊNCIAS

- AARSETH, K.A.; SORENSEN, M.; STOREBAKKEN, T. **Effects of red yeast inclusions in diets for salmonids and extrusion temperature on pellet tensile strength: Weibull analysis.** *Animal Feed Science and Technology*, 126, 75-91, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.06.005>
- AAS, T.S. *et al.* **Analysis of pellet degradation of extruded high energy fish feeds with different physical qualities in a pneumatic feeding system.** *Aquacultural Engineering*. 44, 25-34, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2010.11.002>
- ANDERSON, R.A. **Water absorption and solubility and Amylograph characteristics of roll-cooked small grain products.** *Cereal Chemistry*, 59, 265–269, 1982.
- ANDERSON, R.A. *et al.* **Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking.** *Cereal Science Today*, 14, 4-12, 1969.
- AOAC - ASSOCIATION OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis of the AOAC International, 19th ed.** Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA, 2012.
- CARVALHO, P. L. P. F. *et al.* **Nutritional value of root and leaves of cassava for Nile tilapias.** *Boletim do Instituto de Pesca*, 38, 1, 61-69, 2012
- CASE, S.E.; HAMANN, D.D.; SCHWARTZ, J.S. **Effect of starch gelatinization on physical properties of extruded wheat and corn based products.** *Cereal Chemistry*, 69, 4, 401-404, 1992.
- CEREDA, M.P. 2002. **Propriedades gerais do amido.** São Paulo, Fundação Cargill. Series: Culturas de tuberosas amiláceas Latino-americanas, v. 1. 221 p.
- CHEN, M. Y. *et al.* **Growth, feed utilization and blood metabolic responses to different amylose-amylopectin ratio fed diets in tilapia (*Oreochromis niloticus*).** *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 26, 8, 1160, 2013. DOI: [10.5713/ajas.2013.13022](https://doi.org/10.5713/ajas.2013.13022)
- CHINNASWAMY, R. **Basis of cereal starch expansion.** *Carbohydrate Polymers*, 21, 157-167, 1993.
- CIAN, R.E. *et al.* **Extruded fish feed with high residual phytase activity and low mineral leaching increased *P. mesopotamicus* mineral retention.** *Animal Feed Science and Technology*, 240, 78-87, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.03.016>
- CRUZ, C.R. *et al.* **Effects of extruder die temperature on the physical properties of extruded fish pellets containing taro and broken rice starch.** *Animal Feed Science and Technology*, 199, 137–145, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.11.010>
- CYRINO, J. E. P. *et al.* **A piscicultura e o ambiente: o uso de alimentos ambientalmente corretos em piscicultura.** *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39, 68-87, 2010.

FENNEMA, O. R. *et al.* 2010. **Química de alimentos de Fennema**. Editorial Acribia, Espanha, 1258.

FURUYA, W.M. 2001. **Alimentos ambientalmente corretos para piscicultura**. In: Reunião anual da sociedade brasileira de zootecnia, 37., Piracicaba. Anais. Piracicaba: Sociedade Brasileira de Zootecnia, p.515-527.

GLENCROSS, B. *et al.* **A comparison of the effect of diet extrusion or screw-press pelleting on the digestibility of grain protein products when fed to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)**. Aquaculture, 312, 154-161, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.12.025>

GONZÁLEZ, R. J.; TORRES, R. L.; DE GREEF, D. M. **Extrusión-cocción de cereales**. Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 36, 2, 104-115, 2002.

HORN, R.E.; BRONIKOWSKI, J.C. **Economics of food extrusion processing**. Cereal Foods World 24, 140-141, 1979.

ILO, S.; BERGHOFER, E. **Kinetics of colour changes during extrusion cooking of maize grits**. Journal of Food Engineering, 39, 73–80, 1999.

KAMARUDIN, M.S. *et al.* **Effects of extruder die head temperature and pre-gelatinized taro and broken rice flour level on physical properties of floating fish pellets**. Animal Feed Science and Technology, 236. 122-130, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.12.007>

KANMANI, N. *et al.* **Improvement of feed pellet characteristics by dietary pre-gelatinized starch and their subsequent effects on growth and physiology in tilapia**. Food Chemistry, 239, 1037, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.061>

KOKINI J.L. **The effect of processing history on chemical changes in single- and twin-screw extruders**. Trends in Food Science and Technology 4,324-329, 1993. DOI: [https://doi.org/10.1016/0924-2244\(93\)90102-G](https://doi.org/10.1016/0924-2244(93)90102-G)

LIU, K. *et al.* **Comparison of new and conventional processing methods for their effects on physical properties of fish feed**. Animal Feed Science and Technology, 273, 114818, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.114818>

MJOUN, K.; ROSENTRATER, K.A. **Extruded aquafeeds containing distillers dried grains with solubles: effects on extrudate properties and processing behaviour**. Journal of Science of Food and Agriculture, 91, 2865-2874, 2011. DOI: 10.1002/jsfa.4536

PARK, I.M. *et al.* **Gelatinization and pasting properties of waxy and non-waxy rice starches**. Starch, 59, 388-396, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1002/star.200600570>

ROLFE, L.A.; HUFF, H.E.; HSIEH, F. **The effect of processing conditions on the quality of extruded catfish feed**. Journal of Aquatic Food Product Technology, 10, 3, 21-34, 2000. DOI: 10.13031/2013.3076

ROMANO, N.; KUMAR, V. **Starch gelatinization on the physical characteristics of aquafeeds and subsequent implications to the productivity in farmed aquatic animals.** Reviews in Aquaculture, 1-14, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/raq.12291>

SØRENSEN, M. *et al.* **Starch source, screw configuration and injection of steam into the barrel affect physical quality of extruded fish feed.** Aquaculture Research, 41, 419-432, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02346.x>

TAKO, M. *et al.* **The principles of starch gelatinization and retrogradation.** Food and Nutrition Sciences, 5, 280-291, 2014. DOI: [10.4236/fns.2014.53035](https://doi.org/10.4236/fns.2014.53035)

UMAR, S.; KAMARUDIN, M. S.; RAMEZANI-FARD, E. **Physical properties of extruded aquafeed with a combination of sago and tapioca starches at different moisture contents.** Animal Feed Science and Technology, 183, 1-2, 51-55, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2013.03.009>

VIJAYAGOPAL, P. **Aquatic feed extrusion technology-an update.** Fishing chimes, 23, 35-38, 2004.

WANG, H. *et al.* **Understanding the structure and digestibility of heat-moisture treated starch.** International Journal of Biological Macromolecules, 88, 1-8, 2016.

XIE, F. *et al.* **Rheological properties of starches with different amylose/amylopectin ratios.** Journal of Cereal Science, 49, 371-377, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2009.01.002>