

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO
AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE NA AMAZÔNIA - PPGCASA

GABRIELLE PICAÑO ALVES

**VALORIZAÇÃO SUSTENTÁVEL DA AMÊNDOA DESENGORDURADA DE
TUCUMÃ (*ASTROCARYUM ACULEATUM*) PARA OBTENÇÃO DE INGREDIENTES
ALIMENTÍCIOS COM POTENCIAL APLICAÇÃO NO MERCADO PLANT-BASED**

MANAUS-AM

2026

GABRIELLE PIKANÇO ALVES

**VALORIZAÇÃO SUSTENTÁVEL DA AMÊNDOA DESENGORDURADA DE
TUCUMÃ (*ASTROCARYUM ACULEATUM*) PARA OBTENÇÃO DE INGREDIENTES
ALIMENTÍCIOS COM POTENCIAL APLICAÇÃO NO MERCADO PLANT-BASED**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia - PPGCASA da Universidade Federal do Amazonas como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais, com área de concentração em Biotecnologia e Sustentabilidade.

Orientador: Prof. Dr. Anderson Mathias Pereira
Co-orientadora: Profa. Dra. Leiliane do S. Sodré de Souza

MANAUS-AM

2026

Ficha Catalográfica

Elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

-
- A474v Alves, Gabrielle Picanço
Valorização sustentável da amêndoa desengordurada de tucumã
(Astrocaryum aculeatum) para obtenção de ingredientes alimentícios com
potencial aplicação no mercado plant-based / Gabrielle Picanço Alves.
2026.
73 f. : il., color. ; 31 cm.
- Orientador(a): Anderson Mathias Pereira.
Coorientador(a): Leiliane do Socorro Sodré de Souza.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Amazonas, Programa
de Pós-Graduação Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia,
Manaus, 2026.
1. Farinha vegetal. 2. Proteínas alternativas. 3. Extração alcalina. 4.
Propriedades tecno-funcionais. 5. Análogos vegetais. I. Pereira, Anderson
Mathias. II. Souza, Leiliane do Socorro Sodré de. III. Universidade Federal
do Amazonas. Programa de Pós-Graduação Ciências do Ambiente e
Sustentabilidade na Amazônia. IV. Título
-

GABRIELLE PIKANÇO ALVES

**VALORIZAÇÃO SUSTENTÁVEL DA AMÊNDOA DESENGORDURADA DE
TUCUMÃ (*ASTROCARYUM ACULEATUM*) PARA OBTENÇÃO DE INGREDIENTES
ALIMENTÍCIOS COM POTENCIAL APLICAÇÃO NO MERCADO PLANT-BASED**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia - PPGCASA da Universidade Federal do Amazonas como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais, com área de concentração em Biotecnologia e Sustentabilidade.

Aprovada em: 17/06/2026

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Anderson Mathias Pereira - Presidente
Universidade Federal do Amazonas

Profa. Dra. Ariane Mendonça Kluczkovski
Universidade Federal do Amazonas

Profa. Dra. Gisele Fernanda Alves Silva
Universidade Federal do Amazonas

Profa. Dra. Sandriane Pizato
Universidade Federal do Amazonas

AGRADECIMENTOS

À Deus, por me fortalecer e abençoar em cada momento da minha vida, em especial durante a jornada incrível e desafiadora percorrida nesse mestrado. Foram anos de muito aprendizado e amadurecimento, e nada seria possível sem Ele.

Agradeço imensamente à Universidade Federal do Amazonas (UFAM) e ao Programa de Pós Graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia (PPG-CASA) pela oportunidade de realizar esta pesquisa. Meus mais sinceros agradecimentos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Amazonas (FAPEAM) e ao Good Food Institute (GFI), pelo apoio ao financiamento dos estudos e incentivo à pesquisa científica.

Ao meu orientador, Dr. Anderson Pereira, e co-orientadora, Dra. Leiliane de Souza, pelos ensinamentos e contribuições com este trabalho durante estes árduos anos de mestrado. Suas orientações foram de extrema importância para o meu crescimento acadêmico e profissional.

Aos meus amados pais, Marta e Gabriel, que sempre me incentivaram e me apoiaram para que eu tivesse a melhor educação e pudesse ir o mais longe possível com os meus sonhos e objetivos. Vocês são meu orgulho e minha motivação para tudo.

Ao meu amado esposo, Leandro, por todo o apoio e companheirismo durante tantos anos. Esteve comigo em cada momento, especialmente nos difíceis, acreditando em mim e me incentivando a não desistir. Você tem toda a minha admiração e amor.

Aos meus irmãos Yasmin, Igor, Lorena, Illan e Marcelo, que sempre me incentivaram em todos os momentos. Nos orgulhamos de ser quem somos hoje, cada um com seu sonho.

À equipe do LABPROS, em especial as amigas que fiz e levarei para a vida, Eduarda, Samara, Luciana e Joice. Obrigada por estarem comigo em cada análise realizada, por cada risada e momentos únicos que passei com vocês. Desejo todo o sucesso para cada uma.

Agradeço imensamente a todos.

RESUMO

O tucumã é um fruto amplamente consumido e comercializado na região Norte do Brasil, com grande demanda comercial voltada para sua polpa. Entretanto, a amêndoa do fruto permanece pouco explorada, sendo ainda limitados os estudos que descrevem suas propriedades e características. Assim, o presente trabalho teve como objetivo agregar valor ao subproduto da amêndoa do tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) mediante seu aproveitamento para a produção de ingredientes alimentícios e a viabilidade de aplicação ao mercado *plant-based*. Foram realizados experimentos para avaliar a composição centesimal da torta e farinhas da amêndoa e da casca do tucumã, as quais foram incorporadas na elaboração de 3 formulações de análogos vegetais cárneos. Nas formulações dos análogos crus foi realizada a composição centesimal e análise microbiológica para identificar a presença de *Salmonellas*, Coliformes totais e *Staphylococcus* coagulase positiva. A partir da farinha da torta da amêndoa do tucumã, foi realizada a extração de proteína por método alcalino seguido de precipitação isoelétrica avaliando o efeito do pH alcalino, o tempo de agitação, a razão sólido:solvente e o efeito do pH ácido sobre a recuperação e o rendimento proteicos. Na fração proteica obtida foi realizada a determinação da presença de fatores antinutricionais, a caracterização das propriedades tecnofuncionais e quantificação de aminoácidos. A torta da amêndoa apresentou alto teor de fibras (31,52%) enquanto que a farinha da torta apresentou predominância de carboidratos (78,43%) em sua composição. As melhores condições de extração proteica foram obtidas em pH alcalino 11, tempo de agitação de 90 minutos, razão sólido:solvente de 1:20 (m/v) e precipitação isoelétrica em pH 4,5, resultando em recuperação proteica de 52% e rendimento de 11%. A fração proteica apresentou propriedades tecnológicas favoráveis com potencial para a implementação em análogos vegetais, destacando-se especialmente em capacidade espumante (133,33%) e de emulsão (26,45%). Os análogos vegetais foram elaborados com sucesso e se destacaram quanto os teores proteicos (28,96% a 30,35%), em que o maior teor foi observado na formulação com a maior incorporação de farinha da torta, evidenciando alto valor nutricional e funcional. Estes resultados evidenciam o potencial do subproduto da amêndoa do tucumã para aplicação na indústria alimentícia, contribuindo para a agregação de valor do fruto e apoio ao desenvolvimento sustentável e econômico.

Palavras-chave: Farinha Vegetal; Proteínas alternativas; Extração alcalina; Propriedades Tecno-Funcionais; Análogos Vegetais.

ABSTRACT

Tucumã is a widely consumed and commercialized fruit in the Northern region of Brazil, with high commercial demand for its pulp. However, the fruit's kernel remains underexplored, and studies describing its properties and characteristics are still limited. Thus, the present work aimed to add value to the by-product of tucumã almond (*Astrocaryum aculeatum*) by using it in the production of food ingredients and evaluating the feasibility of its application in the plant-based products market. Experiments were conducted to evaluate the proximate composition of the press cake and flours from the almond and shell of the tucumã fruit, which were incorporated into the preparation of 3 formulations of plant-based meat analogs. In the raw analog formulations, the proximate composition and microbiological analysis were performed to identify the presence of Salmonella, total coliforms, and coagulase-positive Staphylococcus. From tucumã almond press cake flour, protein extraction was performed using an alkaline method followed by isoelectric precipitation, evaluating the effect of alkaline pH, agitation time, solid:solvent ratio, and the effect of acidic pH on protein recovery and yield. The protein fraction obtained was analyzed to determine the presence of antinutritional factors, to characterize its techno-functional properties, and to quantify amino acids. Almond press cake showed a high fiber content (31.52%), while almond press cake flour showed a predominance of carbohydrates (78.43%) in its composition. The best protein extraction conditions were obtained at an alkaline pH of 11, an agitation time of 90 minutes, a solid:solvent ratio of 1:20 (m/v), and isoelectric precipitation at pH 4.5, resulting in a protein recovery of 52% and a yield of 11%. The protein fraction showed favorable technological properties with potential for implementation in plant analogues, standing out especially in foaming capacity (133.33%) and emulsification capacity (26.45%). The plant-based analogues were successfully developed and stood out for their protein content (28.96% to 30.35%), with the highest content observed in the formulation with the greatest incorporation of press cake flour, demonstrating high nutritional and functional value. These results highlight the potential of the tucumã almond by-product for application in the food industry, contributing to adding value to the fruit and supporting sustainable and economic development.

Keywords: Vegetable Flour; Alternative Proteins; Alkaline Extraction; Techno-Functional Properties; Plant Analogs.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA: Aminoácidos
Ala: Alanina
ANOVA: Análise de variância
AOAC: Association of Official Analytical Chemists
Arg: Arginina
Asp: Ácido aspártico
BBi: Bowman-Birk
°C: Graus Celsius
CLAE: Cromatografia Líquida de Alta Eficiência
CPP: Contagem padrão em placas
Cys: Cisteína
CuSO₄.5H₂O: Sulfato de cobre (II) pentahidratado
DTA's: Doenças transmitidas por alimentos
EAA: Aminoácidos essenciais
EAE: Extração assistida por enzimas
EAI: Índice de atividade emulsificante
EAG: Equivalente de ácido gálico
EAT: Equivalente de ácido tânico
ED: Equivalente de diosgenina
ESI: Índice de estabilidade da emulsão
EtOH: Etanol
EAU: Extração assistida por ultrassom
FANs: Fatores antinutricionais
FAT: Fibras alimentares totais
FC: Capacidade de formação de espuma
FS: Estabilidade da espuma
GEE: Gases de efeito estufa
g/g: Grama/grama
Glu: Ácido glutâmico
Gly: Glicina
HCl: Ácido clorídrico
HHP: Alta pressão hidrostática
His: Histidina
HP: Hidroxiprolina
Ile: Isoleucina
K₂SO₄: Sulfato de potássio
KTI: Inibidor de Tripsina Kunitz
Leu: Leucina
LQ: Limite de quantificação
Lys: Lisina
Met: Metionina
mg: Miligramas
min: Minutos
ml: Mililitros
nm: Nanômetro
m/v: Massa/volume
NaOH: Hidróxido de sódio

NEAA: Aminoácidos não-essenciais
NPM: Número mais provável
NrHCl = Normalidade real do HCl
ODS: Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OHC: Capacidade de absorção em óleo
%: Porcentagem
PE: Proteína de ervilha
Phe: Fenilalanina
PI: Ponto isoelétrico
PLE: Extração com líquido pressurizado
Pro: Prolina
PS: Proteína de soja
PT: Proteína de tucumã
REP: Rendimento de extração proteica
SDS: Dodecil sulfato de sódio
SE: Equivalente de saponinas
Ser: Serina
TAE: Equivalente de ácido tânico
TAU: Taurina
Thr: Treonina
TPC: Teor de fenólicos totais
Trp: Triptofano
TT: Taninos totais
Tyr: Tirosina
UAE: Extração assistida por ultrassom
UFC: Unidade formadora de colônias
Val: Valina
WHC: Capacidade de absorção em água

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Palmeira do tucumã (<i>Astrocaryum aculeatum</i>)	16
Figura 2 – Estrutura morfológica do tucumã.....	17
Figura 3 – Fluxograma do processo de beneficiamento do subproduto do tucumã	18
Figura 4 – Principais fontes proteicas vegetais	20
Figura 5 – Crescimento do mercado de alimentos <i>plant-based</i> até 2036.....	31
Figura 6 – Emissões de gases de efeito estufa provenientes de carnes de origem animal e vegetal	33
Figura 7 – Fluxograma do processo de extração da proteína	37
Figura 8 – Farinha da torta de tucumã (A) e sua fração proteica extraída (B)	47
Figura 9 – Imagens das formulações do produto	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Abordagens de modificação de proteínas vegetais por diferentes técnicas	21
Tabela 2 – Ingredientes utilizados nas formulações para a elaboração do produto	42
Tabela 3 – Composição centesimal da torta e das farinhas da torta e casca do tucumã	44
Tabela 4 – Extração alcalina da proteína obtida da farinha da torta de tucumã	45
Tabela 5 – Teor de antinutricionais na proteína da torta da amêndoa	47
Tabela 6 – Propriedades tecno-funcionais da proteína da torta	49
Tabela 7 - Composição de aminoácidos da proteína obtida da farinha da torta de tucumã e padrão de exigência da OMS/FAO/UNU para adultos (g/100 g de proteína)	50
Tabela 8 – Composição centesimal dos hambúrgueres crus	52
Tabela 9 – Avaliação microbiológica de Salmonella, Coliformes totais e <i>Staphilococcus</i> Coagulase positiva.....	54

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo geral	15
2.2 Objetivos específicos	15
3 REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1 Tucumã (<i>Astrocaryum aculeatum</i> Meyer)	16
3.2 Propriedades tecnológicas e funcionais das proteínas vegetais	19
3.3 Técnicas de extração e isolamento de proteínas	24
3.3.1 Extração alcalina seguida de precipitação isoeletrica	24
3.3.2 Extração com líquido pressurizado (PLE)	26
3.3.3 Extração assistida por ultrassom (EAU)	27
3.3.4 Extração assistida por enzimas (EAE)	28
3.4 Fatores Antinutricionais (FANs)	28
3.5 Indústria de alimentos <i>plant-based</i>	30
4 METODOLOGIA	34
4.1 Aquisição da matéria-prima e obtenção das farinhas da torta e da casca de tucumã	34
4.2 Composição centesimal	34
4.2.1 Umidade	35
4.2.2 Lipídeos	35
4.2.3 Proteínas totais	35
4.2.4 Cinzas	36
4.2.5 Fibras alimentares totais (FAT)	36
4.3 Extração da proteína	36
4.4 Rendimento de extração e recuperação proteica	38
4.5 Fatores Antinutricionais (FANs)	38
4.5.1 Teor de fenólicos totais (TPC)	38

4.5.2 Taninos totais.....	38
4.5.3 Saponinas.....	39
4.6 Propriedades Tecno-Funcionais	39
4.6.1 Capacidade de formação de espuma e estabilidade de espuma.....	39
4.6.2 Capacidade de absorção em água e óleo	40
4.6.3 Capacidade de formação de gel.....	41
4.6.4 Capacidade emulsificante e estabilidade de emulsão	41
4.7 Aminoácidos	42
4.8 Formulação e elaboração dos produtos	42
4.9 Análise centesimal das formulações	42
4.10 Análises microbiológicas	43
4.11 Análise estatística	43
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
5.1 Composição centesimal da torta e das farinhas da torta e da casca do tucumã	44
5.2 Extração de proteína e rendimento	45
5.3. Fatores Antinutricionais	47
5.4 Propriedades tecno-funcionais	48
5.5 Perfil de Aminoácidos (AA)	50
5.6 Composição centesimal das formulações	52
5.7 Análise microbiológica	54
CONCLUSÃO	55
REFERÊNCIAS	56

1 INTRODUÇÃO

Diante do crescimento da população mundial e da necessidade de produção e oferta de alimentos, estima-se que haverá aumento da demanda por proteínas até 2050 (Benvenuti *et al.*, 2025; Fonseca, 2024), impulsionada, também, pela exploração exponencial dos recursos naturais, o que aumenta a necessidade da adoção de tecnologias inovadoras para a produção de fontes alternativas de alimentos.

Ao longo do ciclo de produção industrial e consumo, cerca de 1,3 bilhão de toneladas de alimentos são desperdiçados anualmente, onde grande porcentagem está concentrada entre frutas e hortaliças (Filho *et al.*, 2024). Esta prática acarreta impactos ambientais severos, afetando diretamente a sustentabilidade, além de que grande parte da população vive em situação de insegurança alimentar (Carvalho *et al.*, 2025). Atualmente, têm-se buscado superar este desafio por meio do sistema de economia circular, a fim de reduzir o consumo de recursos naturais e a perda de alimentos ao longo da cadeia produtiva, aumentando o ciclo de vida útil e agregando valor aos subprodutos gerados (Gazal *et al.*, 2025).

No Brasil, a biodiversidade amazônica abrange grande variedade de plantas e frutas nativas com potencial e valor socioeconômico e nutricional, as quais são de grande interesse para as indústrias alimentícias, farmacêuticas e químicas, contribuindo para a obtenção de produtos com enfoque na biotecnologia (Azevedo *et al.*, 2025).

Dentre essas frutas, destaca-se o tucumã (*Astrocaryum aculeatum*), fruto muito consumido e comercializado na Região Norte. Possui grande demanda comercial no estado do Amazonas, onde muitas famílias praticam o extrativismo para obtenção de renda e fonte alimentar (Silva *et al.*, 2024). O fruto rico em lipídeos pode produzir em média 37,5% de óleo amarelo da polpa e de 30% a 50% de óleo branco da amêndoa (Menezes *et al.*, 2012). A polpa é muito apreciada e frequentemente consumida *in natura* ou utilizada como recheios em pães, tapiocas e outros. É nela que está concentrado grande parte do aproveitamento do fruto na cadeia produtiva.

Devido à extensa utilização do processamento do tucumã, os subprodutos gerados, em especial o caroço contendo a amêndoa, são descartados sem aproveitamento e sem destino adequado (Serejo *et al.*, 2021). Este fator gera desperdício de matéria-prima que pode ser reaproveitada para a elaboração de subprodutos sustentáveis e de baixo custo.

Atualmente, as indústrias alimentícias têm investido em fontes alternativas à carne animal mediante a produção de análogos vegetais, visando mimetizar as características sensoriais (cor, sabor, textura e aroma) de produtos de origem animal (Ambiel e Pinho, 2022). Além disso, houve o crescimento de consumidores interessados em alimentos mais saudáveis e benéficos à

saúde, que visem a sustentabilidade e apresentem boa viabilidade econômica, chamados de flexitarianos. Este público busca reduzir o consumo de proteína animal na dieta sem eliminar completamente, implementando substitutos vegetais na alimentação (Dagevos, 2021). Com isso, este trabalho buscou trazer uma alternativa sustentável e viável ao agregar valor ao subproduto da amêndoa do tucumã através de seu aproveitamento para a aplicação na produção de análogos vegetais cárneos, avaliando as propriedades da farinha e proteína da torta.

2 OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Desenvolver e caracterizar um ingrediente com potencial aplicação em produtos *plant-based* a partir da torta desengordurada da amêndoa do tucumã.

2.2. Objetivos específicos

- Determinar a composição centesimal da torta e farinha da amêndoa do tucumã;
- Avaliar o processo de obtenção de proteína pelo método de extração alcalina a partir da farinha obtida;
- Caracterizar a fração proteica quanto às propriedades tecno-funcionais;
- Determinar o perfil de aminoácidos da fração proteica obtida;
- Quantificar os fatores antinutricionais presentes na fração proteica obtida;
- Desenvolver a formulação de um protótipo análogo à carne animal com a farinha obtida.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Tucumã (*Astrocaryum aculeatum* Meyer)

O tucumã apresenta espécies diversas, variando de acordo com a região em que se encontra. Os gêneros mais conhecidos são *Astrocaryum aculeatum* Meyer (Tucumã-do-Amazonas), e *Astrocaryum vulgare* Mart (Tucumã-do-Pará), predominantes na região Norte do Brasil, como Amazonas e Belém, e em parte da América Central (Clement *et al.*, 2005; Machado *et al.*, 2022). Estas espécies também são reconhecidas por outros nomes populares a depender da região, como tucumã-açu, tucumã-arara, tucumã-piranga, tucum-bravo, tucum-do-mato, dentre outros (Oliveira, *et al.*, 2022).

O tucumãzeiro (Figura 1) é uma palmeira pertencente à família Arecaceae, que possui de 10 a 25 metros de altura e cerca de 40 cm de diâmetro (Machado *et al.*, 2022), o qual apresenta estrutura espinhosa em todo o seu comprimento. Suas folhas são utilizadas para a fabricação de bolsas, redes de pesca e cestos, enquanto o palmito é aproveitado na culinária local (Ramos, 2021).

Figura 1 – Palmeira do tucumã (*Astrocaryum aculeatum*)



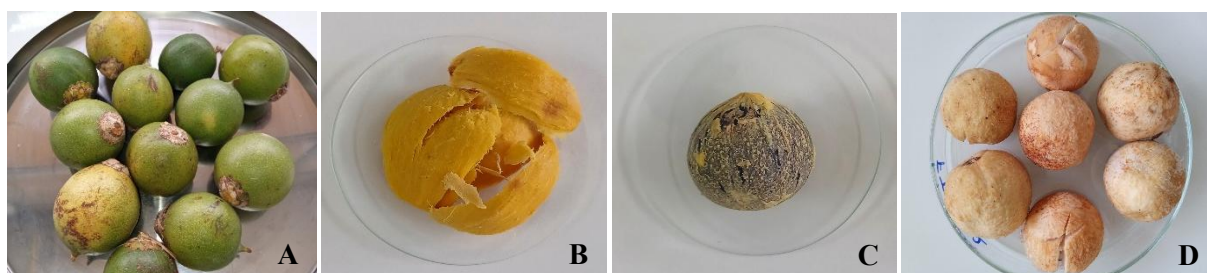
Fonte: Pearson, 2024

O período de safra do tucumã ocorre entre os meses de janeiro a maio, onde podem ser colhidos, em média, de 30 a 600 frutos por dia a depender da safra (Santos *et al.*, 2023). Uma palmeira pode produzir até 13 cachos por ano contendo 568 frutos, onde a frutificação tende a ocorrer em até 7 anos após o plantio (Oliveira, *et al.*, 2022).

O fruto, que exibe mesocarpo fibroso e doce, mede de 5 a 6 cm de diâmetro e pesa 70 gramas por unidade (Machado *et al.*, 2022; Sousa *et al.*, 2025). Sua tonalidade varia entre laranja e amarelo, e sua polpa possui alto teor de nutrientes, como fibras e lipídeos. Dentre as propriedades nutricionais do tucumã estão os compostos bioativos, os ácidos graxos saturados e insaturados como o ácido oleico, carotenoides como o β -caroteno, vitaminas A, B e C, além de alto valor energético (Ferreira *et al.*, 2021; Junior *et al.*, 2020).

O tucumã pode ser aproveitado em sua totalidade. A polpa (mesocarpo) é retirada para consumo in natura e/ou obtenção de óleo vegetal, sendo muito utilizada em pães, tapiocas, sorvetes e outros. Da casca (epicarpo) obtêm-se a farinha aplicada na suplementação de ração animal (Rufino *et al.*, 2015). O caroço (endocarpo) é aproveitado na fabricação de carvão e elaboração de artesanatos e biojóias, como brincos, pulseiras e outros (Oliveira *et al.*, 2022), e a amêndoa (endosperma) contida no interior do caroço, utilizada para a extração de óleos comestíveis de alta qualidade, produção de biodiesel e produtos cosméticos (Silva *et al.*, 2021). A Figura 2 apresenta a composição do fruto.

Figura 2 – Estrutura morfológica do tucumã



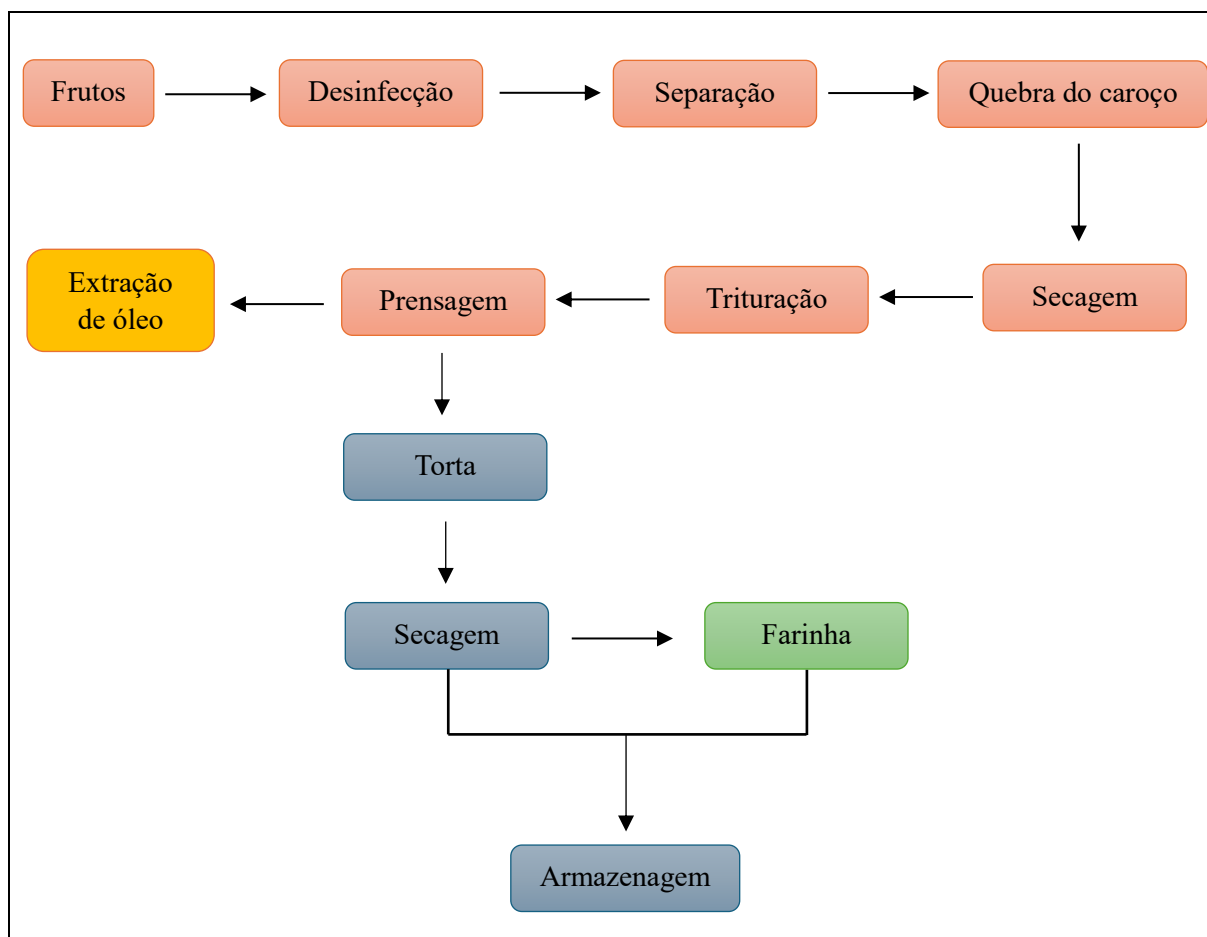
A: fruto inteiro com casca; B: polpa; C: caroço; D: amêndoa. Fonte: Alves, 2026.

A amêndoa do tucumã, que compõe mais de 70% do fruto, ainda é pouco explorada em comparação à polpa. Estudos aprofundados realizados por Kieling *et al.* (2019) sobre a cadeia produtiva do tucumã na cidade de Manaus-AM indicaram que há baixo aproveitamento dos subprodutos, onde 91,9% dos caroços obtidos após despulpamento são descartados sem que haja reaproveitamento, enquanto uma pequena porcentagem é destinada para artesanatos, criação de animais, plantação, venda e doação.

A partir dos subprodutos do fruto, após extração do óleo proveniente do processamento da polpa e amêndoa do tucumã mediante trituração e prensa, obtêm-se a torta. Esta, por sua vez, passa por processo de moagem para a separação dos grânulos seguida de desengorduramento com solventes, tornando-se farinha (Chaves *et al.*, 2024), a qual pode ser utilizada para a

elaboração de produtos com potencial biológico na alimentação humana e animal. A Figura 3 exemplifica o processo de beneficiamento dos subprodutos do tucumã.

Figura 3 – Fluxograma do processo de beneficiamento do subproduto do tucumã



Fonte: Adaptado de Freitas *et al.* (2022)

A literatura apresenta escassez de trabalhos que exploram as propriedades físico-químicas, nutricionais e tempo de prateleira da farinha da amêndoa de tucumã, entretanto, o ciclo de vida útil da farinha da polpa foi observado durante 91 dias por Paracampo *et al.*, 2025 sob diferentes temperaturas (25 °C, 35 °C e 45 °C), relatando que o primeiro parâmetro a ser impactado foi a atividade de água, seguido da cor e do teor de carotenoides, o qual apresentou diminuição de 346,45 µg para 37,53 µg – 154,68 µg. Baseada nestes parâmetros, a estimativa final proposta resultou em um tempo de prateleira de 4 meses para a atividade de água antes que atinja o limiar crítico, e 9 meses e meio para a preservação do teor de carotenoides.

O tucumã contribui amplamente para a bioeconomia e desenvolvimento sustentável no Amazonas, e faz parte da vida da população local através do manejo, gerando emprego e renda (Silva *et al.*, 2024). O investimento na produção de polpa congelada, óleo e doces regionais

advindos de cooperativas e agroindústrias familiares contribuem para o aumento da vida de prateleira e reduz a dependência de intermediários, agregando valor ao fruto (Lima *et al.*, 2025).

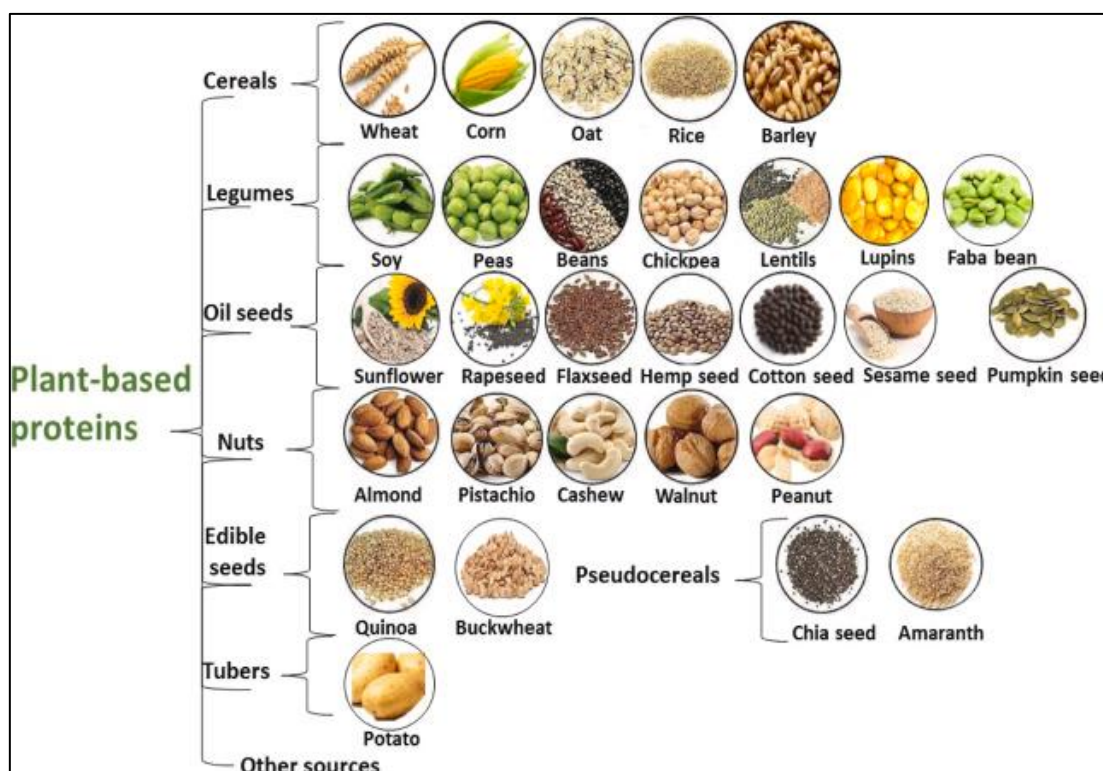
3.2 Propriedades tecnológicas e funcionais das proteínas vegetais

As proteínas são macronutrientes compostos de 20 aminoácidos, dos quais 9 são considerados essenciais (treonina, valina, lisina, leucina, isoleucina, metionina, triptofano, histidina e fenilalanina), sendo obtidos através dos alimentos por não serem sintetizados pelo organismo humano (Pacheco e Sadahira, 2022). O valor nutricional e qualidade das proteínas pode variar a depender da digestibilidade e composição de aminoácidos (Alves *et al.*, 2020). Os aminoácidos desempenham importantes funções em vias metabólicas e na formação de biomoléculas, hormônios, moléculas de sinalização e neurotransmissores, fazendo parte de diversas vias bioquímicas para crescimento, manutenção e atividades metabólicas em nível celular (Kumar *et al.*, 2022).

De acordo com sua estrutura e suas propriedades físico químicas, as proteínas podem ser classificadas como globulares, fibrosas ou flexíveis (Sim *et al.*, 2021). As globulares incluem albuminas (solúveis em água), globulinas (solúveis em soluções salinas diluídas), prolaminas (solúveis em misturas aquosas de etanol) e glutelinas (solúveis em soluções ácidas/alcalinas diluídas ou insolúveis em água); as fibrosas englobam colágeno, queratina, miosina e fibroína da seda; e as flexíveis incluem a caseína (He, Zhang e Ji, 2025; Grossmann e Weiss, 2021; Sim *et al.*, 2021).

No que tange o aumento pela procura por outras fontes proteicas viáveis e alimentos mais saudáveis e benéficos à saúde, as proteínas vegetais alternativas vêm se destacando (Alves *et al.*, 2020; Fang *et al.*, 2024), as quais incluem leguminosas (soja, feijão, lentilha, ervilha e grão-de-bico), oleaginosas (girassol, gergelim, canola e colza), cereais (aveia, trigo, milho e cevada) e nozes (amêndoas e castanhas) (Kyriakopoulou *et al.*, 2021; Sá *et al.*, 2020; Tang *et al.*, 2024), conforme mostra a Figura 4. Seus benefícios à saúde são notáveis, visto que podem atuar na redução dos níveis de colesterol e apresentar ação antioxidante, antimicrobiana, antitumoral e antidiabética (Dhiman *et al.*, 2023).

Figura 4 – Principais fontes proteicas vegetais



Fonte: Nasrabad, Doost e Mezzenga, 2021

Fontes alternativas de subprodutos provenientes de frutas e hortaliças como cascas, folhas, raízes, caules e sementes estão sendo amplamente exploradas em pesquisas atuais (Belém *et al.*, 2023; Benvenuti *et al.*, 2025; Lima *et al.*, 2020; Michal *et al.*, 2022; Navarro-Vozmediano *et al.*, 2025), contribuindo para reduzir a geração de subprodutos ao longo da cadeia produtiva.

Isolados e concentrados proteicos de soja e ervilha são os mais utilizados para a elaboração de produtos como hambúrgueres, salsichas e *nuggets* (Kyriakopoulou *et al.*, 2021). Na alimentação animal, em especial a de aves, o farelo de soja é muito utilizado para suprir a necessidade de proteínas, enquanto na alimentação humana, apresenta propriedades funcionais ideais, como gelificação, emulsão e formação de espuma (Hadidi *et al.*, 2024).

A legislação brasileira denomina que produtos proteicos de origem vegetal podem se apresentar em forma de pó, grânulo, líquido ou outras, e devem possuir teor de proteína ($N \times 6,25$) de no mínimo 40% (g/100g) em base seca, com exceção da soja. Já para concentrados e isolados proteicos, apresenta parâmetros estipulados somente para a soja, onde os teores mínimos de proteínas devem ser de 68,0 % (g/100g) para concentrados e 88,0 % (g/100 g) para isolados (Brasil, 2005).

Por possuírem propriedades tecno-funcionais, as proteínas vegetais desempenham importantes funções na formulação de alimentos, como gelificação, emulsão, capacidade espumante, viscosidade, solubilidade e absorção em água e óleo (Nasrabadi, Doost e Mezzenga, 2021). Foi relatado que a modificação de proteínas pode influenciar em suas propriedades tecnológicas, estruturais e reológicas através de técnicas emergentes, como tratamento de alta pressão hidrostática (HHP), ultrassom, plasma frio e micro-ondas, conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1 – Abordagens de modificação de proteínas vegetais por diferentes técnicas

Técnicas de modificação aplicadas	Fontes de proteína	Características modificadas	Referências
Tratamento de alta pressão hidrostática (HHP)	Batata-doce	Propriedades de gelificação e reológicas	Zhao <i>et al.</i> (2019)
	Soja	Capacidade espumante	Martínez <i>et al.</i> (2011)
	Feijão	Atividade antioxidante e propriedades funcionais	Al-Ruwaih <i>et al.</i> (2019)
	Ameixa, jujuba, cânhamo e goji berry	Solubilidade e capacidade de gelificação	Zhao, Liub e Xue (2023)
Plasma frio	Sementes de girassol	Capacidade de emulsão, solubilidade e permeabilidade	Wang <i>et al.</i> (2024)
	Ervilha	Capacidade de retenção em água/óleo, emulsão e gelificação	Liu <i>et al.</i> (2024)
	Grão-de-bico	Alteração na estrutura secundária e propriedades funcionais	Wang <i>et al.</i> (2024)
	Avelã	Alteração no tamanho das partículas e hidrofobicidade, propriedades funcionais e de cor	Uzun (2026)
Ultrassom	Semente de lótus	Aumento nos grupos sulfidril e hidrofobicidade, alteração na estrutura terciária e propriedades funcionais	Lu <i>et al.</i> (2026)
	Ervilha	Variação na estrutura secundária e terciária, força molecular e conteúdo de aminoácidos	Rafique <i>et al.</i> (2025)
	Semente de pimenta vermelha	Capacidade de retenção em água/óleo, emulsão, espuma e antioxidante	Manzoor <i>et al.</i> (2025)
	Soja	Solubilidade, capacidade de gelificação, propriedades reológicas, alteração na estrutura secundária e terciária	Kong <i>et al.</i> (2026)
Micro-ondas	Lentilha	Mudança na estrutura secundária, capacidade de retenção em água/óleo, emulsão, teor de aminoácidos	Mahalaxmi <i>et al.</i> (2022)
	Farelo de arroz	Hidrofobicidade, solubilidade, capacidade espumante, emulsionante, e retenção em água/óleo	Liu <i>et al.</i> (2025)
	Trigo sarraceno	Alteração na estrutura secundária, solubilidade, atividade antioxidante, propriedades funcionais	Wang <i>et al.</i> (2022)
	Quinoa	Alteração na estrutura secundária e terciária, capacidade e resistência de gelificação	Huang <i>et al.</i> (2022)

Fonte: Alves, 2026

De acordo com Hota *et al.* (2025), as propriedades tecno-funcionais das proteínas vegetais podem ser divididas em três grupos principais: (1) características relacionadas à hidratação, que englobam funções como espessamento, solubilidade, molhabilidade e absorção de água e óleo; (2) características relacionadas às qualidades reológicas e estrutura da proteína, bem como viscosidade, elasticidade, dispersão, adesão e solidificação; e (3) características relacionadas às propriedades da interface da proteína, como formação de espuma, emulsificação, formação de filmes lipídicos-proteicos e capacidade de batimento.

A solubilidade é considerada uma das propriedades mais importantes em proteínas e pode influenciar outras funcionalidades, como emulsão, espuma, gelificação e retenção em água e óleo, que necessitam de alta solubilidade proteica em meio aquoso (Hadidi *et al.*, 2022). Esta propriedade pode variar em fontes proteicas de acordo com o processo de extração empregado e refere-se à capacidade de um soluto proteico se dissolver em um solvente líquido, formando uma solução homogênea (Marinacci *et al.*, 2025). A carga líquida e a hidrofobicidade superficial das proteínas são fatores determinantes para o comportamento de solubilidade, em que altas cargas superficiais são necessárias para que ocorra repulsão eletrostática suficiente entre as proteínas e estas permaneçam dispersas na solução (Vidaurre-Ruiz, Bender e Schönlechner, 2023). O pH utilizado no processo de extração também é um determinante importante na solubilidade proteica. Foi relatado que a farinha e o concentrado proteico de lentilha obtiveram maior solubilidade em pH 3, apresentando declínio entre pH 4 e 5, enquanto que, em pH alcalino, obtiveram melhores resultados entre as faixas de pH 8 e 9, as quais foram consideradas condições ideais (Caldeira *et al.*, 2024).

A capacidade de emulsão refere-se à capacidade das proteínas de serem adsorvidas e se manterem em uma interface água-óleo, a qual é determinada pelo índice de atividade emulsificante (EAI) e pelo índice de estabilidade da emulsão (ESI) (Shokri *et al.*, 2022). A adsorção e a interação intramolecular ocasionam a formação de um filme viscoelástico interfacial (Primožic *et al.*, 2017). As emulsões são caracterizadas pela fraca estabilidade termodinâmica, que é auxiliada pela diminuição da taxa de formação e batimento de surfactantes (Hota *et al.*, 2025). Além disso, a concentração de gotículas nessas emulsões é um determinante importante para a estabilidade, aparência, textura e sabor dos alimentos (McClements, 2004). Fatores intrínsecos e extrínsecos podem afetar a resistência de emulsões estabilizadas por proteínas, como pH, força iônica e temperatura (Hadidi, Aghababaei e McClements, 2023). Yao *et al.* (2023) observou que as propriedades emulsificantes da proteína de semente de cânhamo diminuíram à medida em que o tempo de extração aumentou de 5 (7,1

m²/g) para 60 (5,8 m²/g) minutos de extração, resultante da ligação dissulfeto intramolecular e da maior agregação entre as moléculas da proteína. Tempos de extração prolongados podem resultar em teor e rendimento proteicos mais elevados, entretanto, podem ser desfavoráveis para algumas propriedades funcionais.

A espuma é uma característica importante em produtos alimentícios, ideais na composição de mousses, chantilis, sorvetes, suflês e similares (Murray, 2020). A formação de espuma ocorre quando a proteína se adsorve em uma superfície gás-líquido, formando um filme proteico na interface e diminuindo a tensão superficial da água, ocasionando em uma espuma estável (Li *et al.*, 2021). Esta propriedade é afetada pela difusão e coalescência resultantes das propriedades interfaciais das proteínas devido sua natureza anfifílica, e pode ser avaliada com base na capacidade de formação de espuma (FC - *Foaming Capacity*) e estabilidade de espuma (FS - *Foaming Stability*) (Olatunde *et al.*, 2023; Oliveira *et al.*, 2025). O processamento de extração de proteína pode afetar a formação de espuma e outras propriedades funcionais. Hou *et al.* (2017) observou aumento significativo da atividade espumante no isolado proteico de arroz conforme aumento de pH ácido para alcalino, relatando maior capacidade em pH 9. A baixa capacidade espumante pode afetar negativamente a aplicação de algumas fontes proteicas em alimentos que requerem esta funcionalidade, necessitando de padronização operacional adequada.

O processo de gelificação necessita de uma fase de aquecimento seguida de resfriamento e ocorre quando o material composto por proteínas passa de um estado líquido para um estado similar ao sólido, mantendo a fase líquida dentro de uma matriz tridimensional (Hota *et al.*, 2025). Os géis proteicos podem ser categorizados com base em sua estabilidade térmica (géis termorreversíveis e termoirreversíveis), nos métodos de processamento (géis induzidos por calor e frio) e na natureza dos agregados proteicos (géis opacos e transparentes) (Tang, Roos e Miao, 2024). Por possuírem estruturas supramoleculares, as proteínas vegetais apresentam conformação globular compacta em seu estado nativo, o que acarreta em formação de géis de menor resistência em comparação aos formados por proteínas de origem animal (Marinacci *et al.*, 2025). Além disso, fatores como a concentração, a carga, a solubilidade e o estado agregado das proteínas também podem afetar a formação de um gel estável e firme (Yang *et al.*, 2024).

A capacidade de absorção em água (CAA) e capacidade de absorção em óleo (CAO) são propriedades ideais para aplicações em carnes, salsichas e análogos vegetais, pois auxiliam na obtenção de textura e sabor (Huamaní-Perales *et al.*, 2024; Ma *et al.*, 2022). Enquanto a CAA das proteínas aumenta com a presença de maiores quantidades de constituintes

hidrofílicos, a CAO aumenta com a presença de aminoácidos com cadeias laterais apolares em suas moléculas (Kaur e Singh, 2005). Este e outros fatores influenciam a capacidade de ligação a lipídios, bem como tipos e teor de proteínas, teor de amido e tamanhos de partículas (Kumar *et al.*, 2022). A intensidade, o tempo de centrifugação e outros parâmetros operacionais também podem afetar diretamente a atividade de água e óleo. A CAA do isolado proteico de feijão carioca obtido por alta pressão dinâmica sob centrifugação a 1800 rpm por 20 min resultou em teor de 0,62 g/g (Santos *et al.*, 2024), enquanto o isolado proteico de feijão preto obtido por ultrafiltração sob centrifugação a 6000 rpm por 10 minutos gerou CAA superior, entre 0,99 g/g a 2,27 g/g (Alfaro-Diaz *et al.*, 2021). Entretanto, a CAO do feijão carioca (2,29 g/g a 2,40 g/g) obtida sob centrifugação de $13.600 \times g$ por 10 minutos se mostrou superior à CAO do feijão preto (1,32 g/g a 1,54 g/g) centrifugado a $1000 \times g$ por 15 minutos. Estes parâmetros indicam que a alta intensidade e tempo de centrifugação mais curto podem ser mais favoráveis na otimização de ambas as propriedades.

3.3 Técnicas de extração e isolamento de proteínas

Para a produção de alimentos proteicos de origem vegetal, a extração das proteínas é a etapa mais importante, realizada por técnicas de isolamento variadas combinadas à utilização de reagentes, dentre as quais estão a extração alcalina seguida de precipitação isoelétrica em pH ácido, extração por precipitação salina-diálise, extração micelar, extração assistida por enzimas, extração por tratamento térmico ou ultrassônico e extração por líquido pressurizado (Shrestha *et al.*, 2021; Tanger, Engel e Kulozik, 2020).

Os métodos de processamento de extração em que a proteína é submetida, como pH, temperatura, concentração, tempo e força iônica, podem influenciar suas propriedades estruturais e funcionais, ocasionando desnaturação (Gao *et al.*, 2020). Um mesmo método pode apresentar reações diferentes a depender da fonte proteica e de suas características e, portanto, sua otimização depende das condições operacionais de extração.

3.3.1 Extração alcalina seguida de precipitação isoelétrica

A técnica de extração alcalina seguida de precipitação isoelétrica é atualmente a mais utilizada devido ao seu baixo custo, simplicidade e rapidez (Miranda *et al.*, 2022), consistindo na solubilização das proteínas em solução alcalina (pH entre 8 e 11), que são recuperadas ao ajustar o pH para seu ponto isoelétrico (PI) a partir da adição de ácido (Baochen *et al.*, 2024).

Este processo envolve a utilização de centrifugação para realizar a separação dos constituintes insolúveis e precipitar as proteínas solubilizadas (Hadidi *et al.*, 2024).

A extração das proteínas em meio alcalino carrega negativamente grande parte dos aminoácidos devido à ionização dos grupos carboxila e desprotonação dos grupos amino (Koysuren, Oztop e Mazi, 2021). O álcali rompe as interações interproteicas, como ligações covalentes (ligações dissulfeto intermoleculares) ou não covalentes (ligações de hidrogênio e hidrofóbicas) (Kaur e Bhatia, 2022).

A alcalinidade aumenta o rendimento e a solubilidade proteica, entretanto, a degradação da proteína em altas concentrações alcalinas pode diminuir seu valor nutricional, ocasionar acoplamento cruzado e rearranjo intermolecular, afetando também as propriedades tecnofuncionais (Deleu *et al.*, 2019; Hou *et al.*, 2017). Rendimentos baixos de proteínas podem estar relacionados à pouca degradação da parede celular da biomassa pelo ácido, impedindo a difusão da proteína para o meio (Sari, Bruins e Sanders, 2013).

O ponto isoelétrico (PI) na precipitação ácida é um fator importante na otimização da extração proteica. É definido como o pH em que a carga líquida de uma molécula de proteína é zero, a qual é carregada positivamente em pH abaixo do seu PI e negativamente em pH acima do seu PI (Tokmakov, Kurotani e Sato, 2021).

A grande maioria das proteínas vegetais apresenta PI nas faixas de pH entre 4 e 7 (Akyus, Tekin, Aksoy e Ersus, 2024), entretanto, algumas fontes podem manifestar picos em pH 3. Zhang, Sanders e Bruins obtiveram melhor eficiência no teor e na recuperação proteica de chá verde em pH 3,5, o qual apresentou teor de 52% de proteína e rendimento de 85%, observando declínio nas faixas de pH entre 4 e 5, conforme o pH afastava-se do seu PI.

A aplicação da extração alcalina combinada a outros métodos alternativos tem sido explorada como pré-tratamentos para potencializar a extração de proteínas. Braspaiboon *et al.* (2022) avaliou o uso do ultrassom na extração alcalina de cinco variações de algas e observou aumento no rendimento proteico de 3,12% – 25,25% para 3,36% – 81,86% em relação à extração alcalina isolada sem o tratamento. A utilização de enzimas também foi avaliada na extração alcalina da proteína de feijão preto, em que a aplicação de protease foi capaz de elevar a eficiência de extração de 58% a 86% com o aumento da proporção (m/v) de 1:5 para 1:25, entretanto, a alta quantidade de enzimas (1%) combinada a um maior volume de água ocasionou em hidrólise excessiva e afetou negativamente as propriedades interfaciais da proteína (Yang, Dias e Bell, 2025).

3.3.2 Extração com líquido pressurizado (PLE)

A extração com líquido pressurizado (*Pressurized Liquid Extraction* – PLE) é um método de extração ecológico que combina a utilização de solventes a altas pressões e temperaturas, facilitando a penetração dos solventes na matriz da amostra e transferência de massa do analito (González-García, Marina e García, 2021). Em condições ideais, favorecem a permanência do fluido de extração no estado líquido, o qual se mantém acima do seu ponto de ebulição, mas abaixo do seu ponto crítico (Teixeira *et al.*, 2024).

A PLE tem como vantagem o fornecimento de um extrato que não requer etapas adicionais para separar os resíduos sólidos da amostra, pois podem ser retidos dentro da célula de extração (Carabias-Martínez *et al.*, 2005). As etapas de processamento envolvem a dispersão da amostra em célula de extração de aço contendo areia ou agente dispersante, o bombeamento do solvente para desgaseificá-lo, o aquecimento do recipiente entre 75 e 200 °C e a elevação da pressão para cerca de 100 atm (Barp, Višnjevec e Moret, 2023).

Os rendimentos de extração neste método dependem de fatores como peso da amostra, tempo, temperatura, pressão, número de ciclos e aplicação de solventes, como água isolada ou combinada a líquidos iônicos, etanol e outros solventes eutéticos (Perez-Vasquez *et al.*, 2023). Em comparação a outros métodos convencionais, a PLE é considerada mais vantajosa devido ao rápido tempo de processamento, menor impacto ambiental e maior pureza e rendimento proteicos.

Foi relatado que proteína do bagaço de malte obtida por PLE apresentou condições ótimas de extração com baixa concentração de EtOH (4,7%), alta temperatura (155 °C), tempo intermediário de extração (10 minutos) e rendimento proteico maior em 5 ciclos, os quais resultaram em 69% de proteína (González-García, Marina e García, 2021). Diferente dos resultados obtidos para o bagaço de malte, a proteína da casca de romã obteve melhores resultados com o aumento da concentração de EtOH (70%), temperatura mais baixa (120 °C), tempo de extração intermediário (12 minutos) e maior rendimento (46,8%) em apenas 1 ciclo estático (Hernández-Corroto *et al.*, 2020), o que confirma a necessidade de adequação das condições operacionais para otimização dos resultados.

3.3.3 Extração assistida por ultrassom (EAU)

A aplicação do ultrassom na extração de proteínas vem se destacando ao longo dos anos, sendo considerado um método mais vantajoso comparado a outros conhecidos. Por ser uma técnica verde e sustentável, a extração assistida por ultrassom (EAU) resulta em tempo de processamento mais curto e rendimento e pureza maiores.

Este método aplica a combinação da vibração de ondas de pressão ultrassônica e temperatura favorável que agem rompendo a parede celular do material proteico, gerando alterações na matriz alimentar e facilitando a extração da proteína (Garcia *et al.*, 2024). Essas alterações se devem às forças de cavitação e turbulência, modificando o tamanho das partículas e as estruturas secundárias e terciárias das proteínas (Dhiman *et al.*, 2023).

De acordo com Tiwari (2015) o ultrassom pode ser classificado como sonicação de baixa ($<1 \text{ W/cm}^2$) e alta intensidade ($10\text{--}1000 \text{ W/cm}^2$). Enquanto a sonicação de baixa intensidade é aplicada na qualidade e controle de processos (composição, estrutura e estado físico da matéria), a sonicação de alta intensidade é utilizada em etapas de extração e processamento.

A temperatura aplicada ao ultrassom para extração da fração proteica pode influenciar diretamente nos resultados. Temperaturas elevadas podem gerar desnaturação e afetar as fortes interações soluto-matriz, envolvendo ligações de hidrogênio, forças de Van der Waals e atrações dipolo-dipolo entre as moléculas do soluto e os sítios ativos da matriz (Bernardi *et al.*, 2021).

Diversos estudos comprovaram que a aplicação da técnica com ultrassom ocasionou em resultados satisfatórios para as propriedades físico-químicas e tecno-funcionais em diferentes fontes proteicas (Badjona *et al.*, 2024; Miron-Mérida *et al.*, 2024; Turker e Isleroglu, 2024; Yang *et al.*, 2024).

Foi relatado que a solubilidade do isolado proteico de ervilha foi significativamente elevada com o tratamento com ultrassom, resultante de uma interação proteína-solvente mais potente (Sha e Liong, 2022). Um aumento no rendimento de extração do concentrado proteico de farinha de pistache foi observado por Yildiz, Karabulut e Sıçramaz (2025) com o aumento da potência ultrassônica (595 W) e tempo de extração combinados ao pH alcalino 11, que resultaram em 51% de rendimento proteico. Ochoa-Rivas *et al.* (2017) observaram que a pureza e o rendimento do isolado proteico de amendoim elevaram-se aplicando a amplitude de 100% em um tempo de tratamento de apenas 15 minutos no ultrassom, parâmetros que foram ideais para obtenção de mais de 100% de rendimento em comparação ao tratamento controle.

3.3.4 Extração assistida por enzimas (EAE)

A extração assistida por enzimas (EAE) baseia-se na aplicação de enzimas específicas que degradam os principais componentes da parede celular (celulose, hemicelulose e pectina) e facilitam a liberação da proteína da matriz vegetal, atuando como pré-tratamento e contribuindo para o aumento no rendimento e na pureza (Fang *et al.*, 2024).

Apesar de apresentar alto rendimento proteico e baixo impacto ambiental, a extração enzimática pode implicar em algumas desvantagens, como alto custo operacional, dificuldade de escalonamento, tempo de processamento prolongado e rendimentos irregulares, além de sofrer influência de fatores como temperatura e pH específicos da enzima, duração da extração e proporções entre substrato e enzima (Chandran, Kashyap e Thakur, 2024).

Altas temperaturas na incubação das enzimas tendem a ocasionar perda gradual da atividade enzimática e inativação proteica, assim como baixas temperaturas podem gerar menor rendimento proteico e desacelerar taxas de reação enzimática (Liu *et al.*, 2016). Portanto, avaliar a resposta a este parâmetro na estrutura proteica é crucial para o tratamento enzimático.

A aplicação de enzimas celulase, pectinase e do complexo enzimático na extração de proteína de soja ocasionou em elevado rendimento e uma recuperação proteica mais rápida, em que apenas 1 hora de extração alcalina com o tratamento das enzimas foi suficiente para recuperar quase o mesmo teor obtido em 3 horas de extração sem o tratamento (41,03%) (Perović, Jugović e Antov, 2020).

O tratamento enzimático com protease aplicado à farinha de amêndoa apresentou condições ideais de extração com 0,5 % da enzima combinada a uma proporção (m/v) de 1:10 em pH 9, sob temperatura de 50 °C por 60 minutos, resultando em teor proteico de 72,3% (Almeida *et al.*, 2019). Entretanto, observou-se que o aumento da enzima para 1,0 % não potencializou o teor e a distribuição proteica, indicando que uma quantidade reduzida de enzima foi suficiente para obtenção de resultados satisfatórios. Ademais, esta técnica necessita de parâmetros aprimorados que devem ser investigados a fim de minimizar custos e reduzir tempo de processamento.

3.4 Fatores Antinutricionais (FANs)

As plantas possuem um mecanismo de defesa próprio que pode afetar a biodisponibilidades de nutrientes dos alimentos ou, ainda, gerar danos à saúde (Higashijima *et al.*, 2020), chamados de fatores antinutricionais (FANS), os quais interferem na atividade

enzimática, como inibidores de protease e amilase, que afetam a digestão de proteínas e carboidratos (Oliveira, 2024).

Em pequenas quantidades, os antinutricionais podem trazer benefícios para o organismo humano devido à função protetora que exercem no sistema regulatório e por sua capacidade antioxidante e anticarcinogênica (Pinheiro *et al.*, 2021). Entretanto, quando consumidos em grandes quantidades, podem acarretar danos à saúde provenientes da toxicidade e impedir ou dificultar a absorção de nutrientes essenciais para o corpo.

Os antinutricionais podem ser inativados ou reduzidos para otimizar a qualidade nutricional dos alimentos através da aplicação de diferentes processos térmicos, dentre os quais estão a imersão, o cozimento, a fermentação, o aquecimento dielétrico, a extrusão, a autoclavagem e a irradiação (Pereira *et al.*, 2023). O processo de inativação ou redução pode apresentar eficácia diferente para cada antinutricional.

Alguns dos antinutricionais mais comuns encontrados nas plantas são os taninos, saponinas, oxalatos, fitatos, nitratos, inibidores de tripsina e outros (Moreno *et al.*, 2022). Os taninos são compostos fenólicos hidrossolúveis que inibem enzimas digestivas e afetam a digestibilidade de proteínas, carboidratos, vitaminas e minerais (Oliveira, 2024; Benevides *et al.*, 2011). São classificados em dois grupos, os hidrolisáveis, que possuem estéreis de ácidos gálicos e ácidos elágicos glicosilados, e os condensados, que são polímeros de flavan-3-ol e flavan-3-4diol (Monteiro *et al.*, 2005).

Os taninos estão presentes em diversos alimentos, como cafés, chás, vinho, manjerição, morango, aveia, banana, caqui e outros (Lamy *et al.*, 2016; Pereira *et al.*, 2023), concedendo sabor amargo, estabilidade da cor e adstringência aos alimentos devido a interação com proteínas salivares (Weilack *et al.*, 2023; Dufourc, 2021). A toxicidade proveniente dos taninos resulta na diminuição da absorção de nutrientes na mucosa gastrointestinal (Ojo, 2022). Entretanto, os compostos fenólicos dos taninos possuem capacidade antioxidante, antimicrobiana e anti-inflamatória, devido seu efeito adstringente (Cano *et al.*, 2020; Vilhelmova-ilieva *et al.*, 2019).

Os fitatos, ou ácido fítico (mio--inositol hexaquisfosfato (IP6)), são compostos presentes nos alimentos capazes de interferir na absorção, digestão e disponibilidade de nutrientes no organismo (Pinheiro *et al.*, 2020), inibindo a absorção de minerais no trato gastrointestinal de humanos e animais, como ferro e zinco (Gibson, Raboy e Rei, 2018). Estão presentes em alimentos como arroz, trigo, milho, cevada e outros (Nath, Samtiya e Dhewa, 2022) e atuam como reserva de fósforo e energia (Amina *et al.*, 2017). O ácido fítico tem em

sua estrutura a capacidade de quelar cátions para formar sais insolúveis que são difíceis de serem absorvidos pelo organismo humano (Higashijima *et al.*, 2020). Entretanto, apesar de seus potenciais efeitos adversos sobre os nutrientes no organismo, estudos indicam que os fitatos possuem efeito antineoplásico e antioxidante (Petroski e Minich, 2020), benéficos para a saúde.

Os oxalatos, também chamados de ácido oxálico, são substâncias capazes de formar sais insolúveis que são excretados pela urina por não serem metabolizados no organismo (Benevides *et al.*, 2011; Petroski e Minich, 2020). Possuem a capacidade de inibir a absorção de minerais como o cálcio que, ao se ligarem a ele, formam cristais de oxalatos de cálcio que são responsáveis por ocasionar cálculos renais (Pereira *et al.*, 2023). São normalmente encontrados em vegetais e frutas como couve, espinafre, batata-doce, nozes, cacau, tomate e outros (Petroski e Minich, 2020), e podem ser facilmente inativados através de métodos de aquecimento.

As saponinas são metabólitos secundários compostos de resíduos de açúcar hidrofílico (Upadhyay *et al.*, 2018), sendo capazes de conferir aos alimentos propriedades emulsificantes, espumantes, amargor, doçura, adstringência, dentre outros (Ribeiro *et al.*, 2020; Tadele, 2015). Suas moléculas apresentam combinações polares e não polares capazes de auxiliar em suas propriedades semelhantes ao sabão (Vikram *et al.*, 2020), além de possuir aspecto surfactante por apresentar uma parte lipofílica e outra hidrofílica (Pereira *et al.*, 2023).

Quanto aos inibidores de tripsina, são substâncias capazes de afetar a ação da enzima digestiva tripsina no organismo, impedindo a quebra e absorção das proteínas ao inibir a serina protease (Carvalho *et al.*, 2023; Pacheco *et al.*, 2022). Estão comumente presentes no tecido vegetal de tubérculos, leguminosas e cereais.

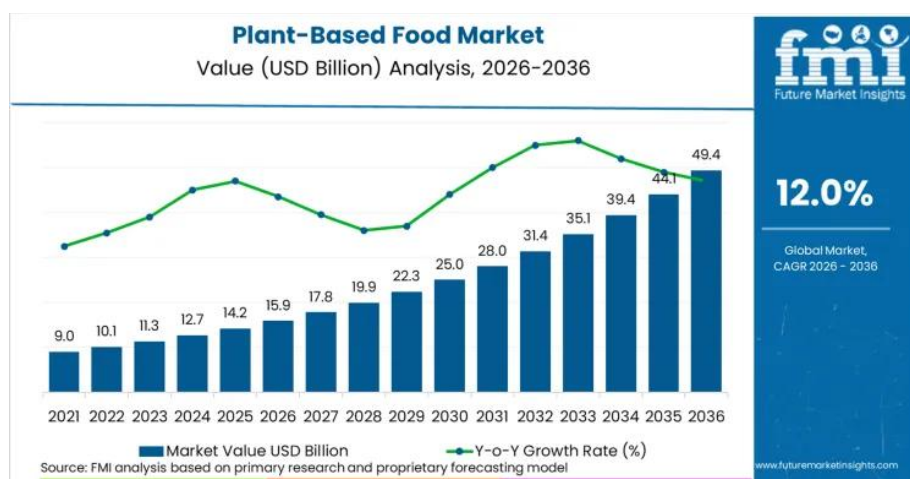
Dois grupos de inibidores de protease são mais conhecidos e estudados, sendo comumente encontrados na soja e derivados, a saber, o Inibidor de Tripsina Kunitz (KTI) e o Bowman-Birk (BBI) (Malefo *et al.*, 2020). Ambos possuem a capacidade de inibir proteases similares à tripsina e quimiotripsina, entretanto, o Bowman-Birk inibe as duas de forma simultânea e potente, afetando o pâncreas ao fazer o intestino estimulá-lo a liberar mais colecistocinina (Pacheco *et al.*, 2022; Takács *et al.*, 2022).

3.5 Indústria de alimentos *plant-based*

Com a crescente demanda e procura por fontes alternativas de alimentos, as proteínas de origem vegetal têm ganhado atenção devido ao aumento de consumidores interessados em produtos saudáveis, sustentáveis e de baixo valor econômico, o que tem expandido cada vez mais o mercado de *startups* (Ambiel e Pinho, 2022).

De acordo com o relatório publicado pelo Future Market Insights (2026), o mercado de alimentos *plant-based* está expandindo de US\$ 15,9 bilhões em 2026 para US\$ 49,5 bilhões em 2036, equivalente a cerca de 247,5 bilhões de reais, com previsão de crescimento anual de 12%, conforme mostra a Figura 5.

Figura 5 – Crescimento do mercado de alimentos *plant-based* até 2036



Fonte: Future Market Insights (2026).

Os produtos vegetais análogo visam mimetizar as propriedades organolépticas de carnes, peixes, queijos e outros alimentos de origem animal através da atribuição de cor, sabor, textura e aroma similares ao alimento original, sendo estas as características sensoriais mais procuradas pelos consumidores (Ambiel *et al.*, 2021). Entretanto, o mercado apresenta dificuldades neste processo, visto que as proteínas vegetais exibem digestibilidade reduzida em comparação às de origem animal.

A produção de alimentos *plant-based* inclui três etapas importantes, sendo elas o isolamento e a funcionalização de proteínas através da extração, a formulação através da mistura com outros ingredientes e, por fim, o processamento por corte, estiramento, prensagem e outros (Rubio *et al.*, 2020). A obtenção de sabor dos ingredientes proteicos depende dos métodos de extração, da fonte e de tratamentos diversos, além da interação com os outros ingredientes da formulação (Silva *et al.*, 2023).

As tecnologias utilizadas para a obtenção de texturização de ingredientes proteicos incluem cisalhamento, fiação, extrusão e alinhamento por congelamento (Kyriakopoulou *et al.*, 2021). A texturização semelhante à carne animal depende tanto do potencial econômico quanto da funcionalidade proteica, em que concentrados e isolados proteicos são ideais para este fim (Galdeano, 2022).

Devido às diferenças entre as propriedades funcionais e estruturais de proteínas animal e vegetal, surge a preocupação dos consumidores diante dos ingredientes inclusos na formulação de análogos vegetais, como aditivos. Em uma pesquisa desenvolvida por Ambiel e Pinho (2022), verificou-se que, dos 26 produtos cárneos de origem animal analisados, 50% apresentaram altos teores de gordura saturada, 58% obtiveram altos teores de sódio, 5,1% apresentaram média de aditivos alimentares e somente 4% indicaram alto teor de fibras. Em contrapartida, de 33 análogos cárneos *plant-based* avaliados, 33% apresentaram altos teores de sódio, 33% obtiveram altos teores de gordura saturada, somente 3,1% apresentaram média de aditivos alimentares, e 76% indicaram alto teor de fibras.

Este comparativo indica uma diferença significativa entre ambos os produtos, demonstrando que os análogos *plant-based* são nutricionalmente mais benéficos comparados aos de origem animal disponíveis no mercado, além de que a alimentação da população mundial se baseia principalmente em alimentos ultraprocessados, o que pode ocasionar riscos à saúde.

No que tange o mercado financeiro atualmente, o elevado custo no processo de revenda dos produtos *plant-based* têm se tornado desafiador a nível de comercialização (Costa *et al.*, 2024), além de que o processo de distribuição pode gerar quedas significativas nos números de consumidores interessados nos produtos *plant-based*. Moreira *et al.* (2021) indicam em sua pesquisa que há grande insatisfação por parte dos consumidores que não obtêm acesso físico aos produtos, por não haver disponibilidade de alcance a determinadas regiões geográficas.

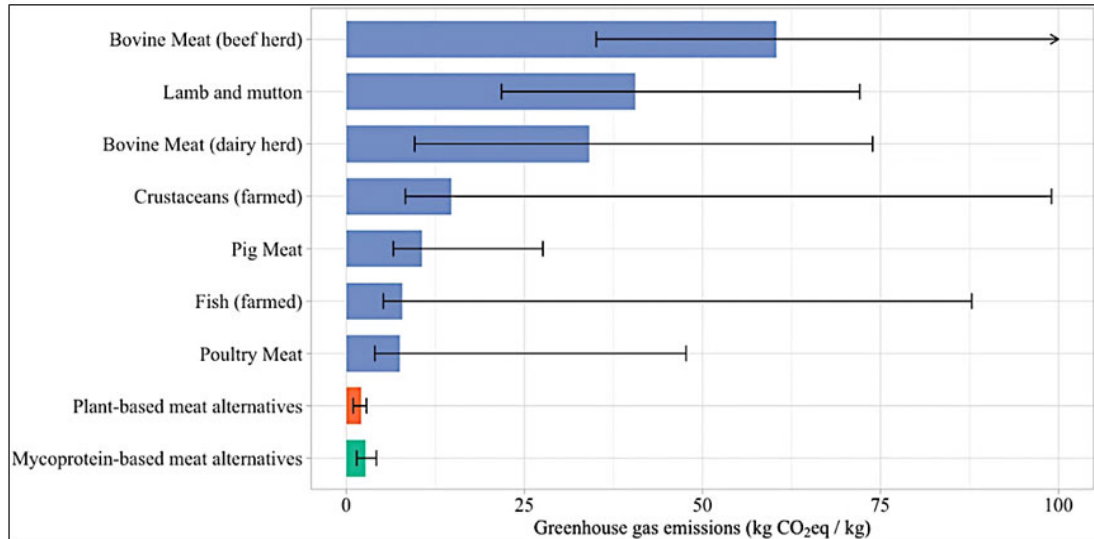
Apesar dos desafios enfrentados, o mercado de alimentos *plant-based* tem demonstrado potencial de crescimento, especialmente no que diz respeito ao aumento de consumidores interessados em produtos vegetais, em que o público-alvo não se concentra somente em vegetarianos e veganos. Os motivos por trás do aumento no consumo destes alimentos têm grande relação com a saúde e bem-estar atrelados a alergias e intolerância alimentar (Fonseca e Reis, 2025).

Outro fator relevante para a expansão do mercado é a conscientização de consumidores acerca do processo de produção e obtenção de alimentos que visam a sustentabilidade ambiental, tendo em vista a preocupação com a utilização dos recursos naturais e bem-estar animal (Witzel *et al.*, 2020).

Os impactos ambientais causados pela produção de carne animal incluem principalmente a emissão de gases de efeito estufa (GEE) (Figura 6), o uso desenfreado de recursos naturais e a geração de subprodutos (Oleinikova *et al.*, 2025). A pecuária é responsável por cerca de 16,5% das emissões globais de GEE, além de ocasionar deterioração da qualidade

do solo, perda de biodiversidade e desequilíbrio de ecossistemas (Anjum *et al.*, 2026; Huis, 2021).

Figura 6 – Emissões de gases de efeito estufa provenientes de carnes de origem animal e vegetal



Fonte: Anjum *et al.* (2026)

Com isso, a implementação de análogos vegetais na alimentação visando o aproveitamento e agregando valor aos subprodutos agroindustriais têm se tornado ferramenta fundamental na promoção da segurança alimentar, na garantia de sistemas de produção sustentáveis e na redução do desperdício de alimentos ao longo da cadeia produtiva propostos pelos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Ademais, a necessidade de parcerias com organizações governamentais tem mostrado importância significativa, visto que a utilização de matérias-primas locais pode alavancar o comércio e atender as demandas dos consumidores. Portanto, o aproveitamento da amêndoa do tucumã fortalece a bioeconomia amazônica e contribui com os ODS 2 (Fome zero e agricultura sustentável) e 12 (Consumo e produção responsáveis), fomentando também dados relevantes para novas pesquisas científicas.

4 METODOLOGIA

4.1 Aquisição da matéria-prima e obtenção das farinhas da torta e da casca de tucumã

A matéria-prima foi adquirida através de uma indústria local na cidade de Manaus-AM contendo 40 Kg de torta proveniente da prensagem e extração da gordura da amêndoa do tucumã, que foi armazenada em freezer a -6°C.

A torta foi inicialmente triturada em moinho de facas (Lucadema, Luca 226/2) e submetida a separação dos grânulos em peneira granulométrica (Bronzinox, Brasil) por vibração em duração de 30 minutos para obtenção da farinha retida nas malhas de 14 (1180 µm), 20 (850 µm), 35 (425 µm), 48 (300 µm), 60 (250 µm) e 65 mesh (210 µm). Em cada mesh foram realizados experimentos para a determinação de proteínas onde, a partir dos resultados obtidos, optou-se por utilizar as frações retidas nas malhas dos meshs de 20 a 65. Após análise de lipídeos, observou-se que a torta apresentava ainda um alto teor lipídico, portanto, foi realizado o desengorduramento (1:2 m/v) com solvente hexano em agitador mecânico (Fisatom, 713D) por 2 vezes em duração de 1 hora. A recuperação do solvente foi realizada em evaporador rotativo (TECNAL, TE-211) a 60°C. Posteriormente, a farinha da torta foi seca em estufa com circulação de ar (Nova ética, 400- 2ND) a 60 °C até peso constante e, em seguida, armazenada em freezer a -6 °C até a realização das análises.

Para a obtenção da farinha da casca do tucumã, as mesmas foram adquiridas em feiras locais na cidade de Manaus-AM provenientes do despolpamento do fruto. As cascas foram distribuídas em bandejas e secas em estufa com circulação de ar (Nova ética, 400- 2ND) a 60 °C por 24 horas. Após a secagem, as cascas foram trituradas em moinho de facas (Lucadema, Luca 226/2), utilizando peneira de 20 mesh, para obtenção da farinha empregada nas formulações do produto vegetal.

4.2 Composição centesimal

A composição centesimal foi realizada na torta e nas farinhas da torta e da casca do tucumã em triplicata, seguindo as metodologias oficiais da *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC, 2019) para as análises de proteínas, lipídeos, umidade, cinzas, fibras totais e carboidratos obtidos por diferença, onde: Carboidratos totais = 100 – (umidade + lipídeos + proteínas + cinzas).

4.2.1 Umidade

A análise de umidade foi realizada seguindo os métodos da AOAC 925.45 (2019), utilizando 2 g de amostra em cadinhos previamente pesados, realizando a secagem em estufa com circulação de ar (Nova ética, 400- 2ND) a 105 °C. Os cadinhos foram mantidos em dessecador para resfriamento e pesagem, repetindo-se o processo de aquecimento e resfriamento até peso constante.

4.2.2 Lipídeos

Lipídeos totais foram determinados de acordo com a AOAC 920.39 (2019) por método gravimétrico de extração. Foram pesados 2 g de amostra em cartuchos e adicionados 150 mL de solvente hexano aos tubos contendo as mesmas previamente pesados, onde foram inseridos em equipamento determinador de gordura (TECNAL, TE-044), a 70 °C por 4 horas. Em seguida, foi realizada nova pesagem dos tubos e a diferença entre os pesos antes e após submissão das amostras ao solvente foi medida.

4.2.3 Proteínas totais

O teor de proteínas totais foi obtido através do método de micro Kjeldahl proposto pela AOAC - 31.1.08 (2019). Foram pesados 0,2 g do material e a este foi adicionado 1 g de mistura catalizadora ($K_2SO_4 + CuSO_4 \cdot 5H_2O$) e 5 mL de ácido sulfúrico. Em seguida, o material foi inserido em bloco digestor (TECNAL, TE-060/25) a 350 °C por 4 horas e 30 min. Após digestão, foi feita a destilação em destilador de nitrogênio (TECNAL, TE-0364) com adição de ácido bórico, água destilada e NaOH 50%, seguido de titulação utilizando HCl 0,02 N. A determinação do teor de nitrogênio foi calculada pelo fator de conversão de 6,25 (fator padrão).

A porcentagem de proteínas é expressa conforme Equação 1:

$$\% N = \frac{HCl \text{ (ml)} \times N_{rHCl} \times 0,014 \times 100}{\text{Peso da amostra}} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

N = Nitrogênio

HCl (mL) = Volume gasto na titulação (valor encontrado menos o valor do branco)

N_{rHCl} = Normalidade real do HCl = 0,02

$\% N \times 6,25 = \% \text{ proteína}$.

4.2.4 Cinzas

A determinação de cinzas totais foi obtida conforme método da AOAC 930.30 (2019), mediante queima de 2 g da amostra em mufla (LUCADEMA, 16 L) em cadinhos previamente pesados, a 550 °C por 4 horas. Os cadinhos foram mantidos em dessecador para resfriamento e pesados novamente. O teor de cinzas foi medido conforme Equação 2:

$$\% \text{ cinzas} = \frac{(\text{Peso cadinho} + \text{amostra após mufla}) - (\text{Peso cadinho})}{\text{Peso amostra úmida}} \times 100 \quad (\text{Eq. 2})$$

4.2.5 Fibra alimentar total (FAT)

O teor de fibra alimentar total foi determinado pelo método da AOAC N° 985.29 (2019). Em 2 g de amostra previamente seca e desengordurada foi adicionada solução aquecida de ácido sulfúrico 1,25%, onde foram submetidos à fervura durante 30 minutos. Em seguida, o material foi filtrado a vácuo e adicionou-se solução aquecida de NaOH 1,25%, repetindo o processo de fervura durante 30 minutos. A filtração foi realizada novamente em cadinho Gooch, onde o resíduo foi lavado com água destilada quente, seguido de álcool etílico e éter etílico. O material foi seco em estufa a 105 °C e o peso do cadinho registrado (P1). Por fim, a amostra foi incinerada em mufla (LUCADEMA, 16 L) a 550 °C e o peso do cadinho registrado (P2). A fibra alimentar total foi obtida conforme Equação 3:

$$F = \frac{(P1 - P2)}{P} \times 100 \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:

P = peso da amostra (g)

P1 = peso do cadinho antes da incineração em mufla (g)

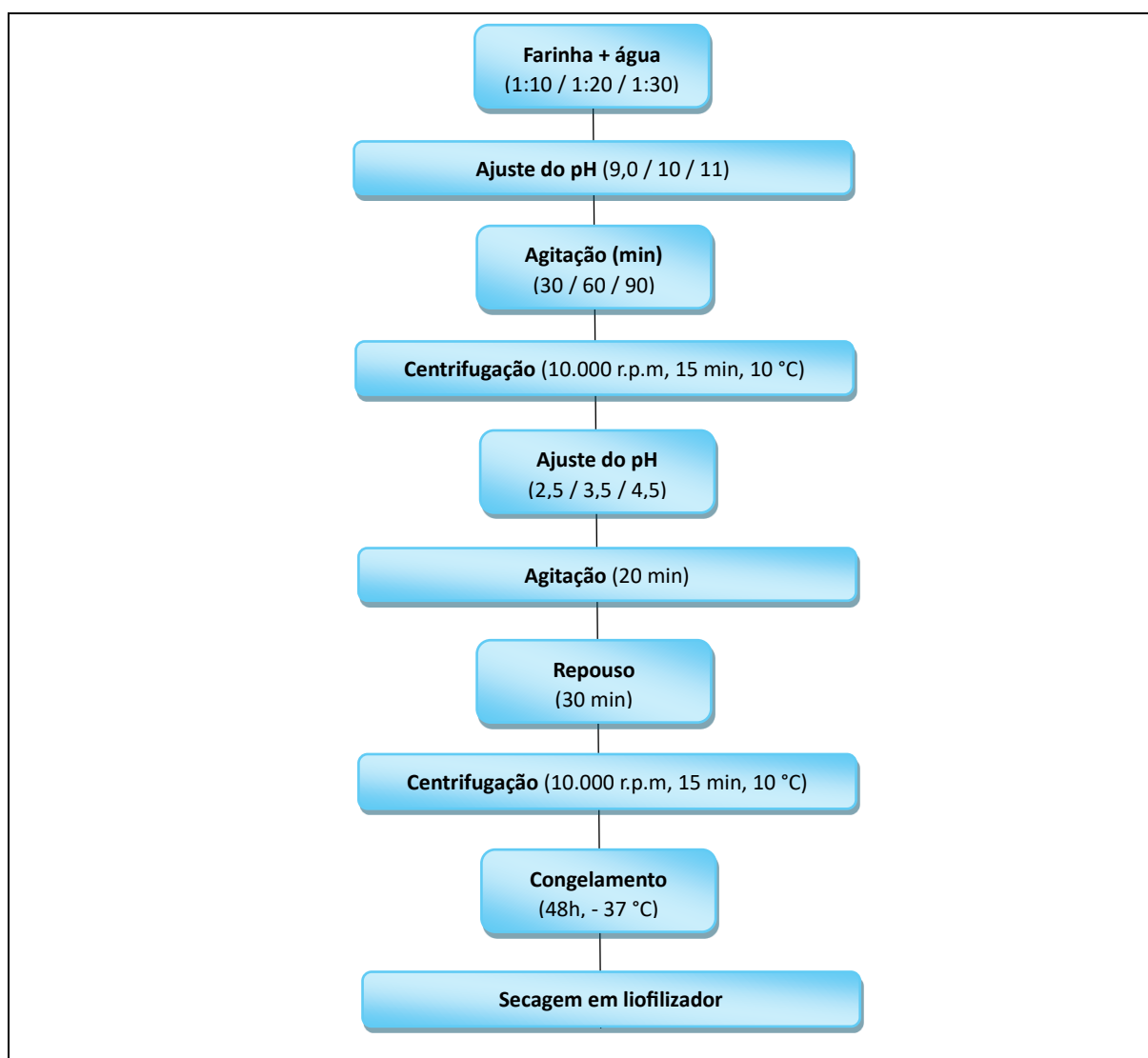
P2 = peso do cadinho após incineração em mufla (g)

4.3 Extração de proteína

A extração da fração proteica foi realizada na farinha da torta por meio do método de extração alcalina seguida de precipitação isoeletrica, conforme metodologia adaptada de Lima *et al.* (2025). O estudo foi conduzido em duas etapas experimentais. Na primeira etapa, foram avaliados os efeitos do pH alcalino (9, 10 e 11), tempo de agitação (30, 60 e 90 minutos) e razão sólido:solvente (1:10, 1:20 e 1:30 m/v), com o pH de precipitação fixado em 4,5. Os parâmetros foram avaliados de forma univariada, variando um fator por vez enquanto os demais foram mantidos constantes. Na segunda etapa, após a definição das condições mais favoráveis de

extração, foi avaliado o efeito do pH de precipitação isoeletrica (2,5; 3,5 e 4,5), visando maximizar a recuperação da fração proteica. Para o procedimento, a farinha da torta foi dispersa em solução aquosa, com ajuste de pH utilizando solução de NaOH 1 mol/L até os valores estabelecidos. As suspensões foram submetidas à agitação magnética em um becker, sob temperatura ambiente ($\approx 25\text{ }^{\circ}\text{C}$), durante os tempos determinados. Após a etapa de solubilização, as amostras foram centrifugadas a 10.000 rpm por 15 minutos para separação da fração insolúvel. O sobrenadante foi coletado e submetido à precipitação isoeletrica mediante ajuste de pH com solução de HCl 1 mol/L. As suspensões foram mantidas em repouso por 30 minutos para permitir a precipitação da proteína e, em seguida, centrifugadas nas mesmas condições. O precipitado obtido foi coletado e seco em liofilizador a vácuo (Terroni, LS 6000 B), sendo posteriormente armazenado para análises. Na Figura 7 é possível observar as etapas de extração da proteína.

Figura 7 – Fluxograma do processo de extração da proteína



Fonte: Alves, 2026.

4.4 Rendimento de extração e recuperação proteica

O rendimento de extração (%) foi calculado com base na massa da fração proteica obtida em relação à massa inicial da farinha, e a recuperação proteica (%) foi determinada considerando o teor de proteína presente na matéria-prima e na fração proteica obtida, conforme as Equações 4 e 5, respectivamente.

$$\text{Rendimento (\%)} = (\text{massa da fração proteica} / \text{massa inicial da amostra}) \times 100 \quad (\text{Eq. 4})$$

$$\text{Recup. proteica (\%)} = (\text{prot. na fração extraída} / \text{prot. total na amostra inicial}) \times 100 \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde:

proteína na fração extraída = massa da fração proteica $\times$ teor de proteína da fração

proteína total na amostra inicial = massa da amostra $\times$ teor de proteína da amostra inicial

4.5. Fatores Antinutricionais (FAN's)

4.5.1 Teor de Fenólicos Totais (TPC)

A partir da proteína obtida da farinha da torta de tucumã foi determinada a presença de fenólicos totais pelo método de Singleton & Rossi (1965). Inicialmente foi preparado o extrato da amostra contendo 0,5 g diluídos em 10 mL de água destilada, que foram mantidos sob agitação em agitador magnético (Ion Lab, HJ-4) por 30 minutos e centrifugados a seguir por 10 minutos, a 5000 rpm. Posteriormente, 1 mL do extrato foi adicionado aos tubos de ensaio, seguido de 7 mL de água destilada, 1 mL de Folin Ciocalteau e 1 mL de solução saturada de carbonato de sódio. As amostras foram mantidas no escuro por 120 minutos e lidas em espectrofotômetro (BEL PHOTONICS, UV-M51) no comprimento de onda de 725 nm. O TPC foi calculado utilizando uma curva padrão de ácido gálico ($\text{TPC} = 13,245 \times \text{absorbância}$; $R^2 = 0,99$). O resultado final foi expresso em miligramas de equivalente de ácido gálico (EAG) por grama de amostra seca (mg EAG/g).

4.5.2 Taninos totais (TT)

A presença de taninos totais na proteína da farinha da torta foi determinada de acordo com os métodos de Hamdani e Wani (2017). O extrato foi preparado utilizando 0,01 g de amostra diluídos em 2 mL de água destilada, que foi submetido a aquecimento em banho ultra termostático (7LAB, Bio Termo 20L) a 95°C por 30 minutos. Após resfriamento em temperatura ambiente, o extrato foi centrifugado a 5000 rpm por 15 minutos e o sobrenadante

coletado para ser utilizado na análise. A seguir, em tubos de ensaio, foram pipetados 100µl do extrato, 500µl de reagente Folin-Denis e 1000µl de solução saturada de carbonato de sódio. As amostras foram mantidas no escuro por 30 minutos e a absorbância foi lida em espectrofotômetro (BEL PHOTONICS, UV-M51) no comprimento de ondas de 760 nm. A concentração de TT foi determinada através da curva padrão de ácido tânico ($y = 0,0049 + 0,0053x$; $R^2 = 0,99$) e os resultados expressos em mg equivalentes de ácido tânico (EAT) por grama de amostra (mg EAT/G).

4.5.3 Saponinas

A presença de saponinas na proteína da farinha da torta foi identificada conforme os métodos de Hiai *et al.* (1976) descritos por Nidhina e Muthukumar (2015). Inicialmente foi preparado o extrato com 0,01g de amostra diluído em 2 mL de solução de etanol 50%, onde foi mantido sob agitação por 10 minutos em agitador magnético (Ion Lab, HJ-4), seguido de centrifugação a 5000 rpm por 10 minutos. Posteriormente, 500µl de extrato foram pipetados em tubos de ensaio, e a este foram adicionados 550µl de vanilina (8%) e 550µl de ácido sulfúrico, que foram encubados em banho ultra termostático (7LAB, Bio Termo 20L) a 60 °C por 10 minutos e resfriadas em seguida em banho de gelo por 5 minutos. A absorbância foi lida no comprimento de ondas de 560 nm e o teor de saponinas foi quantificado a partir da curva de calibração padrão ($y = 0,0017 + 0,0008x$; $R^2 = 0,98$), onde os resultados foram expressos em mg equivalente de saponinas (ES) por grama de amostra (mg ES/g).

4.6 Propriedades Tecno-funcionais

Foi realizada a caracterização das propriedades tecno-funcionais na proteína obtida da farinha da torta em triplicata seguindo os métodos descritos por Silva *et al.* (2022) para capacidade de formação de espuma, capacidade de absorção em água e óleo, capacidade de formação de gel e capacidade de emulsão.

4.6.1 Capacidade de formação de espuma e estabilidade de espuma

Foi realizada mediante pesagem de 1,5 g de amostra e homogeneizada em 60 mL de água destilada em agitador magnético (Ion Lab, HJ-4), mediante correção de pH para 7,0. 15 mL da solução foi retirada e homogeneizada com dispersor Ultra-Turrax (IKA, T 25) por 2 minutos totais nas rotações de 6500 rpm, 9500 e 13500 rpm. As amostras foram então transferidas para uma proveta onde foram registrados os volumes da espuma nos tempos 0

minuto, 10 minutos, 30 minutos e 60 minutos. A capacidade de formação de espuma (FC - *Foaming Capacity*) e a estabilidade de espuma (FS - *Foaming Stability*) foram obtidas seguindo as Equações 6 e 7:

$$FC (\%) = \frac{V_1 - V_0}{V_0} \times 100 \quad (\text{Eq. 6})$$

$$FS (\%) = \frac{V_2}{V_1} \times 100 \quad (\text{Eq. 7})$$

Onde:

V_0 = volume inicial da solução da amostra proteica.

V_1 = volume após a homogeneização (solução + espuma).

V_2 = volume (solução + espuma) após repousar por 10 minutos, 30 minutos ou 60 minutos em temperatura ambiente.

4.6.2 Capacidade de absorção em água e óleo

Com o objetivo de determinar a razão entre a quantidade de água ou óleo em gramas que o ingrediente proteico pode absorver por grama de amostra, pesou-se 0,1 g de amostra e a este foi adicionado 1 mL de água para a capacidade de absorção em água e 1 mL de óleo para a capacidade de absorção em óleo, onde foram homogeneizados por 1 minuto em vortex (Fisatom, 772). As amostras ficaram em repouso por 30 minutos e, em seguida, centrifugadas em rotação de 12000 rpm por 20 minutos, onde o sobrenadante foi descartado e o precipitado foi absorvido em papel. Por fim, a capacidade de absorção em água (WHC - *Water Holding Capacity*) e óleo (OHC - *Oil Holding Capacity*) foi determinada pela Equação 8:

$$WHC \text{ ou } OHC = \frac{M_1 - M_t - M_0}{M_0} \quad (\text{Eq. 8})$$

Onde:

M_1 = massa (g) do tubo com a amostra úmida.

M_0 = massa (g) inicial da amostra.

M_t = massa (g) do microtubo.

4.6.3 Capacidade de formação em gel

Para a determinação da capacidade de formação em gel, foram pesadas 10 amostras nas quantidades sequenciais de 0,1 g, 0,2 g, 0,3 g, 0,4 g, 0,5 g, 0,6 g, 0,7 g, 0,8 g, 0,9 g e 1,0 g, e a

estes foram adicionados 5 mL de água destilada. As amostras foram homogeneizadas em vortex (Fisatom, 772) e aquecidas em banho ultratermostático (7LAB, Bio Termo 20L) a 100 °C por 60 minutos. Em seguida, foram resfriadas com gelo e mantidas em geladeira sob refrigeração a 4 °C por 2 horas. Os tubos foram vertidos e analisados quanto à condição de escoamento. Os resultados foram expressos pela determinação de concentração mínima de gelificação em g/ml.

4.6.4 Capacidade emulsificante e estabilidade de emulsão

A atividade emulsificante foi realizada adicionando 60 mL de água destilada em 0,3 g de amostra, ajustando o pH para 7,0. Foram adicionados 20 mL de óleo de soja e emulsionados em Ultra-Turrax (IKA, T25) na rotação de 9500 rpm por 60 segundos. Em seguida, foram retirados 50 µl e adicionados a este 5 mL de solução SDS (Dodecil sulfato de sódio) 0,1%, que foram homogeneizados em vortex (Fisatom, 772) por 30 segundos. A leitura da absorbância foi realizada imediatamente na amostra em espectrofotômetro (BEL PHOTONICS, UV-M51) no comprimento de onda de 500 nm, onde foi considerada A_0 (tempo zero). Após 10 minutos, 50 µl da emulsão foi pipetada e 5 mL da solução de SDS foi adicionada e homogeneizada por 30 segundos em vortex (Fisatom, 772). Esta amostra foi considerada como A_{10} (10 minutos) e sua absorbância foi lida novamente. A capacidade emulsificante (EAI - *Emulsifying Activity Index*) foi expressa pela Equação 9, e a estabilidade de emulsão (ESI - *Emulsion Stability Index*) foi expressa pela Equação 10, respectivamente:

$$EAI (m^2/g) = \frac{2 \times 2,203 \times 100 \times A_0}{c \times 0,25 \times 10000} \quad (\text{Eq. 9})$$

Onde:

A_0 = absorbância da emulsão no tempo zero.

c = concentração da amostra proteica (g/ml).

$$ESI (\text{min}) = \frac{A_0}{A_0 - A_{10}} \times 10 \quad (\text{Eq. 10})$$

Onde:

A_0 = absorbância da emulsão no tempo zero.

A_{10} = absorbância da emulsão após 10 minutos.

4.7 Aminoácidos

A composição de aminoácidos (AA) foi realizada na proteína extraída por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE/HPLC) para quantificá-los de acordo com os

métodos descritos por White, Hart e Fry (1986), Hagen, Frost e Augustin (1989), e a determinação de triptofano de acordo com Lucas e Sotelo (1980).

4.8 Formulação e elaboração dos produtos

Para a elaboração dos produtos vegetais, as formulações foram preparadas incorporando diferentes proporções de farinha da torta da amêndoa e casca de tucumã, adicionando também ingredientes que foram adquiridos em comércios locais, bem como proteína texturizada de soja, farinha de trigo, gordura da amêndoa de tucumã e condimentos em pó, como sal, alho, cebola, beterraba, cominho e glutamato monossódico.

Foram elaboradas 3 formulações do produto: Formulação 1 (F1) – sem adição de farinha de casca de tucumã e adição de 15 g de farinha da torta, Formulação 2 (F2) – com adição de 5 g de farinha de casca de tucumã e 10 g de farinha da torta, Formulação 3 (F3) – com adição de 2,5 g de farinha de casca de tucumã e 12,5 g de farinha da torta.

Os ingredientes de cada formulação foram pesados, homogeneizados e moldados em porções de 100 g, os quais foram armazenados em freezer a -6° C até a realização das análises posteriores. A Tabela 2 apresenta os ingredientes e as quantidades utilizadas nas formulações.

Tabela 2 – Ingredientes utilizados nas formulações para a elaboração do produto

Ingredientes (g)	Formulações (%)		
	F1*	F2*	F3*
Proteína texturizada de soja	20	20	20
Farinha da torta de tucumã	15	10	12,5
Farinha da casca de tucumã	-	5	2,5
Farinha de trigo	16	16	16
Gordura de tucumã	10	10	10
Água	30	30	30
Sal	2	2	2
Alho em pó	2	2	2
Cebola em pó	1	1	1
Beterraba em pó	0,5	0,5	0,5
Cominho em pó	1	1	1
Glutamato monossódico	2,5	2,5	2,5
Total	100	100	100

*F1 – Formulação 1; F2 – Formulação 2; F3 – Formulação 3.

4.9 Análise centesimal das formulações

A partir dos hambúrgueres crus obtidos, foi realizada análise centesimal nas formulações em triplicata, seguindo as metodologias já descritas no item 4.2 para umidade, proteínas, lipídeos, cinzas e carboidratos.

4.10 Análises microbiológicas

A farinha da torta, a formulação sem adição de farinha da casca de tucumã (F1) e a formulação com a maior quantidade de farinha da casca de tucumã (F2) foram analisadas quanto a presença dos principais microrganismos preconizados pela RDC N° 724, de 01 de julho de 2022 da ANVISA (Brasil, 2022), a saber Coliformes a 45 °C/g, *Salmonella sp*/25 g e *Staphylococcus coagulase positiva*/g. Foi aplicada a técnica de Número Mais Provável (NPM) para a detecção de coliformes totais e a técnica de Contagem Padrão em Placas (CPP) para determinar a presença de *Salmonella sp* e *Estaphilococcus*, com resultados expressos em unidades formadoras de colônia por mililitro (UFC/mL).

4.11 Análise estatística

Os dados foram expressos em média $\pm$ desvio padrão. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software Statistica (StatSoft, versão 7.0, EUA). Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), considerando um nível de confiança de 95 % ($p < 0,05$). As comparações entre as médias foram efetuadas pelo teste de Tukey.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Composição centesimal da torta e das farinhas da torta e da casca do tucumã

Os resultados da composição centesimal da torta e das farinhas da torta e da casca do tucumã estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Composição centesimal da torta e das farinhas da torta e casca do tucumã

Macronutrientes	Casca *	Torta *	Farinha *
Umidade (%)	3,77 ± 0,23	2,40 ± 0,42	6,55 ± 0,47
Lipídeos (%)	19,60 ± 0,34	14,23 ± 0,29	3,26 ± 0,06
Cinzas (%)	4,95 ± 0,29	2,16 ± 0,15	2,56 ± 0,02
Proteínas (%)	13,22 ± 0,13	8,76 ± 0,47	9,20 ± 0,09
Fibras totais (%)	39,45 ± 2,54	31,52 ± 2,14	-
Carboidratos (%)	19,01 ± 0,00	40,93 ± 0,00	78,43 ± 0,00

*Valores expressos em média em base seca ± desvio padrão

A torta e as farinhas da casca e da torta do tucumã apresentaram baixo teor de umidade em sua composição, que variaram entre 2,40% a 6,55%. Para farinhas, este valor está dentro do padrão estabelecido pela ANVISA (2022), que estipula teor máximo de 15,0% (g/100g). Alimentos com alto teor de umidade podem apresentar risco de degradação e multiplicação de microrganismos, comprometendo a qualidade e vida de prateleira do produto (Moreira *et al.*, 2021).

O alto teor de lipídeos presente na casca (19,60%) está próximo aos valores registrados por Alves *et al.* (2025), que obtiveram teor de 26,28% na farinha da casca de tucumã. Já na torta proveniente do processamento de prensagem na extração de óleo, o percentual de 14,23% foi consideravelmente reduzido após o processo de desengorduramento para obtenção da farinha, resultando em 3,26% de lipídeos, o que indica que o processo de extração realizado por duas horas com solvente hexano mostrou-se eficiente.

Quanto ao teor de cinzas, a casca (4,95%) apresentou maior material mineral em relação à torta e à farinha, alinhando-se aos resultados obtidos por Miller *et al.* (2013) para a farinha da casca de tucumã. A torta e a farinha obtiveram teores próximos, variando entre 2,16% e 2,56%, respectivamente.

Foi possível observar que torta e a farinha apresentaram percentuais de proteína próximos (8,76% e 9,20%, respectivamente), enquanto a casca se destacou em relação a estas (13,22%). Valores superiores a estes foram encontrados por Garroni *et al.* (2021) ao avaliar a torta da amêndoa de macaúba (28,2%), entretanto, a proteína da torta de tucumã possui

quantidades acima das encontradas por Belém *et al.* (2023) para a torta da amêndoa de inajá (5,7%). Em comparação às proteínas dos coprodutos das principais fontes proteicas vegetais, a saber soja (46,7%) e de ervilha (21,50%) encontrados por Silva *et al.* (2006) e Millar *et al.* (2019) respectivamente, observa-se que o teor de proteína obtido neste trabalho apresentou valores em menor quantidade.

Em relação aos percentuais de fibras totais, tanto a casca (39,45%) quanto a torta (31,52%) se destacaram em seu elevado teor, caracterizando alto potencial nutricional. As fibras tornaram-se ingredientes importantes para a indústria alimentícia devido a suas funções tecnológicas e benefícios à saúde associados à sua ingestão (Garcia-Amezquita *et al.*, 2018), atuando em especial no tratamento de distúrbios gastrointestinais (O’Grady e Shanahan, 2018).

Quanto aos resultados obtidos para carboidratos, tanto a farinha quanto a torta obtiveram percentuais elevados, os quais se destacaram em relação aos demais componentes, indicando alto valor energético. Souza e Menezes (2004) obtiveram teores inferiores aos obtidos neste trabalho para a torta ao avaliar a composição de carboidratos na torta da amêndoa da castanha-do-Brasil (3,37%). Os resultados apresentados no presente trabalho para a farinha da torta de tucumã também foram superiores aos apontados para outra farinha de amêndoa relatada por Araújo *et al.* (2020) ao avaliar o teor de carboidratos na farinha da amêndoa de chichá (57,39%).

5.2 Extração de proteína e rendimento

Os resultados experimentais das extrações da proteína realizada por etapas e o rendimento estão representados na Tabela 4.

Tabela 4 – Extração alcalina da proteína obtida da farinha da torta de tucumã

Etapas	Condições	Recuperação de Proteína (%)	Rendimento (%)
pH alcalino	9	46,93 ± 0,76 ^b	0,26 ^c
	10	47,37 ± 0,91 ^a	1,08 ^b
	11	39,81 ± 1,53 ^c	2,96 ^a
Tempo de agitação (min)	30	48,27 ± 0,64 ^b	2,68 ^c
	60	43,31 ± 1,10 ^c	3,27 ^b
	90	49,55 ± 0,21 ^a	3,90 ^a
Razão sólido:solvente (m/v)	1:10	51,74 ± 1,24 ^a	2,66 ^c
	1:20	51,41 ± 0,14 ^b	4,24 ^b
	1:30	49,29 ± 1,57 ^c	5,08 ^a
pH ácido	2,5	50,24 ± 0,05 ^c	2,93 ^c
	3,5	51,15 ± 0,67 ^b	5,98 ^b
	4,5	52,05 ± 0,62 ^a	11,18 ^a

Todos os valores correspondem à média de três repetições ± desvio-padrão. Letras minúsculas na mesma coluna em cada parâmetro indicam diferença estatística pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Em relação ao efeito do pH alcalino na extração da proteína, foi possível observar o aumento do teor proteico com a elevação de pH 9 (46,93%) para 10 (47,37%), entretanto, houve diminuição nos teores a partir do pH 11 (39,81%), evidenciando que tratamentos alcalinos extremos produziram mudanças estruturais significativas na proteína, ocasionando desnaturação/agregação (Valenzuela *et al.*, 2013). Apesar de seu teor proteico inferior aos demais, o experimento com pH 11 apresentou o maior rendimento (2,96%).

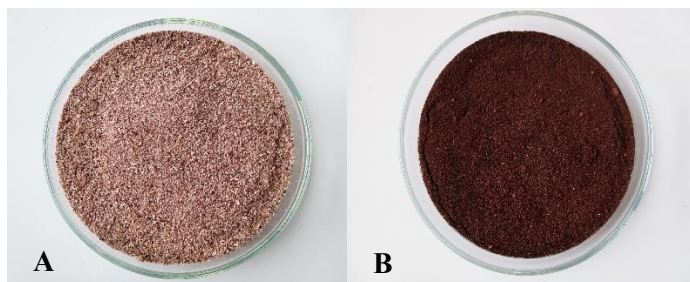
Os experimentos realizados na definição do tempo de agitação indicaram que a extração em duração de 90 minutos (49,55%) obteve o maior teor proteico, seguido da agitação por 30 minutos (48,27%). Os rendimentos de ambos os testes apresentaram resultados próximos, mas diferiram significativamente entre si ($p < 0,05$), onde o maior valor foi obtido no teste com 90 minutos de agitação (3,90%). Apesar de longos tempos de extração proporcionarem maiores rendimentos, também podem ocasionar desnaturação proteica e redução de pureza devido a extração de outros constituintes, como carboidratos.

Quanto aos resultados dos experimentos variando a razão sólido:solvente – m/v, o teor de proteína divergiu entre 49,29% a 51,74%, onde o maior resultado foi observado na proporção de 1:10. Entretanto, este obteve o menor rendimento em relação aos demais, resultando em percentual de 2,66%. Foi possível observar que o rendimento elevou com o aumento da proporção de 1:10 para 1:30, fator que pode ser justificado devido à maior interação entre moléculas de solvente e proteína na solubilização (Hadinoto *et al.*, 2024). Diferente dos resultados obtidos neste trabalho, Soo *et al.*, 2021 apontou maior teor proteico na Moringa oleífera em proporção de 1:30 (35,15%), porém, o método de extração aplicado consistiu em repetições de lavagens para aumentar o teor proteico. Apesar do teste em proporção de 1:30 apresentar o maior rendimento em relação aos demais (5,08%), o experimento de razão sólido:solvente de 1:20 foi considerado ideal devido ao equilíbrio entre teor proteico e rendimento, além do menor gasto de água durante o processo operacional em comparação ao teste de proporção de 1:30.

Dos experimentos realizados na definição de pH ácido, o teste utilizando pH de 4,5 se destacou em comparação aos demais, o qual apresentou teor de 52,05% de proteína e rendimento muito superior (11,18%), indicando maior proximidade com o ponto isoelétrico da proteína. Diversos trabalhos evidenciam o efeito positivo do pH de 4,5 sobre o rendimento na extração de diferentes fontes proteicas vegetais, sendo considerado o ponto isoelétrico (PI) da maioria das leguminosas (Lopez *et al.*, 2018; Mir, Riar e Singh, 2019; Zhang *et al.*, 2020). Com isso, foi possível definir o método de extração de proteína aplicando os melhores resultados

obtidos em cada teste, que resultou nas condições de pH alcalino de 11, tempo de agitação de 90 minutos, razão sólido:solvente (m/v) de 1:20 e pH ácido para o ponto isoelétrico de 4,5. Através da definição destes parâmetros, obteve-se teor proteico de 52% e eficiência de extração de 11%. A Figura 8 apresenta a farinha da torta de tucumã utilizada na extração de proteína e a obtenção da fração proteica após definição dos parâmetros aplicados.

Figura 8 – Farinha da torta de tucumã (A) e sua fração proteica extraída (B)



Fonte: Alves, 2026

5.3 Fatores Antinutricionais

Os teores de compostos fenólicos totais, taninos e saponinas da fração proteica da farinha da torta estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Teor de antinutricionais na proteína da torta da amêndoa

Antinutricionais	Proteína da torta *
Fenólicos (mg EAG/g)	1,09 ± 0,01
Taninos totais (mg EAT/g)	22,70 ± 0,22
Saponinas (mg ES/g)	287,00 ± 2,16

*Valores expressos em média ± desvio padrão.

Os compostos fenólicos totais foram detectados em concentrações de 1,09 mg/g, indicando a presença de metabólitos secundários com potencial atividade antioxidante. Embora classificados como antinutricionais, esses compostos podem exercer efeitos benéficos à saúde, como ação antioxidante e antimicrobiana. A presença em baixas quantidades deste antinutricional na proteína obtida é considerado satisfatório, visto que este pode gerar alterações nas propriedades físico-químicas e diminuir a disponibilidade e absorção de proteína no organismo (Czubinski e Dwiecki, 2017). Ao mesmo tempo, as proteínas também podem interagir negativamente na ação benéfica de polifenóis no organismo, afetando tanto seu teor

quanto sua ação antioxidante e biodisponibilidade (Ozdal, Capanoglu e Altay, 2017). Arogundade *et al.* (2014) relatou valores inferiores de polifenóis (0,74 mg EAG/g) para o isolado proteico de feijão-inhame processado por precipitação isoelétrica em comparação aos obtidos no presente trabalho. O teor e a composição de fenólicos em plantas podem ser influenciados por fatores intrínsecos e extrínsecos, bem como a variedade, as condições climáticas, o cultivo e processamento e conservação dos alimentos, afetando a concentração desses compostos (Eseberri *et al.*, 2022).

A proteína apresentou teor de taninos totais em 22,70 mg/g. Em concentrações elevadas, esses compostos podem interferir na digestibilidade de proteínas e na biodisponibilidade de nutrientes, devido à formação de complexos com macromoléculas. No entanto, os níveis observados neste estudo encontram-se dentro de faixas reportadas para materiais vegetais, não representando limitação significativa para aplicação alimentar.

Estudos anteriores conduzidos por Sagrillo *et al.* (2015) confirmam a presença deste composto em outras frações do tucumã (casca e polpa), o qual é responsável por conferir sabor amargo e adstringente ao fruto (Arnold, Noble e Singleton, 1980). Quando comparada a outras fontes proteicas relatadas na literatura, a proteína da torta apresentou valores superiores aos taninos dos isolados proteicos de diferentes variedades de ervilha amarela (2,4 mg/g a 7,0 mg/g), encontrados por Subasi, Forghani e Abdollahi (2024). Os taninos são polifenóis capazes de afetar a disponibilidade de aminoácidos essenciais ao formar complexos reversíveis e irreversíveis com as proteínas (Samtiya, Aluko e Dhewa, 2020), portanto, são indesejáveis do ponto de vista nutricional.

A proteína apresentou alta concentração de saponinas em sua composição (287,00 mg/g), superando os teores apontados por Fang *et al.* (2004) para isolado proteico de soja (214,80 mg/g). As saponinas possuem atividade hipocolesterolêmica e anticancerígena, entretanto, em grandes quantidades podem apresentar efeitos tóxicos, além de afetar a disponibilidade de proteínas, vitaminas e minerais (Matilla *et al.*, 2018; Singh e Arora, 2023). Assim como para a maioria dos antinutricionais, as saponinas podem ser facilmente inativadas através da aplicação de tratamentos térmicos ideais.

5.4 Propriedades Tecno-Funcionais

A Tabela 6 apresenta os resultados das propriedades tecno-funcionais realizadas na proteína da torta para capacidade de formação de espuma e estabilidade, capacidade de absorção em água e óleo, capacidade de formação de gel e capacidade de emulsão e estabilidade.

Tabela 6 – Propriedades tecno-funcionais da proteína da torta

Propriedades	Proteína da torta *
Capacidade de formação de espuma (%)	133,33 ± 0,37
Estabilidade de espuma (%)	96,15 ± 1,77
Capacidade de absorção em água – CAA (g/g)	2,50 ± 0,19
Capacidade de absorção em óleo – CAO (g/g)	3,25 ± 0,09
Capacidade de formação de gel (g/mL)	0,12 ± 0,00
Capacidade de emulsão (m ² /g)	26,45 ± 0,41
Estabilidade de emulsão (min)	57,94 ± 0,00

*Os valores correspondem às medidas de três repetições ± desvio-padrão.

A capacidade espumante de ingredientes proteicos possui propriedade ideal para produtos de confeitaria, mousses, merengues e coberturas e depende da solubilidade das proteínas e de outros componentes, como carboidratos (Gouvêa *et al.*, 2023; Silva *et al.*, 2022). A proteína apresentou alta capacidade espumante de 133,33% e estabilidade de 96,15% após atingidos os 60 minutos. É possível observar que os resultados obtidos neste trabalho tanto para a capacidade espumante quanto para sua estabilidade foram superiores aos valores relatados por Poloto *et al.* (2025) ao avaliar as proteínas de ervilha (86%) e soja (43%), além de estabilidade de espuma abaixo de 95%. A capacidade de formação de espuma está associada à sua capacidade de reduzir a tensão na interface ar-água, em que as interações hidrofóbicas se direcionam para o lado não aquoso da interface, ocasionando perda na estrutura terciária (Rahim *et al.*, 2023).

Os resultados para a capacidade de absorção em água (CAA) e óleo (CAO) foram consideradas favoráveis, visto que essas propriedades são importantes na elaboração de ingredientes como carnes, embutidos massas e outros, contribuindo para os processos de gelificação, viscosidade, emulsão e textura (Cavalcanti *et al.*, 2009). As propriedades de absorção em água de frações proteicas dependem da química da superfície, da compactação e da porosidade das proteínas (Zhang *et al.*, 2025). A proteína da torta foi capaz de absorver maior quantidade de óleo (3,25 g/g) em relação à água (2,50 g/g). Estes valores apresentam proximidade com os relatados por Poloto *et al.* (2025) ao avaliar a CAA da proteína de soja (2,44 g/g), porém, tanto a CAO da proteína de ervilha (2,43 g/g) quanto a de soja (2,58 g/g) mostraram-se inferiores ao CAO da proteína da torta de tucumã apresentada neste trabalho. Este comparativo é importante para visualizar o potencial da proteína da torta em relação às principais fontes proteicas utilizadas atualmente em análogos vegetais.

A capacidade de formação de gel implica na concentração mínima em g/mL de proteína necessária para formar gel estável e firme, tendo em vista que quanto menor for a concentração necessária, maior será a gelificação do ingrediente (Silva *et al.*, 2022). A proteína da torta formou gel firme e boa capacidade de gelificação a partir das concentrações de 0,12 g/mL, alinhando-se com os resultados obtidos por Makeri *et al.* (2017) para a capacidade de gelificação da proteína de soja (12%). A gelificação é uma das propriedades funcionais mais importantes das proteínas e tida como característica de qualidade dos alimentos, conferindo a estes textura e suculência (Zayas, 1997). A formação de gel resultou do processo de desnaturação parcial da proteína e de sua agregação em uma estrutura de rede tridimensional que foi capaz de reter significativas quantidades de água (Lawal, 2004).

Quanto à capacidade de emulsão, a proteína da torta apresentou 26,45 m²/g e índice de estabilidade de emulsão de 57,94 minutos. Estes resultados corroboram com os relatados por Pedrosa *et al.* (2020) ao avaliar a capacidade de emulsão dos isolados proteicos de feijão (26,86%) e ervilha (27,78%), e Barac *et al.* (2015) ao avaliar o isolado proteico de soja (27,98 m²/g). A alta capacidade de emulsão é favorecida pela interação entre moléculas hidrofílicas e hidrofóbicas das proteínas em contato com gotículas de óleo, sendo uma propriedade ideal para aplicação em hambúrgueres e embutidos (Silva *et al.*, 2022).

5.5 Perfil de aminoácidos (AA)

O perfil de aminoácidos da fração proteica da farinha da torta está apresentado na Tabela 7, juntamente com os valores de referência estabelecidos pela OMS/FAO/UNU para adultos.

Tabela 7 - Composição de aminoácidos da proteína obtida da farinha da torta de tucumã e padrão de exigência da OMS/FAO/UNU para adultos (g/100 g de proteína)

Aminoácidos essenciais (EAA)	Composição (%)	Padrão de exigência ¹ (g/100 g de proteína)
Fenilalanina (Phe)	0,78	3,8
Histidina (His)	0,46	1,5
Isoleucina (Ile)	0,71	3,0
Leucina (Leu)	1,27	5,9
Lisina (Lys)	1,02	4,5
Metionina (Met)	0,28	2,2
Treonina (Thr)	0,79	2,3
Triptofano (Trp)	0,45	0,6
Valina (Val)	1,01	3,9

Aminoácidos não essenciais (NEAA)	Composição (%)
Ácido aspártico (Asp)	1,91
Ácido glutâmico (Glu)	4,63
Arginina (Arg)	2,16
Alanina (Ala)	0,88
Cisteína (Cys)	0,53
Glicina (Gly)	1,05
Hidroxiprolina (HP)	<0,01 (LQ)*
Prolina (Pro)	0,90
Serina (Ser)	0,86
Taurina (Tau)	<0,01 (LQ)*
Tirosina (Tyr)	0,69
Total de aminoácidos (AA)	19,93

*LQ – Limite de quantificação. ¹ OMS/FAO/UNU (2007) Relatório de consulta de especialistas para adultos.

A qualidade das proteínas depende de sua composição de aminoácidos, especialmente os essenciais (Menegotto *et al.*, 2019). Observou-se que o ácido glutâmico foi o aminoácido presente em maior concentração (4,63%), seguido por arginina (2,16%) e ácido aspártico (1,91%). A predominância desses aminoácidos está associada a proteínas de origem vegetal e pode influenciar propriedades sensoriais, como o sabor umami, além de contribuir para a funcionalidade da proteína. Os maiores valores para aminoácidos essenciais foram concentrados em teores de leucina (1,27%), lisina (1,02%) e valina (1,01%). Lessa *et al.* (2022) relatou valores superiores aos deste trabalho ao quantificar os aminoácidos do isolado proteico da amêndoa de macaúba, destacando altos teores para leucina (6,29 g/100g), lisina (4,89 g/100g) e valina (4,88 g/100g).

Métodos de extração de proteína atrelados a níveis de pH mais elevados podem influenciar a disponibilidade de aminoácidos em fontes proteicas vegetais. Hadinoto *et al.* (2024) observou diferenças significativas na composição de aminoácidos do bagaço de malte ao avaliar o efeito do pH alcalino na extração de proteína, alegando diminuição dos teores de alanina (Ala), isoleucina (Ile), prolina (Pro), serina (Ser), ácido aspártico (Asp) e ácido glutâmico (Glu) com o aumento de pH 8 para 12.

Embora a presença de todos os aminoácidos essenciais sejam indicadores importantes na composição de proteínas, a quantidade pode influenciar na qualidade e disponibilidade das mesmas. Fatores intrínsecos e extrínsecos como safra, estágio de maturação, clima, composição do solo, armazenamento e parâmetros experimentais a que o material proteico é submetido podem afetar o perfil de aminoácidos, o que ressalta a necessidade de aprofundamento acerca das propriedades físico-químicas e nutricionais do fruto.

Portanto, ainda que os teores de aminoácidos da proteína da torta não tenham atingido os valores recomendados pela OMS/FAO/UNU (2007), a presença de um perfil diversificado de aminoácidos indica que a fração proteica do tucumã pode contribuir para a composição nutricional de alimentos, especialmente quando combinada com outras fontes proteicas, visando complementar o perfil de aminoácidos.

Comparativamente, proteínas comerciais como soja e ervilha apresentam perfil mais equilibrado de aminoácidos essenciais. No entanto, a proteína do tucumã apresenta potencial como ingrediente alternativo, sobretudo em formulações que não dependem exclusivamente de uma única fonte proteica.

5.6 Composição centesimal das formulações

As imagens das formulações elaboradas a partir da farinha da torta de tucumã estão apresentadas na Figura 9. A composição centesimal dos hambúrgueres vegetais desenvolvidos encontra-se na Tabela 8, permitindo a avaliação dos efeitos da incorporação dos diferentes ingredientes sobre os parâmetros físico-químicos das formulações.

Figura 9 – Imagens das formulações do produto



Tabela 8 – Composição centesimal dos hambúrgueres crus

Formulação	Umidade (%)	Lipídeos (%)	Cinzas (%)	Proteínas (%)	Carboidratos (%)
F1	43,52 ± 0,44 ^a	16,50 ± 0,01 ^b	6,76 ± 0,15 ^a	29,79 ± 1,01 ^a	3,43 ± 0,00 ^a
F2	42,60 ± 0,28 ^a	18,54 ± 0,28 ^a	6,96 ± 0,03 ^a	28,96 ± 0,82 ^a	2,94 ± 0,00 ^b
F3	43,40 ± 0,44 ^a	18,25 ± 0,07 ^a	6,75 ± 0,08 ^a	30,35 ± 1,10 ^a	1,25 ± 0,00 ^c

Todos os valores correspondem à média de três repetições ± desvio-padrão. Letras iguais na mesma coluna não apresentam diferença estatística pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Formulação 1 (F1) – sem adição de farinha da casca de tucumã e adição de 15 g de farinha da torta, Formulação 2 (F2) – com adição de 5 g de farinha da casca de tucumã e 10 g de farinha da torta, Formulação 3 (F3) – com adição de 2,5 g de farinha da casca de tucumã e 12,5 g de farinha da torta.

Todas as formulações apresentaram alto teor de umidade em sua composição, entretanto, não houve diferença estatística a 5% de significância entre elas, apresentando valores entre 42,60% e 43,52%. As diferenças nas quantidades adicionadas de farinha da torta e casca de tucumã não influenciaram nos resultados para este parâmetro.

A adição de casca de tucumã elevou o teor de lipídeos nas formulações F2 (18,54%) e F3 (18,25%), as quais apresentaram maior teor em comparação à F1 (16,50%) devido ao fato de que a farinha da casca não foi desengordurada. Valores próximos aos deste trabalho foram encontrados por Benvenuti *et al.* (2025) ao avaliar o análogo vegetal tipo *nuggets* de farinha de macaúba (20,7%).

As formulações não diferiram entre si ($p < 0,05$) quanto ao teor de cinzas, atingindo percentual de 6%. Um elevado teor de cinzas é um indicador importante da composição de minerais em produtos (Cetiner, 2024). Cabral *et al.* (2025) obteve resultados inferiores a estes para o hambúrguer vegetal de farinha de linhaça (3,66%).

Os teores de proteína variaram entre 29,79% e 30,35% nas três formulações, entretanto não houve diferença significativa entre elas ($p < 0,05$). Estes valores excedem os relatados em outros trabalhos para formulações de hambúrguer vegetal de castanha-do-Brasil (22,76%) relatado por Lima *et al.* (2020), hambúrguer de caju (5,75%) descrito por Lima (2008) e hambúrguer de jaca (22,32%) relatado por Michal *et al.* (2022).

O teor de carboidratos foi significativamente diferente entre as formulações, onde a Formulação 1 apresentou o maior resultado (3,43%). Os resultados foram reduzidos nas Formulações 2 (2,94%) e 3 (1,25%) com o aumento das quantidades de farinha e adição da casca de tucumã.

A Portaria SDA Nº 724/2022 estabelece que produtos tipo hambúrguer cárneo devem apresentar como padrões físico-químicos o valor mínimo de 15% de proteína, gordura máxima de 25% e máximo de carboidratos de 3%. Comparando aos resultados das formulações dos análogos obtidos neste trabalho, é possível considerar que estes atendem aos parâmetros estabelecidos e, portanto, podem ser denominados “hambúrgueres”. Os resultados obtidos foram significativamente satisfatórios, visto que os consumidores buscam características sensoriais similares ao produto original (Dekkers *et al.*, 2018). Entretanto, a complementação de outros parâmetros de qualidade faz-se necessário para uma aplicação mais aprimorada em análogos vegetais.

5.7 Análise Microbiológica

Os resultados da análise microbiológica para identificação da presença de *Salmonella*, Coliformes Totais e *Staphylococcus* Coagulase positiva realizada nos hambúrgueres vegetais elaborados a partir da farinha da torta e farinha da casca de tucumã podem ser observados na Tabela 9.

Tabela 9 – Avaliação microbiológica de *Salmonella*, Coliformes totais e *Staphylococcus* Coagulase positiva

Amostras	<i>Salmonella</i> (ausência ou presença)	Coliformes totais UFC/mL	<i>Staphylococcus</i> Coagulase positiva UFC/mL
Farinha da torta	Ausência/25g	Ausência/g	$5,04 \times 10^3$
Formulação 1	Ausência/25g	Ausência/g	$3,16 \times 10^3$
Formulação 2	Ausência/25g	3,6	$6,7 \times 10^3$
*Padrão legislação	Ausência/25g	10×10^2	-

*Determinações preconizadas pela IN nº161 de 1º de julho de 2022.

A farinha da torta do tucumã apresentou ausência de coliformes totais (UFC/mL) e *Salmonella* sp em 25 g, e a presença de *Staphylococcus* (UFC/mL) em baixas quantidades, indicando boas práticas de manipulação. Quanto às formulações elaboradas a partir dela, ambas também apontaram ausência de *Salmonella* sp, entretanto a formulação 2 apresentou coliformes em sua composição, havendo estimativa de 3,6 UFC/mL, fator que pode ser explicado pelo fato de haver a inclusão de farinha da casca de tucumã em sua elaboração.

A manipulação das cascas adquiridas em feiras locais ocorre de forma manual e sem uso de luvas, touca e/ou máscaras, facilitando a exposição e contaminação higiênico-sanitárias da matéria-prima. De acordo com Cunha e Amichi (2014), a manipulação é tida como uma das principais vias de contaminação em alimentos, atreladas a hábitos inadequados de higiene pessoal e local, o que contribui para a disseminação de doenças transmitidas por alimentos (DTAs).

Além disso, a adição da casca elevou o número de *Staphylococcus* na formulação 2 ($6,7 \times 10^3$ UFC/mL) em comparação à formulação 1 ($3,16 \times 10^3$ UFC/mL). A IN nº 161/2022 não estabelece padrões deste microrganismo para proteínas vegetais texturizadas adicionadas de outros ingredientes. Esta bactéria pode ser transmitida pelo contato com indivíduos infectados ou superfícies e água contaminadas, causando intoxicações por toxinas que são resistentes aos tratamentos térmicos aplicados para eliminá-la (Léguillier *et al.*, 2024). Os resultados reforçam a necessidade de revisão dos procedimentos para controle de qualidade e segurança dos

alimentos desde a matéria-prima até a obtenção do produto final, visando o bem-estar e integridade física do consumidor.

CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo destacaram o potencial da proteína da torta de tucumã para implementação em análogos vegetais. A farinha da torta contém consideráveis teores de carboidratos e baixo teor de umidade em sua composição, o que pode favorecer a qualidade e vida de prateleira do subproduto.

O método de extração alcalina revelou as condições ideais para potencializar a obtenção da fração proteica, a qual resultou em teor de 52% de proteína e rendimentos favoráveis que podem ser aplicados em escala industrial. A importância de avaliar os parâmetros implementados na extração proteica visa reduzir o gasto de matéria-prima e uso de recursos naturais, como água e energia.

As propriedades tecnológicas da proteína destacaram-se positivamente no que tange os parâmetros de qualidade na produção de produtos análogos vegetais. A elevada capacidade de formação de espuma, gel, emulsão e absorção em água e óleo são desejáveis nas proteínas e conferem ao produto textura, maciez e suculência, além de facilitar a homogeneização do ingrediente proteico com outros ingredientes da formulação.

Apesar dos resultados promissores, observou-se limitação quanto à disponibilidade de aminoácidos essenciais, indicando a necessidade de complementação proteica e de estudos adicionais para otimização da qualidade nutricional da proteína. As proteínas vegetais frequentemente apresentam limitações relacionadas ao perfil e à disponibilidade de alguns aminoácidos essenciais quando comparadas a determinadas proteínas de origem animal.

As formulações dos hambúrgueres vegetais foram elaboradas com sucesso e se destacaram quanto aos teores proteicos, atingindo até 30% de proteína. A incorporação das farinhas da torta e da casca de tucumã influenciaram significativamente em seu alto valor funcional e nutricional, sendo alternativas viáveis para substituir produtos cárneos de origem animal.

Portanto, com bases nos resultados obtidos ao longo desse estudo, é possível constatar que o aproveitamento da amêndoa de tucumã para obtenção de ingredientes proteicos representa uma estratégia promissora para agregação de valor a subprodutos agroindustriais amazônicos, contribuindo simultaneamente para a inovação tecnológica, sustentabilidade e desenvolvimento de novos alimentos à base de plantas.

REFERÊNCIAS

- ABUBAKAR, A.; SAVITA, P. D.; YALLAPPA, M.; NIVETHA, N. & SUVARNA, V. C. Phytate solubilizing microorganisms and enzyme phytase to combat nutritional problems in cereal-based foods. **Jornal Of Bacteriology Mycology**, v. 4, cap. 3, p. 86-89, 2017.
- AKYÜZ, A.; TEKIN, I.; AKSOY, Z. & ERSUS, S. Plant Protein Resources, Novel Extraction and Precipitation Methods: A Review. **J Food Process Eng**, v. 47, n° 10, October 2024.
- ALFARO-DIAZ, A.; URÍAS-SILVAS, J. E.; LOARCA-PIÑA, G.; PRADO-RAMIREZ, R. & MOJICA, L. Techno-functional properties of thermally treated black bean protein concentrate generated through ultrafiltration process. **LWT**, v. 136, Part 1, January 2021.
- ALMEIDA, N. M. D.; DIAS, F. F. G.; RODRIGUES, M. I. & BELL, J. M. L. N. D. M. Effects of Processing Conditions on the Simultaneous Extraction and Distribution of Oil and Protein from Almond Flour. **Processes**, v. 7, n° 11, 2019.
- AL-RUWAIH, N.; AHMED, J.; MULLA, M. F. & ARFAT, Y. A. High-pressure assisted enzymatic proteolysis of kidney beans protein isolates and characterization of hydrolysates by functional, structural, rheological and antioxidant properties. **LWT**, v. 100, p. 231-236, February 2019.
- ALVES, E. D. S.; SILVA, L. A. D.; SAQUETI, B. H. F.; ARTILHA, C. A. F.; SILVA, D. D. M. B. D.; SOUSA, L. C. S. D.; SCAPIM, M. R. D. S. & VISENTAINER, J. V. Proteínas vegetais como alimentos funcionais - revisão. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n° 2, p. 5869-5879, 2020.
- ALVES, V. M.; AMORIM, K. A.; DA SILVA, L. G. M.; ASQUIERI, E. R.; ARAÚJO, E. D. S.; ALMEIDA-MURADIAN, L. B. D.; MELO, A. A. M. D. & DAMIANI, C. Chemical, nutritional, antinutritional, and technological characterization of Brazilian Tucumã-do-Amazonas fractions (*Astrocaryum aculeatum*). **Eur. Food Res. Technol.**, v. 251, p. 1755–1771, 2025.
- AMBIEL, C.; MATOS, K. & CASSELLI, R. Oportunidades e Desafios na Produção de Produtos Feitos de Plantas Análogos aos Produtos Animais. **The Good Food Institute Brasil**, p. 28, novembro 2021.
- AMBIEL, C. & PINHO, L. Estudo nutricional: análise comparativa entre produtos cárneos de origem animal e seus análogos vegetais. **The Good Food Institute Brasil**, São Paulo, p. 28, 2022.
- ANJUM, M.; KHAN, M.; KHALID, S.; ALI, N. & AL-HINAAI M. M. Global Outlook on the Meat Market and Alternatives: Plant-Based and Cultivated Meat Challenges, Developments, and Opportunities. **Curr. Res. Nutr Food Sci Jour.**, v. 14, n° 1, p. 86-116, 2026.
- AOAC – Association of Official Analytical Chemists International. **Official Methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemists**. 21st ed. Washington: AOAC, 2019.

ARAÚJO, M. L. L. M.; CERQUEIRA, Z. M. F. D.; MORORÓ, S. L. D. A.; CAMPOS, C. D. M. F.; SILVA, D. T. S. D.; SOARES, A. K. D. O.; NONATO, C. M. S. & MOREIRA-ARAÚJO, R. S. D. S. Análise da composição centesimal e do valor energético das farinhas obtidas a partir de amêndoas do cerrado. **Braz. J. of Develop.**, Curitiba, v. 6, n. 2, p. 8430-8438, feb. 2020.

ARNOLD, R. A; NOBLE, A. C. & SINGLETON, V. L. Bitterness and astringency of phenolic fractions in wine. **J. Agric. Food Chem.**, v. 28, p. 675–678, 1980.

AROGUNDADE, L. A.; MU, T-H.; DENG, F-M. ABEGUNDE, O. K. & SUN, M. J. Nutrition, gelation rheology and gel microstructure of isoelectric and ultrafiltered/diafiltered African yam bean (*Sphenostylis stenocarpa*) protein isolates. **LWT - Food Science and Technology**, v. 59, n° 2, p. 1018-1024, 2014.

AZEVEDO, G. T. D.; SOUZA, G. L. D.; LEONARSKI, E.; LOTAS, K. M.; SILVA, G. H. B. D.; BATISTA, F. R. M.; CESCO, K.; OLIVEIRA, D. D.; PEREIRA, A. M. & SOUZA, L. D. S. S. Valorization of Guarana (*Paullinia cupana*) Production Chain Waste—A Review of Possible Bioproducts. **Resources**, vol. 14, n° 6, p. 98, 2025.

BADJONA, A.; BRADSHAW, R.; MILLMAN, C.; HOWART, M. & DUBEY, B. Optimization of ultrasound-assisted extraction of faba bean protein isolate: Structural, functional, and thermal Properties: Part 2/2. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 110, November 2024.

BAOCHEN, P.; ZHICHENG, P.; CHEN, B. & RAO, J. Unconventional sources of vegetable proteins: technological properties. **Current Opinion in Food Science**, v. 57, June 2024.

BARAC, M. B.; PESIC, M. B.; STANOJEVIC, S. P.; KOSTIC, A. Z. & BIVOLAREVIC, V. Comparative study of the functional properties of three legume seed isolates: adzuki, pea and soy bean. **J. Food Sci Technol.**, v. 52, p. 2779–2787, 2015.

BARP, L.; VIŠNJEVEC, A. M. & MORET, S. Pressurized Liquid Extraction: A Powerful Tool to Implement Extraction and Purification of Food Contaminants. **Foods**, v. 12, n° 10, 2023.

BELÉM, C. D. C. E.S.; OLIVEIRA, B. R. F. D.; AZEVÊDO, H. D. C.; MEDIM, I. C.; BIELER, P. D.; MOURA, R. P. D. M.; BONATTO, E. C. S. & LAMARÃO, C. V. Produção e caracterização de novos produtos a partir da torta residual de Inajá (*Maximiliana maripa* (Aubl.) Drude). **Observatório de La Economia Latinoamericana**, Curitiba, v. 21, n°12, p. 26580-26600, 2023.

BENEVIDES, C. M. D. J.; SOUZA, M. V.; SOUZA, R. D. B. S. & LOPES, M. V. Fatores antinutricionais em alimentos: revisão. **Segurança Alimentar e Nutricional**, Campinas, v. 18, n° 2, p. 67-79, 2011.

BENVENUTTI, L.; TEIXEIRA, R. F. & ZIELINSKI, A. A. F. Macauba Kernel Byproduct as a Source of Plant-Based Ingredients: From Valorization by Integration of High-Pressure Extraction Steps to Product Design. **ACS Food Science & Technology**, vol. 5, n° 8, 2025.

BERNARDI, S.; LUPATINI-MENEGOTTO, A. L.; KALSCHNE, D. L.; FLORES, E. L. M.; BITTENCOURT, P. R. S.; COLLA, E. & CANAN, C. Ultrasound: a suitable technology to improve the extraction and techno-functional properties of vegetable food proteins. **Plant Foods Human Nutrition**, v. 76, p. 1–11, 2021.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada - RDC n° 711, de 1° de julho de 2022. Dispõe sobre os requisitos sanitários dos amidos, biscoitos,

cereais integrais, cereais processados, farelos, farinhas, farinhas integrais, massas alimentícias e pães. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 04 jul. 2022.

BRASIL. Instrução Normativa - IN nº 161, de 01/07/2022. Estabelece padrões microbiológicos para alimentos. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. **Diário Oficial da União**, nº 724, de 01 de julho de 2022.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Portaria SDA nº 724, de 23 de dezembro de 2022 - Aprova o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade do hambúrguer. Brasília (DF): **Diário Oficial da União**, 2023.

BRASIL. Resolução RDC nº 268, de 22 de setembro de 2005. Regulamento técnico para produtos proteicos de origem vegetal. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, Poder Executivo, de 23 de setembro de 2005.

BRASPAIBOON, S.; OSIRIPHUN, S.; SURAWANG, S.; JIRARATTANARANGSRI, W.; KANHA, N. & LAOKULDILOK, T. Ultrasound-assisted alkaline extraction of proteins in several algae and their nutritional characteristics. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 57, nº 9, p. 6143–6154, September 2022.

CABRAL, T. A.; BARREIRO, N. L.; FRANCO, D. G. C.; RAMOS, E. M.; BENEVENUTO JUNIOR, A. A. & FRANCO, F. S. C. Uso de mix de especiarias e farinha de linhaça em produto vegetal Burger com reduzido teor de sódio. **Scientia Plena** v. 21, nº 10, 2025.

CALDEIRA, R. F.; GOUVÊA, L. D. P.; AZEVEDO, T. D. L.; CONTE, C.; DE SÁ, D. D. G. C. F.; GALDEANO, M. C.; FELBERG, I.; LIMA, J. R. & MELLINGER, C. G. Processing parameters, techno-functional properties and potential food application of lentil protein concentrate as an ingredient for the plant-based Market. **Food Research International**, v. 189, August 2024.

CANO, A.; ANDRES, M.; CHIRALT, A. & GONZÁLEZ-MARTINEZ, C. Use of tannins to enhance the functional properties of protein-based films. **Food Hydrocolloids**, v. 100, 2020.

CARABIAS-MARTÍNEZ, R.; RODRÍGUEZ-GONZALO, E.; REVILLA-RUIZ, P. & HERNÁNDEZ-MÉNDEZ, J. Pressurized liquid extraction in the analysis of food and biological samples. **Journal of Chromatography A**, v. 1089, ed. 1-2, p. 1–17, 2005.

CARVALHO, D. D. S. M.; ALVES, A. F. & DA SILVA, C. L. Perdas e desperdício de alimentos no contexto da economia circular: o caso da ceasa de curitiba. **Revista Econômica Do Nordeste**, vol. 56, nº 3, p. 62–80, 2025.

CARVALHO, L. M.; LUZ, M. S.; FREIRE, L. S. & ROCHA, M. M. Influência do tratamento térmico frente aos compostos antinutricionais em feijão-caupi. **Nutrivisa**, v. 10, 2023.

CAVALCANTI, M. C.; BORA, P. S. & CARVAJAL, J. C. L. Propriedades funcionais das proteínas de amêndoas da faveleira (*Cnidosculus phyllacanthus* (Mart.) Pax. et K. Hoffm.) com e sem espinhos. **Food Science and Technology**, v. 29, nº 3, setembro, 2009.

CETINER, B. Pea-based bulgur: a nutrient-rich and high-protein plant-based food product. **J. Sci. Food Agric.**, v. 105, nº 8, p. 4549-4557, 2025.

CHANDRAN, A. S.; KASHYAP, P. & THAKUR, M. Effect of extraction methods on functional properties of plant proteins: A review. **eFood**, v. 5, n° 3, 2024.

CHAVES, F. A. D. L.; GUIMARÃES, L. L.; GUIMARÃES, C. C.; SOUZA, L. D. S. S. D. S. & PEREIRA, A. M. Farelo de Tucumã como alimento alternativo em dietas para frangos de corte de crescimento lento. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente – RAMA**, v. 17, n° 3, 2024.

CLEMENT, C. R.; LLERAS, E. & VAN LEEUWEN, J. O potencial das palmeiras tropicais no Brasil: acertos e fracassos das últimas décadas. **Revista Brasileira de Agrociências**, Pelotas, v. 9, n° 2, p. 67-71, 2005.

COSTA, L. C. R. C. D.; JESUS, R. O. D.; PEDREIRA, B. D. O. & SANTOS, T. F. D. Alimentos plant-based: inovação na indústria de alimentos. **Revista Científica Multidisciplinar – RECIMA**, v. 5, n° 3, 2024.

CZUBINSKI, J. & DWIECKI, K. A review of methods used for investigation of protein–phenolic compound interactions. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n° 3, p. 573–585, March 2017.

CUNHA, L. F., & AMICHI, K. R. Relação Entre a Ocorrência de Enteroparasitoses e Práticas de Higiene de Manipuladores de Alimentos: Revisão da Literatura. **Saúde e Pesquisa**, v. 7, n° 1, 2014.

DAGEVOS, H. Finding flexitarians: Current studies on meat eaters and meat reducers. **Trends in Food Science & Technology**, v. 114, p. 530 – 539, 2021.

DEKKERS, B. L.; BOOM, R. M.; VAN DER GOOT, A. J. Structuring Processes for Meat Analogues. **Trends Food Sci. Technol.**, v. 81, p. 25– 36, 2018.

DELEU, L. J.; LAMBRECHT, M. A.; VONDEL, J. V. D. & DELCOUR, J. A. The impact of alkaline conditions on storage proteins of cereals and pseudo-cereals. **Current Opinion in Food Science**, v. 25, p. 98-103, February 2019.

DHIMAN, A.; THAKUR, K.; PARMAR, V.; SHARMA, S.; SHARMA, R.; KAUR, G.; SINGH, B. & SUHAG, R. New insights into tailoring physicochemical and techno-functional properties of plant proteins using conventional and emerging Technologies. **Food Measure**, v. 17, p. 3845–3873, 2023.

DUFOURC, E. J. Wine tannins, saliva proteins and membrane lipids. **BBA - Biomembranes**, v. 1863, ed. 10, 2021.

ESEBERRI, I.; TREPIANA, J.; LÉNIZ, A.; GÓMEZ-GARCIA, I.; CARR-UGARTE, H.; GONZÁLEZ, M. & PORTILLO, M. P. Variability in the Beneficial Effects of Phenolic Compounds: A Review. **Nutrients**, v. 14, n° 9, 2022.

FANG, B. C.; PENG, Z.; CHEN, B. & RAO, J. Unconventional sources of vegetable proteins: technological properties. **Current Opinion in Food Science**, v. 57, June 2024.

FANG, N.; YU, S. & BADGER, T. M. Comprehensive Phytochemical Profile of Soy Protein Isolate. **J. Agric. Food Chem.**, v. 52, p. 4012–4020, 2004.

FILHO, J. R. V.; QUEIROZ, S. A. B. & LIMA, L. M. A utilização de resíduos da uva no desenvolvimento de novos produtos, no contexto da economia circular. **Revista de Iniciação científica da Libertas**, vol. 12, nº 1, 2024.

FREITAS, F. A. D.; MENDONÇA, I. R. S.; BARROS, S. D. S.; PESSOA JR, W. G. A.; SÁ, I. S. C.; GATO, L. B.; SILVA, E. P.; FARIAS, M. A. S.; NOBRE, F. X.; MAIA, P. J. S; IGLAUER, S. & ISLA, K. Y. Biodiesel production from tucumã (*Astrocaryum aculeatum* Meyer) almond oil applying the electrolytic paste of spent batteries as a catalyst. **Renewable Energy**, v. 191, p. 919-931, 2022.

FONSECA, J. D. D. O. & REIS, G. G. Análise swot do setor de proteínas alternativas plant-based: uma revisão sistemática. **Desafio Online**, Campo Grande, v. 13, nº 1, janeiro/abril, 2025.

FONSECA, J. D. D. O. Inovação na produção de proteínas alternativas plant-based. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, vol. 41, 2024.

FUTURE MARKET INSIGHTS. **Plant-Based Food Market Analysis - Size, Share, and Forecast 2026 to 2036**. 2026. Disponível em: <https://www.futuremarketinsights.com/reports/plant-based-food-market>. Acesso em: 15 fev. 2026.

GALDEANO, M. C. Tecnologias de Texturização de Proteínas Vegetais. Rio de Janeiro: **Embrapa Agroindústria de Alimentos**, 1ª edição, p. 26, 2022.

GAO, Z.; SHEN, P.; LAN, Y.; CUI, L.; OHM, J-B.; CHEN, B. & RAO, J. Effect of alkaline extraction pH on structure properties, solubility, and beany flavor of yellow pea protein isolate. **Food Research International**, v. 131, 2020.

GARCIA-AMEZQUITA, L. E.; TEJADA-ORTIGOZA, V.; SERNA-SALDIVAR, S. O. & WELTI-CHANES, J. Dietary Fiber Concentrates from Fruit and Vegetable By-products: Processing, Modification, and Application as Functional Ingredients. **Food Bioprocess Technol.**, v. 11, p. 1439–1463, 2018.

GARCIA, S. R.; ORELLANA-PALACIOS, J. C.; MCCLEMENTS, D. J.; MORENO, A. & HADIDI, M. Sustainable proteins from wine industrial by-product: Ultrasound-assisted extraction, fractionation, and characterization. **Food Chemistry**, v. 455, 15 October 2024.

GARRONI, N.; ANDRADE, R.; HADDAD, F.; TAVARES, T.; MAGALHÃES, K. & NUNES, C. Caracterização físico-química e tecnológica de bolos tipo cupcake incorporados com torta de amêndoa de jerivá e de macaúba. **Brazilian Journal of Food Research**, Campo Mourão, v. 12 nº 1, p. 1-13, jan./mar., 2021.

GAZAL, A. A.; BONNET, S.; SILALERTRUKSA, T. & GHEEWALA, S. H. Circular Economy Strategies for Agri-food Production - a Review. **Circular Economy and Sustainability**, vol. 5, p. 2467–2493, 2025.

GIBSON, R. S.; RABOY, V. & KING, J. C. Implications of phytate in plant-based foods for iron and zinc bioavailability, setting dietary requirements, and formulating programs and policies. **Nutrition Reviews**, v. 76, ed. 11, p. 793–804, November 2018.

GONZÁLEZ-GARCÍA, E.; MARINA, M. L. & GARCÍA, M. C. Impact of the use of pressurized liquids on the extraction and functionality of proteins and bioactives from brewer's spent grain. **Food Chemistry**, v. 359, 15 October 2021.

GOUVÊA, L. D. P.; CALDEIRA, R.; AZEVEDO, T. D. L.; GALDEANO, M. C.; FELBERG, I.; LIMA, J. R. & MELLINGER, C. G. Physical and techno-functional properties of a common bean protein concentrate compared to commercial legume ingredients for the plant-based market. **Food Hydrocolloids**, v. 137, April 2023.

GROSSMANN, L. & WEISS, J. Alternative Protein Sources as Technofunctional Food Ingredients. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 12, p. 93-117, 2021.

HADIDI, M.; AGHABABAEI, F. & McCLEMENTS, D. J. Enhanced alkaline extraction techniques for isolating and modifying plant-based proteins. **Food Hydrocolloids**, v. 145, December 2023.

HADIDI, M.; JAFARZADEH, S.; FOROUGH, M.; GARAVAND, F.; ALIZADEH, S.; SALEHABADI, A.; KHANEGHAH, A. M. & JAFARI, S. M. Plant protein-based food packaging films; recent advances in fabrication, characterization, and applications. **Trends in Food Science & Technology**, v. 120, p. 154-173, February 2022.

HADIDI, M.; TAN, C.; ASSADPOUR, E. & JAFARI, S. M. Oilseed meal proteins: From novel extraction methods to nanocarriers of bioactive compounds. **Food Chemistry**, v. 438, 16 April 2024.

HADINOTO, K.; LING, J. K-U.; PU, S. & TRAN, O-T. Effects of Alkaline Extraction pH on Amino Acid Compositions, Protein Secondary Structures, Thermal Stability, and Functionalities of Brewer's Spent Grain Proteins. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 25, n° 12, 6369, 2024.

HAGEN, S.R; FROST, B. & AUGUSTIN, J. Precolumn Phenylisothiocyanate Derivatization And Liquid-Chromatography of Amino-Acids in Food. **Journal of The Association of Official Analytical Chemists**, v. 72, n° 6, p. 912-916, Nov-Dec 1989.

HAMDANI, A. M. & WANI, I. A. Guar and Locust bean gum: Composition, total phenolic content, antioxidant and antinutritional characterisation. **Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre**, v. 11, n° 2, 2017.

HAMERSTRAND, G. E.; BLACK, L. T. & GLOVER, J. D. Trypsin Inhibitors in Soy Products: Modification of the Standard Analytical Procedure. **American Association of Cereal Chemists**, v. 58, p. 42 – 45, 1981.

HE, H.; ZHANG, P. & JI, J. Globular proteins as functional–mechanical materials: a multiscale perspective on design, processing, and applications. **Mater. Horiz.**, v. 12, p. 9893–9921, 2025.

HERNÁNDEZ-CORROTO, E.; PLAZA, M.; MARINA, M. L. & GARCÍA, M. C. Sustainable extraction of proteins and bioactive substances from pomegranate peel (*Punica granatum* L.) using pressurized liquids and deep eutectic solvents. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 60, March 2020.

HIAI, S.; OURA, H. & NAKAJIMA, T. Color reaction of some sapogenins and saponins with vanillin and sulfuric acid. **Planta Medica**, v. 29, n° 2, p. 116-122, 1976.

HIGASHIJIMA, N. S.; LUCCA, A.; REBIZZI, L. R. H. & REBIZZI, L. M. H. Fatores antinutricionais na alimentação humana. Campinas: **Segurança Alimentar Nutricional**, v. 27, p. 1-16, 2020.

HOU, F.; DING, W.; QU, W.; OLADEJO, A. O.; XIONG, F.; ZHANG, W.; HE, H. & MA, H. Alkali solution extraction of rice residue protein isolates: Influence of alkali concentration on protein functional, structural properties and lysinoalanine formation. **Food Chemistry**, v. 218, p. 207-215, 1 March 2017.

HOTA, S.; SHAMS, R.; DASH, K. K.; PAWASE, P. A.; MUKARRAM, S. A. & KOVACS, B. A comprehensive review on the potential role of irradiation technique on techno-functional properties of plant-based proteins. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 23, October 2025.

HUAMANÍ-PERALES, C.; VIDAURRE-RUIZ, J.; SALAS-VALERIO, W.; CABEZAS, D. M. & REPO-CARRASCO-VALÊNCIA, R. A review of techno-functional properties of legume proteins and their potential for development of new products. **Eur Food Res Technol**, v. 250, p. 2069–2092, 2024.

HUANG, K.; SHI, J.; LI, M.; SUN, R.; GUAN, W.; CAO, H.; GUAN, X. & ZHANG, Y. Intervention of microwave irradiation on structure and quality characteristics of quinoa protein aggregates. **Food Hydrocolloids**, v. 130, September 2022.

HUIS, A. V. Prospects of insects as food and feed. **Organic Agriculture**, v. 11, p. 301–308, 2021.

JUNIOR, R. M. C.; DOMINGUES, P. B. A.; AMBRÓSIO, R. D. O.; MARTINS, C. A. F.; SILVA, J. G. B. P. C. P. D. & PIERI, F. A. Brazilian Amazon Plants: An Overview of Chemical Composition and Biological Activity. In: RHODES, E. R. & NASER, H. **Natural Resources Management and Biological Sciences**, cap. 18, p. 386, 2020.

KAKADE, M. L.; RACKIS, J. J.; MCGHEE, J. E. & PUSKI, G. Determination of Trypsin Inhibitor Activity of Soy Products: A Collaborative Analysis of an Improved Procedure. **American Association of Cereal Chemists, Inc.** 51, p. 376 – 381, 1974.

KAUR, G. & BHATIA, S. Radish leaf protein concentrates: optimization of alkaline extraction for production and characterization of an alternative plant protein concentrate. **Food Measure**, v. 16, p. 3166–3181, 2022.

KAUR, M. & SINGH, N. Studies on functional, thermal and pasting properties of flours from different chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. **Food Chemistry**, v. 91, n° 3, p. 403-411, July 2005.

KIELING, A. C.; SANTANA, G. P.; SANTOS, M. C. D.; JAQTINON, H. D. C. C. & MONTEIRO, C. C. P. Cadeia do tucumã comercializado em Manaus-AM. **Scientia Amazonia**, v. 8, n° 2, 2019.

KONG, D.; CHEN, Q.; LIU, H.; LIU, Q.; SUN, F. & KONG, B. Effects of dual modification by ultrasound and succinylation on physicochemical, gel, rheological, and structural properties of soybean protein isolate: Focus on the degree of succinylation. **Food Research International**, v. 223, Part 1, January 2026.

KOYSUREN, B.; OZTOP, M. H. & MAZI, B. G. Sesame seed as an alternative plant protein source: A comprehensive physicochemical characterisation study for alkaline, salt and enzyme-assisted extracted samples. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 56, n° 11, p. 5471–5484, November 2021.

KUMAR, M.; TOMAR, M.; POTKULE, J.; REETU.; PUNIA, S.; DHAKANE-LAD, J.; SINGH, S.; DHUMAL, S.; PRADHAN, P. C.; BHUSHAN, B.; ANITHA, T.; ALAJIL, O.; ALHARIRI, A.; AMAROWICZ, R. & KENNEDY, J. F. Functional characterization of plant-based protein to determine its quality for food applications. **Food Hydrocolloids**, v. 123, February 2022.

KYRIAKOPOULOU, K.; KEPPLER, J. K. & GOOT, A. J. V. D. Functionality of Ingredients and Additives in Plant-Based Meat Analogues. **Foods**, v. 10, n° 3, 2021.

LAMY, E.; PINHEIRO, C.; RODRIGUES, L.; CAPELA-SILVA, F.; LOPES, O. S.; MOREIRA, P.; TAVARES, S. & GASPAR, R. Determinants of tannin-rich food and beverage consumption: oral perception vs. psychosocial aspects. In Tannins: **Biochemistry, Food Sources and Nutritional Properties**. NY: Nova Publishers, p. 29-58, 2016.

LAWAL, O. S. Functionality of African locust bean (*Parkia biglobossa*) protein isolate: effects of pH, ionic strength and various protein concentrations. **Food Chemistry**, v. 86, n° 3, p. 345-355, July 2004.

LEE, J. S.; OH, H.; CHOI, I.; YOON, C. S. & HAN, J. Physico-chemical characteristics of rice protein-based novel textured vegetable proteins as meat analogues produced by low-moisture extrusion cooking technology. **LWT**, v. 157, 1 March 2022.

LÉGUILLIER, V.; PINAMONTI, D.; CHANG, C-M.; GUNJAN; MUKHERJEE, R.; HIMANSHU; COSSETINI, A.; MANZANO, M.; ANBA-MONDOLONI, J.; MALET-VILLEMAGNE, J.; VIDIC, J. A review and meta-analysis of *Staphylococcus aureus* prevalence in foods. **The Microbe**, v. 4, September 2024.

LESSA, V. L.; OMURA, M. H.; PACHECO, S.; OLIVEIRA, E. B. D. & BARROS, F. G. R. D. Obtention and evaluation of physico-chemical and techno-functional properties of macauba (*Acrocomia aculeata*) kernel protein isolate. **Food Research International**, v. 161, November 2022.

LI, J.; YANG, X. Q.; SWALLAH, M. S.; FU, H. L.; JI, L.; MENG, X.; YU, W. & LYU, B. Soy protein isolate: an overview on foaming properties and air–liquid interface. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 57, n° 1, p. 188–200, January 2022.

LIMA, A. L. S. D.; LOBATO, B. & LEITE, D. Q. Elaboração de hambúrguer de castanha-do-brasil (*Bertholletia Excelsa*). **Braz. J. of Develop.**, Curitiba, v. 6, n° 4, p. 19189-19199, 2020.

LIMA, D. M.; SOBRINHO, A. P.; BITENCOURT, A. D. M.; ROBERTO, J. C. A. & ALMEIDA, V. D. S. A dificuldade de compra de produtos regionais com sazonalidade de

produção: Um estudo da cadeia de suprimentos do Tucumã na Amazônia. **Cuadernos de educación y desarrollo**, v.17, n° 8, p. 01-22, 2025.

LIMA, J. R. Caracterização físico-química e sensorial de hambúrguer vegetal elaborado à base de caju. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 32, n° 1, p. 191-195, jan./fev., 2008.

LIMA, J. R.; AZEVEDO, T. L.; GALDEANO, M. C.; FELBERG, I. & MELLINGER, C. G. Common bean processing to obtain a protein ingredient for the plant-based market. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 28, 2025.

LIU, C.; WANG, N.; LI, L.; WU, D.; WANG, L.; ZHANG, N. & YU, D. Effect of microwave plasma processing on the structure, physicochemical properties and functional properties of rice bran protein. **Food Hydrocolloids**, v. 160, Part 3, March 2025.

LIU, J. J.; GASMALLA, M. A. A.; LIA, P. & YANG, R. Enzyme-assisted extraction processing from oilseeds: Principle, processing and application. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 35, p. 184-193, June 2016.

LIU, Y.; SUN, J.; WEN, Z.; WANG, J.; ROOPESH, M. S. & PAN, D. Functionality enhancement of pea protein isolate through cold plasma modification for 3D printing application. **Food Research International**, v. 197, Part 1, December 2024.

LU, H.; YANG, S.; CHEN, J.; ZENG, S.; CHEN, H. & ZHENG, B. Ultrasound-assisted modification of lotus seed protein: Structural and functional enhancements. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 339, Part 1, January 2026.

LUCAS B., SOTELO A. Effect of different alkalies, temperature, and hydrolysis times on tryptophan determination of pure proteins and of foods. **Analytical biochemistry**, v. 109, p. 192-197, 1980.

MA, K. K.; GREIS, M. LU, J.; NOLDEN, A. A.; McCLEMENTES, D. J. & KINCHLA, A. J. Functional performance of plant proteins. **Foods**, v. 11, n° 4, 2022.

MACHADO, A. P. D. F.; NASCIMENTO, R. D. P. D.; ALVES, M. D. R.; REGUENGO, L. M. & JUNIOR, M. R. M. Brazilian tucumã-do-Amazonas (*Astrocaryum aculeatum*) and tucumã-do-Pará (*Astrocaryum vulgare*) fruits: bioactive composition, health benefits, and technological potential. **Food Research International**, v. 151, January 2022.

MAHALAXMI, S.; HIMASHREE, P.; MALINI, B. & SUNIL, C. K. Effect of microwave treatment on the structural and functional properties of proteins in lentil flour. **Food Chemistry Advances**, v. 1, October 2022.

MAKERI, M. U.; ABDULMANNAN, F.; ILOWEFAH, M. A.; CHIEMELA, C.; BALA, S. M. & MUHAMMAD, K. Comparative physico-chemical, functional and structural characteristics of winged bean (*Psophocarpus tetragonolobus* DC) and Soybean (*Glycine max.*) Protein isolates. **Food Measure**, v. 11, p. 835–846, 2017.

MALEFO, M. B.; MATHIBELA, E. O.; CRAMPTON, B. G. & MAKGOPA, M. E. Investigating the role of Bowman-Birk serine protease inhibitor in Arabidopsis plants under drought stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 149, p. 286-293, 2020.

MANZOOR, M. F.; WASEEM, M.; DIANA, T.; WANG, R.; AHMED, Z.; AHMED, I. A. M.; ALI, M. & AN-ZENG, X. Ultrasound-assisted modification to improve the red pepper seed protein isolate structural, functional, and antioxidant properties. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 309, Part 4, May 2025.

MARINACCI, A.; PEYRANO, F.; SCILINGO, A.; PIERMARIA, J. & SPERONI, F. Modification of techno-functional properties of plant proteins through combined calcium addition and high hydrostatic pressure: A review with emphasis on soybean and cowpea. **Sustainable Food Proteins**, v. 3, n° 2, 2025.

MARTÍNEZ, K. D.; GANESAN, V.; PILOSOFF, A. M. R. & HARTE, F. M. Effect of dynamic high-pressure treatment on the interfacial and foaming properties of soy protein isolate-hydroxypropylmethylcelluloses systems. **Food Hydrocolloids**, v. 25, n° 6, p. 1640-1645, August 2011.

MATILLA, P. H.; PIHLAVA, J.-M.; HELLSTRÖM, J.; NURMI, M.; EUROLA, M.; MÄKINEN, S.; JALAVA, T. & PIHLANTO, A. Contents of phytochemicals and antinutritional factors in commercial protein-rich plant products. **Food Quality and Safety**, v. 2, n° 4, p. 213–219, December 2018.

MATOS, K. A. N.; LIMA, D. P.; BARBOSA, A. P. P.; MERCADANTE, A. Z. & CHISTÉ, R. C. Peels of tucumã (*Astrocaryum vulgare*) and peach palm (*Bactris gasipaes*) are by-products classified as very high carotenoid sources. **Food Chemistry**, v. 272, p. 216-221, 2019.

MCCLEMENTS, D. J. Food emulsions: principles, practice, and techniques. **CRC Series in Contemporary Food Science**, 2nd ed., 2004.

MENEGOTTO, A. L. L.; SOUZA, L. E. D. S.; COLLA, L. M.; COSTA, J. A. V.; SEHN, E.; BITTENCOURT, P. R. S.; FLORES, É. L. D. M.; CANAN, C. & COLLA, E. Investigation of techno-functional and physicochemical properties of *Spirulina platensis* protein concentrate for food enrichment. **LWT - Food Science and Technology**, v. 114, November 2019.

MENEZES, A. J. E. A. D.; HOMMA, A. K. O.; OLIVEIRA, M. E. C. & MATOS, G. B. D. M. Exploração do óleo de Tucumã do Pará (*Astrocaryum vulgare* Mart.) na mesorregião da Ilha do Marajó - município de Soure – Pará. **Embrapa**, 2012.

MICHAL, S.; KANCHAN, S.; BHUSHETTE, P. & SONAWANE, S. K. Development of plant-based meat analogue. **Food Science and Applied Biotechnology**, v. 5, n° 1, p. 45-53, 2022.

MILLAR, K.; GALLAGHER, E.; BURKE, R.; MCCARTHY, S. & BARRY-RYAN, C. Proximate composition and anti-nutritional factors of fava-bean (*Vicia faba*), green-pea and yellow-pea (*Pisum sativum*) flour. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 82, September 2019.

MILLER, W. M. P.; CRUZ, F. G. G.; CHAGAS, E. O. D.; SILVA, A. F. & ASSANTE, R. T. Farinha do resíduo de tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart.) na alimentação de poedeiras. **Revista Acadêmica Ciência Agrária Ambiental**, Curitiba, v. 11, n° 1, p. 105-114, jan./mar. 2013.

MIRANDA, C. G.; SPERANZA, P.; KUROZAWA, L. E. & SATO, A. C. K. Lentil protein: impact of different extraction methods on structural and functional properties. **Heliyon**, v. 8, ed. 11, 2022.

MÍRON-MÉRIDA, V. A.; HERNÁNDEZ, C. S.; CHÁVEZ, A. R.; GARCÍA, J. C. O.; LÓPEZ, J. L. R. & HERNÁNDEZ, C. C. The Effect of Ultrasound on the Extraction and Functionality of Proteins from Duckweed (*Lemna minor*). **Molecules**, v. 29, n° 5, 2024.

MONTEIRO, J. M.; ALBUQUERQUE, U. P. D.; ARAÚJO, E. D. L. & AMORIM, E. L. C. D. Taninos: uma abordagem da química à ecologia. **Química Nova**, vol. 28. n° 5, 2005.

MOREIRA, D. B.; DIAS, T. D. J.; ROCHA, V. C. D. & CHAVES, A. C. T. A. Determinação do teor de cinzas em alimentos e sua relação com a saúde. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, São Paulo, v. 7, n° 10, outubro 2021.

MOREIRA, M. N. B.; VEIGA, C. R. P. D.; SU, Z.; REIS, G. G.; PASCUCI, L. M. & VEIGA, C. P. D. Social Media Analysis to Understand the Expected Benefits by Plant-Based Meat Alternatives Consumers. **Foods**, v. 10, n° 12, 2021.

MURRAY, B. S. Recent developments in food foams. **Current Opinion in Colloid & Interface Science**, v. 50, December 2020.

NASRABADI, M. K.; DOOST, A. S. & MEZZENGA, R. Modification approaches of plant-based proteins to improve their techno-functionality and use in food products. **Food Hydrocolloids**, v. 118, September 2021.

NATH, H.; SAMTIYA, M. & DHEWA, T. Beneficial attributes and adverse effects of major plant-based foods anti-nutrients on health: A review. **Human Nutrition & Metabolism**, v. 28, June 2022.

NAVARRO-VOZMEDIANO, P.; DALMAU, E.; BENEDITO, J. & GARCIA-PEREZ, J. V. High-power ultrasound pretreatment for enhanced protein extraction from lupin flour: Impact on yield, anti-technological and anti-nutritional factors, and techno-functional properties. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 114, March 2025.

NIDHINA, N. & MUTHUKUMAR, S. P. Antinutritional factors and functionality of protein-rich fractions of industrial guar meal as affected by heat processing. **Food Chemistry**, v. 173, p. 920-926, 2015.

O'GRADY, J. & SHANAHAM, E. Dietary Fiber and Gastrointestinal Disease: an Evolving Story. **Curr. Gastroenterol Rep.**, v. 20, n° 59, 2018.

OJO, M. A. Tannins in Foods: Nutritional Implications and Processing Effects of Hydrothermal Techniques on Underutilized Hard-to-Cook Legume Seeds-A Review. **Preventive Nutrition and Food Science**, v. 27, n° 1, p. 14-19, mar 2022.

OLATUNDE, O. O.; OWOLABI, I. O.; FADAIRO, O. S.; GHOSAL, A.; COKER, O. J.; SOLADOYE, O. P.; ALUKO, R. E. & BANDARA, N. Enzymatic Modification of Plant Proteins for Improved Functional and Bioactive Properties. **Food and Bioprocess Technology**, v. 16, p. 1216–1234, 2023.

OLENIKOVA, Y.; MAKSIMOVICH, S.; KHADZHIBAYEVA, I.; KHAMEDOVA, E.; ZHAKSYLYK, A. & ALYBAYEVA, A. Meat quality, safety, dietetics, environmental impact, and alternatives now and ten years ago: a critical review and perspective. **Food Production, Processing and Nutrition**, v. 7, n° 18, 2025.

OLIVEIRA, M. D. S. P. D.; OLIVEIRA, N. P. D.; ABREU, L. F. & PARACAMPO, N. E. N. P. *Astrocaryum aculeatum* e *A. vulgare*: Tucumã-do-amazonas e tucumã-do-pará. In: CORADIN, L.; CAMILLO, J.; VIEIRA, I. C. G. Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro: região Norte. Brasília, DF: **Embrapa Amazônia Oriental**, p. 161-180, 2022.

OCHOA-RIVAS, A.; NAVA-VALDEZ, Y.; SERNA-SALDÍVAR, S. O. & CHUCK-HERNÁNDEZ, C. Microwave and Ultrasound to Enhance Protein Extraction from Peanut Flour under Alkaline Conditions: Effects in Yield and Functional Properties of Protein Isolates. **Food Bioprocess Technol**, v. 10, p. 543–555, 2017.

OZDAL, T.; CAPANOGLU, E. & ALTAY, F. A review on protein–phenolic interactions and associated changes. **Food Research International**, v. 51, n° 2, p. 954-970, 2013.

PACHECO, M. T. B. & SADAHIRA, M. S. Série Tecnológica das Proteínas Alternativas: Proteínas vegetais (plant-based). São Paulo: Tiki Books: **The Good Food Institute Brasil**, E-Book: PDF, p. 51, 2022.

PARACAMPO, N. E. N. P.; ABREU, L. F.; MENDONÇA, J. T. C. D. & DE JESUS, S. C. A. Estimated shelf life of pupunha and tucumã flours. **Revista caderno pedagógico**, Curitiba, v. 22, n° 6, p. 01-19, 2025.

PEARSON, M. Tucumã (*Astrocaryum aculeatum*). **BioDiversity4All**, 2024. Disponível em: <https://www.biodiversity4all.org/observations/196705346>. Acesso em: 15/12/24.

PEDROSA, M. M.; VARELA, A.; DOMÍNGUEZ-TIMÓN, F.; TOVAR, A. C.; MORENO, H. M.; BORDERÍAS, A. J. & DÍAS, S. T. Comparison of Bioactive Compounds Content and Techno-Functional Properties of Pea and Bean Flours and their Protein Isolates. **Plant Foods Hum. Nutr.**, v. 75, p. 642–650, 2020.

PEREIRA, F. D. O.; MARTINS, I. R.; RIBEIRO, S. D. C. A.; SUZUKI, J. C. & JOELE, M. R. S. P. Métodos para redução e inativação de fatores antinutricionais em alimentos de origem vegetal: uma revisão. **Revista de Nutrição e Vigilância em Saúde**, v. 10, 2023.

PEREZ-VASQUEZ, A.; CARPENA, M.; BARCIELA, P.; CASSANI, L.; SIMAL-GANDARA, J.; PRIETO, M.A. Pressurized Liquid Extraction for the Recovery of Bioactive Compounds from Seaweeds for Food Industry Application: A Review. **Antioxidants**, v. 12, ed. 3, 2023.

PEROVIĆ, M. N.; JUGOVIĆ, Z. D. K. & ANTOV, M. G. Improved recovery of protein from soy grit by enzyme-assisted alkaline extraction. **Journal of Food Engineering**, v. 276, July 2020.

PETROSKI, W. & MINICH, D. M. Is There Such a Thing as “Anti-Nutrients”? A Narrative Review of Perceived Problematic Plant Compounds. **Nutrients**, v. 12, n° 2929, 2020.

PINHEIRO, B.; GOMES, C. & BALTAZAR, A. L. O fitato e a biodisponibilidade de ferro nas leguminosas. **Acta Portuguesa de Nutrição**, v. 22, 2020.

PINHEIRO, J. S.; MASSOLI, J. K. P.; NERES, L. L. F. G. & SILVA, H. S. D. Determinação do teor de oxalato em alimentos e a sua influência desse íon no organismo humano. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 15, 2021.

POLOTO, G.; MERHEB-DINI, C.; BAPTISTA, D. P.; GIGANTE, M. L. & MARFIL, P. H. M. Technological-functional features of chia, almond, pumpkin seed, soybean and pea proteins. **Semina: Ciênc. Agrar. Londrina**, v. 46, n° 3, p. 675-688, maio/jun., 2025.

PRIMOZIC, M.; DUCHEK, A.; NICKERSON, M. & GHOSH, S. Effect of lentil proteins isolate concentration on the formation, stability and rheological behavior of oil-in-water nanoemulsions. **Food Chemistry**, v. 237, p. 65-74, 15 December 2017.

QUEIROGA, V. D. P.; GIRÃO, E. G.; ARAÚJO, I. M. D. S.; GONDIM, T. M. D. S.; FREIRE, R. M. M. & VERAS, L. D. G. C. Composição centesimal de amêndoas de coco babaçu em quatro tempos de armazenamento. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 17, n° 2, p. 207-213, 2015.

RAFIQUE, H.; PENG, P.; HU, X.; SAEED, K.; KHALID, M. Z.; KHALID, W.; MORYA, S.; ALSULAMI, T.; MUGABI, R. & NAYIK, G. A. Ultrasound-assisted modification of oat protein isolates: Structural and functional enhancements. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 112, January 2025.

RAHIM, F. N. A.; IBADULLAH, W. Z. W.; SAARI, N.; BRISHTI, F. H.; MUSTAPHA, N. A.; AHMAD, N. & ARULRAJAH, B. The effect of alkaline extraction and drying techniques on the physicochemical, structural properties and functionality of rice bran protein concentrates. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 242, Part 3, 1 July 2023.

RAMOS, J. A. F.; COLARES, J. A.; SILVA, L. H. G.; MORENO, M. N.; MARINHO, N. M. V. & MARTIM, S. R. Physicochemical and microbiological analysis of tucumã (*Astrocaryum aculeatum* Meyer) pulp commercialized in fairs of the city of Manaus, Amazonas. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 15, 2021.

RIBEIRO, B.; LACCHINI, E.; BICALHO, K. U.; MERTENS, J.; ARENDT, P.; BOSSCHE, R. V.; CALEGARIO, G.; GRYFFROY, L.; CEULEMANS, E.; BUITINK, J.; GOOSSENS, A. & POLLIER, J. A Seed-Specific Regulator of Triterpene Saponin Biosynthesis in *Medicago truncatula*. **The Plant Cell**, v. 32, ed. 6, p. 2020–2042, June 2020.

RUBIO, N. R.; XIANG, N.; & KAPLAN, D. L. Plant-based and cell-based approaches to meat production. **Nat Commun**, v.11, n° 6276, 2020.

RUFINO, J. P. F.; CRUZ, F. G. G.; MILLER, W. P. M.; FEIJÓ, J. D. C. & CHAGAS, E. O. D. Análise econômica da inclusão de farinha do resíduo de tucumã (*Astrocaryum vulgare*, Mart) na alimentação de poedeiras comerciais. **Revista brasileira de saúde e produção animal**, v. 16, n° 1, Jan-Mar, 2015.

SÁ, A. G. A.; MORENO, Y. M. F. & CARCIOFI, B. A. M. Plant proteins as high-quality nutritional source for human diet. **Trends in Food Science & Technology**, v. 97, p. 170-184, march, 2020.

SAGRILLO, M. R.; GARCIA, L. F. M.; FILHO, O. C. D. S.; DUARTE, M. M. M. F.; RIBEIRO, E. E.; CADONÁ, F. C. & CRUZ, I. B. M. D. Tucumã fruit extracts (*Astrocaryum aculeatum* Meyer) decrease cytotoxic effects of hydrogen peroxide on human lymphocytes. **Food Chemistry**, v. 173, p. 741-748, 15 April 2015.

SAMTIYA, M.; ALUKO, R. E.; DHEWA, T. Plant Food Anti-Nutritional Factors and Their Reduction Strategies: An Overview. **Food Prod. Process. Nutr.**, v. 2, n° 1, p. 1– 14, 2020.

SANTOS, F. H.; OLIVEIRA, L. D. C.; MELO, D. D. S.; BAKALIS, S. & CRISTIANINI, M. Modification of protein concentrate from carioca bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by dynamic high-pressure technology: Structural and techno-functional properties. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 97, October 2024.

SARI, Y. W.; BRUINS, M. E. & SANDERS, J. P. M. Enzyme assisted protein extraction from rapeseed, soybean, and microalgae meals. **Industrial Crops and Products**, v. 43, p. 78-83, May 2013.

SEREJO, A. P. M.; OLIVEIRA, A. C. D. S. D.; COSTA, I. C.; NOGUEIRA, A. D. J. L.; LACERDA, H. D. C. C.; DIAS, A. A. S. & COUTINHO, D. F. Reaproveitamento de resíduos gerados pelas espécies *Persea americana* e *Theobroma grandiflorum*: Uma alternativa para sustentabilidade ambiental. **Research, Society and Development**, v. 10, n° 13, 2021.

SHA, L. & XIONG, Y. L. Comparative structural and emulsifying properties of ultrasound-treated pea (*Pisum sativum* L.) protein isolate and the legumin and vicilin fractions. **Food Research International**, v. 156, June 2022.

SHOKRI, S.; JAVANMARDI, F.; MOHAMMADI, M. & KHANEGHAH, A. M. Effects of ultrasound on the techno-functional properties of milk proteins: A systematic review. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 83, February 2022.

SHRESTHA, S.; HAG, L. V.; HARITOS, V. S. & DHITAL, S. Lupin proteins: Structure, isolation and application. **Trends in Food Science & Technology**, vol. 116, p. 928-939, 2021.

SILVA, A. J. B. D. S.; SEVALHO, E. D. S. & MIRANDA, I. P. D. A.; Potencial das palmeiras nativas da Amazônia Brasileira para a bioeconomia: análise em rede da produção científica e tecnológica. **Ciência Florestal**, v. 31, n° 2, 2021.

SILVA, A. M. M.; NOGUERA, N. H.; CARMO, A. S.; MALAGODI, S. S.; NETTO, F. M.; GIGANT, M. L. & SATO, A. C. K. Estudo de proteínas vegetais nacionais com potencial para aplicação em alimentos vegetais análogos: relatório científico. São Paulo: **The Good Food Institute Brasil**, p. 69, 2023.

SILVA, C. M.; FELBERG, I.; LIMA, J. R.; GOUVÊA, L. D. P.; GALDEANO, M. C.; CALDEIRA, R. F. & AZEVEDO, T. D. L. Guia para Caracterização Tecnológica-Funcional de Ingredientes Proteicos para o Mercado de Produtos de Origem Vegetal. **EMBRAPA Agroindústria de Alimentos**, Rio de Janeiro, 2022.

SILVA, L. D. J. D. S.; SCHNEIDER, S.; SANTOS, A. C. D.; MENEGHETTI, G. A.; PINHEIRO, J. O. C. & ALVES, R. B. D. S. A comercialização do tucumã (*Astrocaryum*

aculeatum) por extrativistas em comunidades ribeirinhas do Amazonas. **Sustainability in Debate**, Brasília, v. 15, n. 2, p. 80-102, ago/2024.

SILVA, L. H, RODRIGUES, A. C, AMANTE, E. R. & PINHEIRO, R. C. Caracterização química da amêndoa de frutos amazônicos e seu aproveitamento na elaboração de extratos. **SEMANTIC SCHOLAR**, v. 1, n. 2, 2014.

SILVA, L. R.; FIGUEIREDO, A. R. D.; MARQUES, J. M.; MORGADO, C. M. A.; OLIVEIRA, M. M. T. D.; FARIAS, T. R. B. & FREITAS, R. D. A. Potencial de utilização dos óleos fixos de tucumãs. **Nativa Sinop.**, v. 10, n. 1, p. 109-116, 2022.

SILVA, M. S; NAVES, M. M. V.; OLIVEIRA, R. B. D. & LEITE, O. D. S. M. Composição química e valor protéico do resíduo de soja em relação ao grão de soja. **Food Science Technology**, v. 26, n. 3. Set 2006.

SILVA, S. H. T.; SILVA, L. B.; EISNER, P. & BADER-MITTERMAIER, S. Production of Protein Concentrates from Macauba (*Acrocomia aculeata* and *Acrocomia totai*) Kernels by Sieve Fractionation. **Foods**, v. 11, n. 22, 2022.

SIM, S. Y. J.; SRV, A.; CHIANG, J. H.; HENRY, C. J. Plant Proteins for Future Foods: A Roadmap. **Foods**, v. 10, ed. 8, 2021.

SINGH, J. & ARORA, S. K. Antinutritional factors in plant based foods: A review. **International Journal of Agricultural Sciences**, v. 19, n. 1, p. 366-375, January 2023.

SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdicphosphotungstic acid reagents. **American journal of Enology and Viticulture**, v. 16, n. 3, p. 144-158, 1965.

SOO, M. H.; SAMAD, N. A.; ZAIDEL, D. N. A.; JUSOH, Y. M. M.; MUHAMAD, I. I. & HASHIM, Z. Extraction of Plant Based Protein from Moringa oleífera Leaves using Alkaline Extraction and Isoelectric Precipitation Method. **Chemical Engineering Transactions**, v. 89, p. 253-258, 2021.

SOUSA, H. M. D. S.; LEAL, G. F.; GUALBERTO, L. D. S.; FREITAS, B. C. B. D.; GUARDA, P. M.; BORGES, S. V.; MORAIS, R. A. & MARTINS, G. A. D. S. Exploration of the chemical characteristics and bioactive and antioxidant potential of tucumã (*Astrocaryum vulgare*), peach palm (*Bactris gasipaes*), and bacupari (*Garcinia gardneriana*) native Brazilian fruits. **Biomass Conversion and Biorefinery**, v. 15, p. 3251–3264, 2025.

SOUZA, M. L. & MENEZES, H. C. D. Processamentos de amêndoa e torta de castanha-do-Brasil e farinha de mandioca: parâmetros de qualidade. **Food Sci. Technol.**, v. 24, n. 1, Mar. 2004.

SUBASI, B. G.; FORGHANI, B. & ABDOLLAHI, M. Exploring Swedish pea varieties suitable for protein isolation, focusing on antinutrients and off-flavors. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 128, April 2024.

TADELE, Y. Important Anti-Nutritional Substances and Inherent Toxicants of Feeds. **Food Science and Quality Management**, v. 36, 2015.

TAKÁCS, K.; SZABÓ, E. E.; NAGY, A.; CSERHALMI, Z.; FALUSI, J. & GELENCSE, E. The effect of radiofrequency heat treatment on trypsin inhibitor activity and in vitro digestibility of soybean varieties (*Glycine max.* (L.) Merr.). **Journal of Food Science and Technology**, v. 59, p. 4436–4445, 2022.

TANG, Q.; ROOS, Y. H. & MIAO, C. Structure, gelation mechanism of plant proteins versus dairy proteins and evolving modification strategies. **Trends in Food Science & Technology**, v. 147, May 2024.

TANGER, C.; ENGEL, J. & KULOZIK, U. Influence of extraction conditions on the conformational alteration of pea protein extracted from pea flour. **Food Hydrocolloids**, v. 107, October, 2020.

TEIXEIRA, R. F.; ARAÚJO, T. R.; OLIVEIRA, D. E. & ZIELINSKI, A. A. F. Unveiling the potential of pressurized liquid extraction for recovering protein fractions from broken black beans: Insights into thermal and structural properties. **Food Hydrocolloids**, v. 149, April 2024.

TIWARI, B. K. Ultrasound: A clean, green extraction technology. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, v. 71, p. 100-109, September 2015.

TOKMAKOV, A. A.; KUROTANI, A. & SATO, K-I. Protein pI and Intracellular Localization. **Front. Mol. Biosci.**, v. 8, 28 November 2021.

TURKER, I. & ISLEROGLU, H. Ultrasound and enzymatic treatments to improve protein extraction from cress seeds, and the characterization of protein isolates. **Food Bioscience**, v. 60, August 2024.

UPADHYAY, S.; JEENA, G. S.; SHIKHA & SHUKLA, R. K. Recent advances in steroidal saponins biosynthesis and in vitro production. **Planta**, v. 248, p. 519–544, 2018.

UZUN, S. Structural and Functional Modifications of Hazelnut Proteins Induced by Atmospheric Cold Plasma. **Polymers**, v. 18, n° 3, 2026.

VALENZUELA, C.; ABUGOCH, L.; TAPIA, C. & GAMBOA, A. Effect of alkaline extraction on the structure of the protein of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) and its influence on film formation. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 48, p. 843–849, 2013.

VIDAURRE-RUIZ, J.; BENDER, D. & SCHONLECHNER, R. Exploiting pseudocereals as novel high protein grains. **Journal of Cereal Science**, v. 114, November 2023.

VIKRAM, N.; KATIYAR, S. K.; SINGH, C. B.; HUSAIN, R. & GANGWAR, L. K. A Review on Anti-Nutritional Factors. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 9, n° 5, 2020.

VILHELMOVA-ILIEVA, N.; GALABOV, A. S. & MILEVA, M. Tannins as Antiviral Agents. In: AIRES, A. Tannins - Structural Properties, Biological Properties and Current Knowledge. Rijeka: **InterchOpen**, chap. 3, 2019.

WANG, J.; ZHOU, X.; LI, J.; PAN, D. & DU, L. Enhancing the functionalities of chickpea protein isolate through a combined strategy with pH-shifting and cold plasma treatment. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 93, May 2024.

WANG, P.; WANG, Y.; DU, J.; HAN, C. & YU, D. Effect of cold plasma treatment of sunflower seed protein modification on its structural and functional properties and its mechanism. **Food Hydrocolloids**, v. 155, October 2024.

WANG, S.; XU, X.; WANG, S.; WANG, J. & PENG, W. Effects of Microwave Treatment on Structure, Functional Properties and Antioxidant Activities of Germinated Tartary Buckwheat Protein. **Foods**, v. 11, n° 10, 2022.

WEILACK, I.; MEHREN, L.; SCHIEBER, A. & WEBER, F. Grape-derived pectic polysaccharides alter the tannin and pigment composition of Cabernet Sauvignon red wines. **Current Research in Food Science**, v. 6, 2023.

WHITE, J. A.; HART, R. J. & FRY, J. C. An Evaluation of The Waters Pico-Tag System For The Amino-Acid-Analysis of Food Materials. **Journal of Automatic Chemistry**, v. 8, n° 4, p. 170-177, oct-dec, 1986.

WHO/FAO/UNU. Expert Consultation Protein and amino acid requirements in human nutrition. **World Health Organ Tech Rep Ser.**, n° 935, p. 1–265, 2007.

WITZEL, J. A.; GANTRIIS, R. F.; FRAGA, P. & PEREZ-CUETO, F. J. A. Plant-based food and protein trend from a business perspective: markets, consumers, and the challenges and opportunities in the future. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 61, n° 18, p. 3119-3128, 2020.

YANG, C.; LIU, W.; ZHU, X.; ZHANG, X.; WEI, Y.; HUANG, J.; YANG, F. & YANG, F. Ultrasound-assisted enzymatic digestion for efficient extraction of proteins from quinoa. **LWT**, v. 194, 15 February 2024.

YANG, J.; KORNET, R.; NTONE, E.; MEIJERS, M. G. J.; HOEK, I. A. F. V. D.; SAGIS, L. M. C.; VENEMA, P.; MEIDERS, M. B. J.; BERTON-CARABIN, C. C.; NIKIFORIDIS, C. V. & HINDERINK, E. B. A. Plant protein aggregates induced by extraction and fractionation processes: Impact on techno-functional properties. **Food Hydrocolloids**, v. 155, October 2024.

YANG, J. S.; DIAS, F. F. G. & BELL, J. M. L. N. D. M. Optimizing alkaline and enzymatic extraction of black bean proteins: a comparative study of kinetics, functionality, and nutritional properties. **Sustainable Food Technol.**, v. 3, p. 188-203, 2025.

YAO, S.; LI, W.; MARTIN, G. J. & ASHOKKUMAR, M. An Investigation into the Mechanism of Alkaline Extraction-Isoelectric Point Precipitation (AE-IEP) of High-Thiol Plant Proteins. **Appl. Sci.**, v. 13, n° 11, 2023.

YILDIZ, S.; KARABULUT, G. & SIÇRAMAZ, H. High-intensity ultrasound-assisted extraction for functionalized pistachio meal protein concentrate. **Journal of Food Science**, v. 90, n° 2, February 2025.

ZAYAS, J. F. Gelling Properties of Proteins. In: *Functionality of Proteins in Food*. **Springer**, chap. 6, p. 310-366, 1997.

ZHAO, X.; LIUB, X. & XUE, F. Effects of high-pressure homogenization treatment on physiochemical properties of novel plant proteins. **Applied Food Research**, v. 3, n° 1, June 2023.

ZHAO, Z-K.; UM, T. H.; ZHANG, M. & RICHEL, A. Effects of Sulfur-Containing Amino Acids and High Hydrostatic Pressure on Structure and Gelation Properties of Sweet Potato Protein. **Food Bioprocess Technol**, v. 12, p. 1863–1873, 2019.

ZHANG, C.; SANDERS, J. P. M. & BRUINS, M. E. Critical parameters in cost-effective alkaline extraction for high protein yield from leaves. **Biomass and Bioenergy**, v. 67, p. 466-472, August 2014.

ZHANG, X.; LIU, Z.; MA, X.; ZHENG, Y.; HU, H.; JIAO, B.; McCLEMENTS, D. J.; WANG, Q. & SHI, A. Interfacial and foaming properties of plant and microbial proteins: Comparison of structure-function behavior of different proteins. **Food Chemistry**, v. 463, Part 4, 15 January 2025.