



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS (UFG)
ESCOLA DE AGRONOMIA (EA)
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

TAINARA LEAL DE SOUSA

**Potencial dos Subprodutos do Fruto de Baru (*Dipteryx alata*
Vogel): Características Químicas, Tecnológicas, Potencial
Prebiótico e Desenvolvimento de Produtos Alimentícios Plant-
Based**

Goiânia
2025

**UFG**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE AGRONOMIA**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE
TESES****E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG**

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFMG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFMG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do material bibliográfico Dissertação Tese Outro*: _____

*No caso de mestrado/doutorado profissional, indique o formato do Trabalho de Conclusão de Curso, permitido no documento de área, correspondente ao programa de pós-graduação, orientado pela legislação vigente da CAPES.

Exemplos: Estudo de caso ou Revisão sistemática ou outros formatos.

2. Nome completo do autor

Tainara Leal de Sousa

3. Título do trabalho

POTENCIAL DOS SUBPRODUTOS DO FRUTO DE BARU (DIPTERYX ALATA VOGEL): CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS, TECNOLÓGICAS, POTENCIAL PREBIÓTICO E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS ALIMENTÍCIOS PLANT-BASED

4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO*

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

- a) consulta ao(à) autor(a) e ao(à) orientador(a);
- b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.

O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por Tainara Leal De Sousa, Discente, em 22/09/2025, às 10:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

30/11/2025, 21:17

SEI/UFMG - 5657189 - Termo de Ciência e de Autorização (TECA)



Documento assinado eletronicamente por **Mariana Buranelo Egea, Usuário Externo**, em 22/09/2025, às 13:55, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador 5657189 e o código CRC FA4A2760.

Referência: Processo nº 23070.049485/2025-78

SEI nº 5657189

TAINARA LEAL DE SOUSA

**Potencial dos Subprodutos do Fruto de Baru (*Dipteryx alata*
Vogel): Características Químicas, Tecnológicas, Potencial
Prebiótico e Desenvolvimento de Produtos Alimentícios Plant-
Based**

Tese apresentada à Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás (UFG), como requisito para a obtenção do título de Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Área de concentração: Ciência e Tecnologia de Alimentos

Orientador (a): Prof. Dra. Mariana Buranelo Egea

Co-orientadores: Dr. Josemar Gonçalves de Oliveira Filho

Goiânia

2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Sousa, Tainara Leal de
Potencial dos Subprodutos do Fruto de Baru (*Dipteryx alata* Vogel): Características Químicas, Tecnológicas, Potencial Prebiótico e Desenvolvimento de Produtos Alimentícios Plant-Based [manuscrito] / Tainara Leal de Sousa. - 2025.
CLXII, 162 f.

Orientador: Profa. Dra. Mariana Buranelo Egea; co-orientador Dr. Josemar Gonçalves de Oliveira Filho.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia (EA), Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Goiânia, 2025.
Bibliografia.

1. Bioma. 2. Propriedades Tecnofuncionais. 3. Proteínas Alternativas. 4. Sustentabilidade. 5. Saúde. I. Egea, Mariana Buranelo, orient. II. Título.

CDU 664



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS



ESCOLA DE AGRONOMIA

ATA DE DEFESA DE TESE

Ata Nº 48/2025 da sessão de Defesa de Tese, de Tainara Leal de Sousa, que confere o título de Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos, na área de concentração em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Aos dezoito dias do mês de setembro de dois mil e vinte e cinco, a partir das 13h30, por videoconferência, realizou-se a sessão pública de Defesa de Tese intitulada "POTENCIAL DOS SUBPRODUTOS DO FRUTO DE BARU (DIPTERYX ALATA VOGEL): CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS, TECNOLÓGICAS, POTENCIAL PREBIÓTICO E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS ALIMENTÍCIOS PLANT-BASED". Os trabalhos foram instalados pela Professora Doutora Mariana Buranelo Egea (IF Goiano), com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Professor Doutor Ailton Cesar Lemes (EQ/UFRJ), membro titular externo; Professor Doutor Bernardo Romão de Lima (FEPECS), membro titular externo; Professora Doutora Tatianne Ferreira de Oliveira (EA/UFMG), membro titular interno; e Professora Doutora Andrea Verónica Mahn Osses (USACH), membro titular externo. Durante a arguição os membros da banca não fizeram sugestão de alteração do título do trabalho. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Tese tendo sido a candidata aprovada pelos seus membros. Proclamados os resultados pela Professora Doutora Mariana Buranelo Egea, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, aos dezoito dias do mês de setembro de dois mil e vinte e cinco.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA

	Documento assinado eletronicamente por Mariana Buranelo Egea, Usuário Externo, em 22/09/2025, às 13:54, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020 .
	Documento assinado eletronicamente por Tatianne Ferreira De Oliveira, Professora do Magistério Superior, em 22/09/2025, às 15:10, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020 .
	Documento assinado eletronicamente por Ailton Cesar Lemes, Usuário Externo, em 22/09/2025, às 16:13, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020 .
	Documento assinado eletronicamente por Bernardo Romão de Lima, Usuário Externo, em 23/09/2025, às 19:56, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020 .



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador 5657188 e o código CRC 982B1188.

Referência: Processo nº 23070.049485/2025-78

SEI nº 5657188

DEDICATÓRIA

“Se você fizer do Altíssimo o seu abrigo, do Senhor o seu refúgio, nenhum mal o atingirá, desgraça alguma chegará à tua tenda. Porque a seus anjos Ele dará ordens a seu respeito, para que te protejam em todos os seus caminhos.”

Salmos 91:9-11

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pelo dom da vida, por me permitir viver essa grande experiência e me capacitar todos os dias.

À minha família, especialmente aos meus pais, Delvani e Gilmar, por sempre me apoiarem e estarem ao meu lado, me dando forças. Amo vocês. À minha irmã Natália, meus sobrinhos Maria Thereza, João Eduardo, ao meu cunhado, minhas tias Celi e Regina, e a todos os familiares e amigos, obrigada por compreenderem minha ausência nesses anos de dedicação e aprendizado.

Aos meus anjos, minha vovó Daura e meu afilhado Pedro Lucas, que se estivessem entre nós, teriam muito orgulho de toda a minha trajetória.

À minha orientadora, Mariana Buranelo Egea, primeiramente por ter aceitado me orientar e por enfrentar as dificuldades que surgiram, que não foram poucas. Obrigada pela paciência em compreender minhas dificuldades, por toda orientação na realização do trabalho, por ser um grande exemplo de profissional e por confiar em mim mais do que eu mesma.

Gostaria de agradecer ao meu coorientador, Dr. Josemar Gonçalves de Oliveira Filho, pelo apoio e pelos conhecimentos compartilhados ao longo desta jornada, não foi apenas um mestre, mas também um amigo, que, com compreensão, sabedoria, guiou meu caminho e me ajudou a superar os desafios. Obrigada por sua presença e orientação, que foram fundamentais para o meu crescimento acadêmico e pessoal.

Aos meus amigos de vida, da infância, da adolescência e da vida adulta Marjorie, Daiane Peres, Jessyca Pinheiro, Jordana Leão, Oscar, Richard: obrigada por serem abrigo, apoio e constante presença. A amizade de vocês é um pilar em minha vida, fonte de força e carinho nos momentos difíceis e de celebração nas conquistas.

E aos que a vida acadêmica me trouxe da UFG (docs, sinceronas), do IFGoiano do LABBIO e agora do LABIN Isabelly, Daiane Santos, Ana Carolina de Jesus, Camilla Rodrigues, Daniele Lima, Ariadne, Larissa Pastina, Samuel, Adrielle, Jenifer, Dannielly, Barbara Nadine, Micael Almeida: obrigada por compartilharem comigo as indecisões, as frustrações e também os momentos de alívio e esperança, tornando a caminhada mais leve e significativa.

Agradeço profundamente por estarem ao meu lado, por compreenderem minhas ausências e, acima de tudo, por me apoiarem e me acalmarem nos dias de angústia. Obrigada por cada gesto de carinho, por cada palavra de incentivo. Cada um de vocês é

essencial para que essa trajetória seja mais suportável e, acima de tudo, repleta de crescimento, afeto e aprendizado.

À Universidade Federal de Goiás, ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos e ao Instituto Federal Goiano pelo auxílio e pelas contribuições para a minha formação acadêmica e profissional. A todos os funcionários e discentes que, no dia a dia, tornaram a jornada menos árdua, pelas palavras de carinho e incentivo, e por acompanharem parte do meu projeto.

À Universidad de Santiago de Chile e ao Laboratório de Biotecnologia de Alimentos, agradeço pela acolhida e pela oportunidade de realizar parte da minha pesquisa, especialmente aos colegas Victor e Fernando, sempre atenciosos e generosos, e à professora Dra. Andrea Mahn, coordenadora do laboratório, por sua orientação e confiança.

Aos amigos que a experiência de intercâmbio no Chile me proporcionou Kennedy, Vinicius Luna, Andresa Costola, Layna, Danilo Atila, Richard e Brenner Müller e minha família de fé da Parroquia Italiana y Latinoamericana meu sincero agradecimento por terem sido abrigo e afeto nos dias de saudade. Em meio às incertezas e ao sentimento de ausência, vocês foram presença, apoio e alegria, tornando essa vivência mais leve e inesquecível.

Ao CNPq, à CAPES, à GFI Brasil e à FAPEG, agradeço pelo suporte financeiro, que tornou possível a realização desta pesquisa. O apoio dessas instituições foi e continua sendo fundamental para o desenvolvimento e continuidade deste trabalho.

Finalmente, gostaria de agradecer aos excelentes exemplos de pesquisadores e professores que tive o prazer de encontrar nessa jornada. A experiência de vocês me ajudou a crescer e contribuiu para minha formação acadêmica, científica e didática.

A todos, minha sincera gratidão.

RESUMO

Mudanças globais, como avanços industriais e crises econômicas, desafiam o sistema alimentar a encontrar novas fontes nutritivas. O baru, fruto nativo do Cerrado, destaca-se por seu alto valor nutricional e tecnofuncional, oferecendo novos ingredientes alimentícios e promovendo a sustentabilidade. As proteínas vegetais, como as do baru, são valorizadas por suas propriedades nutricionais e funcionais, sendo alternativas viáveis para produtos inovadores e saudáveis e contribuem para a criação de alimentos acessíveis e com boas propriedades tecnológicas. Este trabalho tem como objetivo avaliar as propriedades físico-químicas, bioativas e tecnológicas da cadeia integral do baru, incluindo epicarpo, mesocarpo, endocarpo, amêndoa, farinha de baru, com o objetivo de explorar essas matérias-primas como fontes potenciais de nutrientes e compostos bioativos. Além disso, o óleo de baru será estudado para ser utilizado com fonte de gordura em formulações de hambúrgueres vegetais com diferentes concentrações de subprodutos do baru e avaliar suas propriedades nutricionais, desenvolvendo uma tabela nutricional do hambúrguer vegetal com base nas informações de rotulagem dos ingredientes utilizados no processo de desenvolvimento das formulações e avaliar o rendimento de cozimento, redução de diâmetro e de espessura e cor para caracterização do produto. Os resultados indicaram que o farelo de baru apresentou alto teor de proteína (33,09 g/100 g), os menores índices aterogênicos e trombogênicos (0,09 e 0,10, respectivamente) e a maior capacidade antioxidante nos ensaios DPPH, ABTS e FRAP. Além disso, o farelo de baru apresentou altos teores de potássio (14,05 g/100 g), magnésio (2,20 g/100 g) e ferro (61,80 g/100 g). O mesocarpo se destacou pelo maior teor de fenólicos totais (157,48 mg GAE/100 g) e maior solubilidade em água (63,90 g/g). A farinha de amêndoa de baru apresentou os melhores resultados para capacidade de absorção de água (3,62 g/g), capacidade de absorção de óleo (3,28 g/g), atividade emulsificante (71,94%), estabilidade da emulsão (87,69%) e capacidade de formação de espuma (8,17%). Em termos de atividade prebiótica, o endocarpo fermentado por *Lactobacillus acidophilus* (0,76 log UFC/mL) e o mesocarpo fermentado por *Bifidobacterium animalis* (0,62 log UFC/mL) apresentaram os melhores resultados. Para o desenvolvimento dos hambúrgueres os resultados encontrados para a descrição da tabela nutricional indicaram que a F6 (40% FTB + 40% FPIME) apresentou teores de proteínas (12,87 g/80 g), fibra alimentar (13,79 g/80 g), e baixo teor de gordura (5,44 g/80g). A formulação F4 apresentou uma menor perda de cozimento 7,36%, redução de diâmetro de 0,78% e uma redução de espessura de 0,87 %. Em relação à análise de cor, as formulações F3, F5, F6, F7, F8 e F10 que contêm maior teor de subprodutos de baru em suas composições, apresentaram valores de a^* variando de 9,11 a 9,33 indicando que esses hambúrgueres vegetais tendem a ter uma coloração mais avermelhada-marrom.

Palavra-chave: Bioma, Propriedades tecnofuncionais, Proteínas alternativas, Sustentabilidade, Saúde.

ABSTRACT

Global changes, such as industrial advances and economic crises, challenge the food system to find new nutritional sources. Baru, a native fruit of the Cerrado, stands out for its high nutritional and technofunctional value, offering new food ingredients and promoting sustainability by reducing waste. Vegetable proteins, such as those from baru, are valued for their nutritional and functional properties, making them viable alternatives for innovative and healthy products. They also contribute to the creation of affordable foods with good technological properties. This study aims to evaluate the physicochemical, bioactive, and technological properties of the entire baru chain, including the epicarp, mesocarp, endocarp, almond, and baru flour. The goal is to explore these raw materials as potential sources of nutrients and bioactive compounds. Additionally, baru oil will be studied for use as a fat source in 10 formulations of vegetable analogues, with different concentrations of baru by-products, to evaluate its nutritional properties. A nutritional table for the vegetable burger will be developed based on the labeling information of the ingredients used in the formulation process, and the cooking yield, diameter and thickness reduction, and color will be evaluated for product characterization. The results indicated that baru bran had a high protein content (33.09 g/100 g), the lowest atherogenic and thrombogenic indices (0.09 and 0.10, respectively), and the highest antioxidant capacity in the DPPH, ABTS, and FRAP tests. Furthermore, baru bran had high levels of potassium (14.05 g/100 g), magnesium (2.20 g/100 g), and iron (61.80 mg/100 g). The mesocarp stood out for its higher total phenolic content (157.48 mg GAE/100 g) and greater water solubility (63.90 g/g). Baru almond flour showed the best results for water absorption capacity (3.62 g/g), oil absorption capacity (3.28 g/g), emulsifying activity (71.94%), emulsion stability (87.69%), and foaming capacity (8.17%). In terms of prebiotic activity, the endocarp fermented by *Lactobacillus acidophilus* (0.76 log CFU/mL) and the mesocarp fermented by *Bifidobacterium animalis* (0.62 log CFU/mL) showed the best results. For the development of the analogues, the results from the nutritional table indicated that F6 (40% FTB + 40% FPIME) presented protein content (12.87 g/80 g), dietary fiber (13.79 g/80 g), and low fat content (5.44 g/80 g). Formulation F4 had a lower cooking loss of 7.36%, a diameter reduction of 0.78%, and a thickness reduction of 0.87%. Regarding the color analysis, formulations F3, F5, F6, F7, F8, and F10, which contain a higher content of baru by-products, presented a values ranging from 9.11 to 9.33, indicating that these vegetable burgers tend to have a more reddish-brown color.

Keywords: Biome, Technofunctional properties, Alternative proteins, Sustainability, Health.

LISTA DE FIGURAS

Capítulo II

Figura 1. Árvore de baru (A), frutos (B) e amêndoas (C) utilizados para caracterização biométrica a fim de avaliar a composição nutricional, compostos bioativos, propriedades tecnológicas e potencial prebiótico. Fonte: os autores. ----- 38

Figura 2. Compostos fenólicos totais (A) e atividade antioxidante por DPPH (B), FRAP (C) e ABTS (D) das frações do fruto do baru (*Dipteryx alata Vog.*), sendo amêndoa de baru (AB), farelo de baru (FB), epicarpo (EPI), mesocarpo (MES) e endocarpo (END). Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). ----- 49

Figura 3. Varredura do espectro de infravermelho das frações do fruto do baru (*Dipteryx alata Vog.*), sendo amêndoa de baru (AB), farelo de baru (FB), epicarpo (EPI), mesocarpo (MES) e endocarpo (END)----- 50

Figura 4. Atividade prebiótica (log UFC/mL) avaliada após 0 e 48 h de fermentação das frações do fruto do baru (*Dipteryx alata Vog.*), sendo amêndoa de baru (AB), farelo de baru (FB), epicarpo (EPI), mesocarpo (MES) e endocarpo (END) com *Lactobacillus acidophilus* (A) e *Bifidobacterium animalis* (B). Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). ----- 54

Capítulo III

Figura 1. Compostos fenólicos totais (A) e atividade antioxidante por DPPH (B), FRAP (C) das frações do fruto de baru (*Dipteryx alata Vog.*), sendo amêndoa de baru (BA), farelo de baru (BB), epicarpo (EPI), mesocarpo (MES), farinha de epicarpo e mesocarpo (PIME) e endocarpo (END). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). ----- 86

Figura 2. Compostos fenólicos (A) Ácido Gálico (B), Ácido Clorogênico (C), Rutina (D) Siringaldeído (Ácido Sinápico) das frações do fruto do baru (*Dipteryx alata Vog.*), sendo amêndoa de baru (AB), farelo de baru (FB), epicarpo (EPI), mesocarpo (MES), epicarpo e

mesocarpo (PIME) e endocarpo (END). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). ----- 93

Capítulo IV

Figura 1. Perfil de digestibilidade e bioacessibilidade in vitro dos compostos fenólicos (Ácido Gálico, Ácido Sinápico, Ácido Clorogênico e Rutina) em diferentes frações do baru, Epicarpo (EPI), Mesocarpo (MES), Endocarpo (ENDO), Mesocarpo + Epicarpo (PIME), Amêndoa de Baru (AB) e Farelo de Baru (FB). Os resultados são apresentados para a Amostra sem digestão (A) Fase Oral (B), Fase Gástrica (C) e Fase Intestinal (D) da digestão simulada. Valores expressos em mg eq/100 g base seca (bs). ----- 118

Capítulo V

Figura 1. Gráfico de contorno de carboidratos (A), açúcares totais (B), proteínas (C), lipídios totais (D) e lipídios saturados (E), fibras alimentares (F), valor energético (G) e sódio (H) nas formulações de hambúrgueres plant-based contendo grão-de-bico (GB), farelo de baru (FB) e epicarpo+mesocarpo (PIME).----- 133

LISTA DE TABELAS

Capítulo I

Tabela 1 - Produtos formulados a partir do fruto de baru (mesocarpo, endocarpo, epicarpo e semente) e suas características físico-químicas e tecnológicas----- 18

Capítulo II

Tabela 1. Composição centesimal e de ácidos graxos das frações do fruto do baru (*Dipteryx alata* Vog.), incluindo amêndoa de baru (AB), farelo de baru (FB), epicarpo (EPI), mesocarpo (MES) e endocarpo (END). ----- 44

Tabela 2. Composição mineral e sua porcentagem de contribuição para a ingestão diária recomendada (IDR calculada em uma porção de 20 g) das frações do fruto do baru (*Dipteryx alata* Vog.), incluindo amêndoa de baru (AB), farelo de baru (FB), epicarpo (EPI), mesocarpo (MES) e endocarpo (END). ----- 47

Tabela 3. Capacidade de absorção de água (CAA), solubilidade em água (SA), capacidade de absorção de óleo (CAO), atividade emulsificante (AE), estabilidade da emulsão (EE) e capacidade de formação de espuma (CFE) das frações do fruto do baru (*Dipteryx alata* Vog.), sendo amêndoa de baru (AB), farelo de baru (FB), epicarpo (EPI), mesocarpo (MES) e endocarpo (END). ----- 51

Capítulo III

Tabela 1. Composição proximal e de ácidos graxos das frações do fruto do baru (*Dipteryx alata* Vog.), incluindo frações do fruto de baru (*Dipteryx alata* Vog.), sendo amêndoa de baru (BA), farelo de baru (BB), epicarpo (EPI), mesocarpo (MES), farinha de epicarpo e mesocarpo (PIME) e endocarpo (END). ----- 75

Tabela 2. Composição mineral do fruto de baru (*Dipteryx alata* Vog.) sendo amêndoa de baru (BA), farelo de baru (BB), epicarpo (EPI), mesocarpo (MES), farinha de epicarpo e mesocarpo (PIME) e endocarpo (END) e sua contribuição percentual para a ingestão diária recomendada (IDR calculada em uma porção de 20 g). ----- 82

Tabela 3. Propriedades tecnofuncionais do fruto de baru (*Dipteryx alata Vog.*) sendo das frações do fruto do baru (*Dipteryx alata Vog.*), incluindo frações do fruto de baru (*Dipteryx alata Vog.*), sendo amêndoa de baru (BA), farelo de baru (BB), epicarpo (EPI), mesocarpo (MES), farinha de epicarpo e mesocarpo (PIME) e endocarpo (END). ----- 88

Tabela 4. Compostos fenólicos detectados no extrato aquoso por HPLC – DAD do fruto de baru (*Dipteryx alata Vog.*) sendo amêndoa de baru (BA), farelo de baru (BB), epicarpo (EPI), mesocarpo (MES), farinha de epicarpo e mesocarpo (PIME) e endocarpo (END). ----- 91

Capítulo IV

Tabela 1. Perfil fenólico sem digestão *in vitro* simulada no extrato aquoso por HPLC – DAD do fruto de baru (*Dipteryx alata Vog.*) sendo amêndoa de baru (AB), farelo de baru (FB), epicarpo (EPI), mesocarpo (MES), farinha de epicarpo e mesocarpo (PIME) e endocarpo (END). ----- 112

Tabela 2. Perfil fenólico da digestão *in vitro* simulada da fase oral no extrato aquoso por HPLC – DAD do fruto de baru (*Dipteryx alata Vog.*) sendo amêndoa de baru (AB), farelo de baru (FB), epicarpo (EPI), mesocarpo (MES), farinha de epicarpo e mesocarpo (PIME) e endocarpo (END). ----- 113

Tabela 3. Perfil fenólico da digestão *in vitro* simulada da fase gástrica no extrato aquoso por HPLC – DAD do fruto de baru (*Dipteryx alata Vog.*) sendo amêndoa de baru (AB), farelo de baru (FB), epicarpo (EPI), mesocarpo (MES), farinha de epicarpo e mesocarpo (PIME) e endocarpo (END). ----- 114

Tabela 4. Perfil fenólico da digestão *in vitro* simulada da fase intestinal no extrato aquoso por HPLC – DAD do fruto de baru (*Dipteryx alata Vog.*) sendo amêndoa de baru (AB), farelo de baru (FB), epicarpo (EPI), mesocarpo (MES), farinha de epicarpo e mesocarpo (PIME) e endocarpo (END). ----- 116

Capítulo V

Tabela 1 – Variáveis codificadas, decodificadas e resposta (valor nutricional) das formulações de plant based burger contendo grão de bico (CP), farelo de baru (FB) e epicarpo+mesocarpo(PIME) -----128

Tabela 2. Modelagem matemática das variáveis de resposta estudadas nas formulações de hambúrgueres plant-based contendo grão-de-bico (GB), farelo de baru (FB) e epicarpo+mesocarpo (PIME)----- 132

Tabela 3. Propriedades tecnológicas das formulações de hambúrgueres plant-based contendo grão-de-bico (GB), farelo de baru (FB) e epicarpo+mesocarpo (PIME)----- 136

Tabela 4. Parâmetros colorimétricos das formulações de hambúrgueres plant-based contendo grão-de-bico (GB), farelo de baru (FB) e epicarpo+mesocarpo (PIME)----- 138

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Amêndoa de baru (AB).

Atividade Emulsificante (AE)

Cálcio (Ca)

Capacidade de Absorção de Água (CAA)

Capacidade de Absorção de Óleo (CAO)

Capacidade de Formação de Espuma (CFE)

Cobre (Cu)

Endocarpo (END)

Enxofre (S)

Epicarpo (EPI)

Equivalente de Ácido Gálico (EAG)

Estabilidade da Emulsão (EE)

Farinha de baru (FB)

Ferro (Fe)

Fósforo (P)

Magnésio (Mg)

Manganês (Mn)

Mesocarpo (MES)

Potássio (K)

Solubilidade em Água (SA)

Zinco (Zn)

SUMÁRIO

CAPÍTULO I -----	12
INTRODUÇÃO -----	12
REVISÃO DE LITERATURA -----	14
1. Introdução -----	16
2. Aplicação e substituição do fruto baru em produtos alimentícios -----	17
3. Baru como fonte alternativa de proteínas para alimentos do futuro -----	26
4. Considerações finais -----	29
REFERÊNCIAS -----	29
CAPÍTULO II -----	34
ARTIGO 1: Unraveling the Potential of Baru (Dipteryx alata Vog.) Fruit Fractions as a Sustainable Food Ingredient: Chemical and Technological Characteristics and Prebiotic Potential -----	34
1. Introduction -----	36
2. Materials and Methods -----	37
2.1. Plant Material and Physical Evaluations -----	37
2.2. Characterization of By-Products and Baru Almonds -----	38
2.2.1. Proximate Composition -----	38
2.2.2. Bioactive Compounds and Antioxidant Activity -----	39
2.2.3. Infrared Spectroscopy -----	40
2.3. Technological Properties of Different Ingredients -----	40
2.4. In Vitro Prebiotic Potential -----	42

2.4.1. Microorganisms and Cultivation Conditions -----	42
2.4.2. Preparation of Bacterial Culture Medium -----	42
2.4.3. Enumeration of Viable Probiotic Cells -----	42
2.4.4. Prebiotic Activity Score (PAS) -----	43
2.5. Statistical Analysis -----	43
3. Results and Discussion -----	43
3.1. Biometry Properties and Proximal, Fatty Acids, and Mineral Composition -----	43
3.2. Bioactive Compounds and Antioxidant Activity -----	48
3.3. Infrared Spectroscopy -----	49
3.4. Technological Characterization -----	50
3.5. Prebiotic Potential -----	53
4. Conclusions -----	55
References -----	56
CAPÍTULO III -----	64
ARTIGO 2: Aproveitamento Integral do Baru (Dipteryx alata Vog.): Potencial Nutricional e Tecnológico das Frações não Convencionais e a Sinergia de Compostos Bioativos para Aplicações Funcionais -----	64
1. Introdução -----	66
2. Material e métodos -----	67
2.1 Material Vegetal e Preparação de Amostras -----	67
2.2. Caracterização da farinha dos subprodutos e da Amêndoa do baru -----	68
2.2.1. Composição nutricional -----	68
2.3. Propriedades tecnofuncionais -----	70
2.4 Compostos bioativos e atividade antioxidante -----	71

2.4.1 Extrato das frações do baru -----	71
2.4.2 Conteúdo fenólico total (CFT) -----	71
2.4.3 Capacidade de Redução de Íons Férricos (FRAP) -----	71
2.4.4 Capacidade de Eliminação de Radicais Livres (DPPH) -----	72
2.5 Análise de compostos fenólicos dos subprodutos e da amêndoa de baru -----	72
2.5.1 Obtenção dos Extratos -----	72
2.5.2. Quantificação HPLC-DAD -----	72
2.6 Análise Estatística -----	73
3. Resultados e Discussão -----	73
3.1. Composição nutricional -----	73
3.2. Compostos Bioativos e Atividade Antioxidante -----	83
3.3. Caracterização Tecnofuncional -----	85
3.4 Análise de compostos fenólicos dos subprodutos e da amêndoa de baru -----	89
4. Conclusão -----	92
Referências -----	94
CAPÍTULO IV -----	102
ARTIGO 3: Digestão gastrointestinal in vitro da farinha da amêndoa de baru e dos subprodutos (<i>Dipteryx alata</i> Vog.) avaliação de compostos fenólicos por HPLC-DAD -----	102
1. Introdução -----	105
2. Material e métodos -----	106
2.1 Material Vegetal e Preparação de Amostras -----	106
2.2 Digestão gastrointestinal in vitro -----	106
2.2.1. Fase oral -----	107

2.2.2. Fase gástrica -----	107
2.2.3. Fase intestinal -----	107
2.3 Análise de compostos fenólicos dos subprodutos e da amêndoa de baru -----	107
2.3.1 Obtenção dos Extratos -----	108
2.3.2. Quantificação HPLC-DAD -----	108
2.4 Análise Estatística -----	108
3. Resultados e Discussão -----	108
4. Conclusão -----	117
Referências -----	118
CAPÍTULO V -----	121
Artigo 4: Baruburger, a plant-based choice produced with by-product: nutritional value and technological characteristics -----	121
1. Introduction -----	123
2. Materials and methods -----	124
2.1 Raw material acquisition -----	124
2.2 Baruburger preparation -----	124
2.3 Nutritional value of burgers -----	126
2.4 Technological Properties -----	126
2.5 Statistical Analysis -----	127
3 Results and discussion -----	128
3.1 Nutritional value of burgers -----	128
3.2 Technological Properties -----	133
4. Conclusions -----	136
References -----	136

1. INTRODUÇÃO

O Cerrado é responsável por 5% da biodiversidade global e é reconhecido como um dos biomas de savana mais biodiversos do mundo (NUNES et al., 2024). O fruto do baru, proveniente da espécie *Dipteryx alata* Vog., é típico dessa região e tem despertado grande interesse devido à sua importância nutricional, socioeconômica e ambiental e correlação com o movimento global de valorização da biodiversidade (MONTEIRO et al., 2022; MONTEIRO et al., 2025).

A amêndoa de baru, considerada a parte comestível e comercialmente valiosa do fruto, é geralmente consumida *in natura* ou usada para extração de óleo, além da amêndoa outros subprodutos como epicarpo, mesocarpo, endocarpo e farelo de baru também apresentam propriedades nutricionais, tecnológicas, compostos fenólicos, alta capacidade antioxidante e elevados teores de potássio, magnésio e ferro, com grande potencial para o desenvolvimento de novos produtos. (SOUSA et al., 2024).

Ao valorizar a amêndoa e os subprodutos do baru, não apenas o impacto ambiental é minimizado, mas também se cria uma oportunidade única para o desenvolvimento de produtos de alto valor agregado, beneficiando tanto as comunidades locais quanto o mercado em geral, além disso, essa valorização oferece uma oportunidade significativa para desenvolver produtos que favoreçam as comunidades locais tanto econômica quanto socialmente (MIRANDA et al., 2025).

Preocupações sobre o consumo de alimentos de origem animal devido aos seus supostos efeitos negativos sobre o meio ambiente e a saúde humana deram origem a um interesse crescente em substituir pelo menos uma proporção da proteína alimentar de origem animal por aquela de origem vegetal (GIVENS, 2024). A ingestão adequada de proteínas na dieta diária é importante para manter e promover a saúde humana, atualmente, as proteínas de origem animal estão sendo cada vez mais substituídas por proteínas de outras fontes, especialmente plantas, devido à sua contribuição para as emissões de gases de efeito estufa, uso da terra e da água e poluição ambiental (LIU et al., 2025).

As proteínas vegetais são tradicionalmente utilizadas na preparação de produtos alimentícios tanto pelo seu valor nutricional quanto pelas suas propriedades funcionais e texturais (ACEVEDO-CORREA et al., 2025). A funcionalidade das proteínas vegetais é uma característica indispensável para sua aplicação, assim como o equilíbrio de aminoácidos e a ausência de fatores antinutricionais, além de sua disponibilidade e custo (KUMAR et al., 2021).

O uso de farinhas vegetais como fonte de proteína pode constituir uma alternativa viável para produzir formulações alimentares inovadoras, acessíveis e saudáveis de acordo com seu alto teor de proteína e constituintes não proteicos como principalmente a gordura, fibra e amido conferindo propriedades tecnológicas interessantes aos produtos finais (BADIA-OLMOS et al., 2023). Alimentos de origem vegetal são uma alternativa sustentável e atendem à maioria da população que possui problemas de saúde que restringem sua dieta, bem como aqueles que buscam análogos para produtos de origem animal ou aderem a estilos de vida vegetarianos ou veganos (GOMES; COSTA; SALOMÃO, 2024).

Neste contexto, o objetivo do presente trabalho é avaliar as propriedades físico-químicas, bioativas e tecnológicas da cadeia integral do baru, incluindo epicarpo, mesocarpo, endocarpo, amêndoa, farinha de baru, com o objetivo de explorar essas matérias-primas como fontes potenciais de nutrientes e compostos bioativos. Além disso, o óleo de baru será estudado para ser utilizado com fonte de gordura na formulação de hambúrgueres vegetais, buscando substituir ingredientes de origem animal, promovendo alternativas alimentares e mais sustentáveis.

REFERÊNCIAS

- ACEVEDO-CORREA, D.; RODRIGUEZ-MEZA, J.; MOLINARES-BRITO, C.; MONTERO-CASTILLO, P.; ALCÁZAR-OROZCO, H. Evaluation of the effect of sesame (*Sesamum Indicum L.*) protein isolates on the bromatological, textural, and microstructural properties of fresh cheese. **Applied Food Research**, [S.L.], v. 5, n. 1, p. 1-8, jun. 2025. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.afres.2025.100691>.
- BADIA-OLMOS, C.; LAGUNA, L.; HAROS, C. M.; TÁRREGA, A. Techno-Functional and Rheological Properties of Alternative Plant-Based Flours. **Foods**, [S.L.], v. 12, n. 7, p. 1-15, 26 mar. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/foods12071411>.
- GIVENS, D.I. Animal board invited review: dietary transition from animal to plant-derived foods. **Animal**, [S.L.], v. 18, n. 9, p. 1-18, set. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.animal.2024.101263>.
- GOMES, A. S.; COSTA, K. S.; SALOMÃO, B. C. M. Antagonism and survival of probiotics encapsulated in functional yogurt-like fermented vegetable beverage. **Food Bioscience**, [S.L.], v. 61, p. 1-8, out. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104728>.
- KUMAR, M., POTKULE, J., PATIL, S., MAGESHWARAN, V., RADHA, SATANKAR, V., BERWAL, M. K.; MAHAPATRA, A.; SAXENA, S.; ASHTAPUTRE, N. (2021). Evaluation of detoxified cottonseed protein isolate for application as food supplement. *Toxin Reviews*, 41, 412–419. <https://doi.org/10.1080/15569543.2021.1889605>
- LIU, D.; VAN ESBROECK, T.; JANSSEN, A. E.M.; SCHOLTEN, E.; SMEETS, P. A. M.; STIEGER, M. Influence of structural properties of textured vegetable proteins on in vitro gastric digestion kinetics of plant-based meat analogue patties. **Food Hydrocolloids**, [S.L.], v. 162, p. 1-11, maio 2025. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.111011>.
- MIRANDA, B. M.; TOVAR, B. C. A.; OTERO, D. M.; SILVA, F. A.; SCALIZE, P. S.; OLIVEIRA, T. F.. By-products of Baru and Monguba: a review of their potential. **Food And Humanity**, [S.L.], v. 4, p. 1-10, maio 2025. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foohum.2024.100477>.
- MONTEIRO, G. M., CARVALHO, E. E. N., BOAS, E. V. B. V. (2022). Baru (*Dipteryx alata* Vog.): Fruit or almond? A review on applicability in food science and technology. **Food**

Chemistry Advances, 1(August), Article 100103. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2022.100103>

MONTEIRO, G. M.; CARVALHO, E. E.N.; LAGO, R. C.; SILVA, L. G. M.; SOUZA, Lorrane R.; COSTA, C. A. R.; BOAS, E. V. B. V. Compositional analysis of baru (*Dipteryx alata* Vogel) pulp highlighting its industrial potential. **Food Research International**, [S.L.], v. 201, p. 1-10, fev. 2025. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2024.115548>.

NUNES, B. V.; SILVA, V. D. M.; RAMOS, A. L. C. C; COELHO, T.; MELO, A. C.; FERREIRA, R. M. S. B.; AUGUSTI, R; LUCENA, R. F. P.; MELO, J. O. F.; ARAÚJO, R. L. B.. Investigating the Chemical Profile of Underexplored Parts of *Dipteryx alata* (Baru) Using the PS–MS Technique. **Plants**, [S.L.], v. 13, n. 13, p. 1-13, 3 jul. 2024. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/plants13131833>.

POLMANN, G.; BADIA, V.; DANIELSKI, R.; FERREIRA, S. R. S.; BLOCK, J. M. Non-conventional nuts: an overview of reported composition and bioactivity and new approaches for its consumption and valorization of co-products. **Future Foods**, [S.L.], v. 4, p. 1-13, dez. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100099>.

SOUSA, T. L.; OLIVEIRA FILHO, J. G.; CABASSA, I. C. C., LEMES, A.C.; EGEEA, M. B. Unraveling the Potential of Baru (*Dipteryx alata* Vog.) Fruit Fractions as a Sustainable Food Ingredient: chemical and technological characteristics and prebiotic potential. **Sustainability**, [S.L.], v. 16, n. 24, p. 1-18, 14 dez. 2024. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su162410976>.

CAPÍTULO I

ARTIGO 1

DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS ALIMENTÍCIOS UTILIZANDO AMÊNDOA E RESÍDUOS DE BARU (*Dipteryx alata* Vog.)

Capítulo de livro publicado na Editora FURG, disponível em:

<https://repositorio.furg.br/handle/123456789/11473>

Tainara Leal de Sousa

Josemar Gonçalves de Oliveira Filho

Sibele Santos Fernandes

Mariana Buranelo Egea

Desenvolvimento de Produtos Alimentícios Utilizando Amêndoa e Resíduos de Baru (*Dipteryx alata* Vog.)

Resumo

O impacto da alimentação na qualidade de vida tem incentivado a busca por alimentos alternativos com melhor qualidade nutricional. Associado a isso, a utilização de frutas nativas com potencial nutricional e tecnológico contribui para o desenvolvimento de novos produtos. O baru (*Dipteryx alata* Vog.) é uma fruta nativa brasileira composta por uma casca fina, uma polpa fibrosa e um endocarpo lenhoso, que reveste a amêndoa coberta por uma película. O fruto do baru como um todo, amêndoa e os seus coprodutos (casca e polpa), além de trazer valor comercial, são ricos nutricionalmente. Esses produtos apresentam teores elevados de proteínas, lipídios, fibras alimentares e compostos bioativos, os quais podem agregar benefícios na substituição de matérias-primas e no desenvolvimento de novos produtos alimentícios ocasionando diversos benefícios nutricionais à saúde. Diante disso, este capítulo faz uma revisão geral dos atributos nutricionais e tecnológicos dos componentes do fruto do baru (amêndoa, torta de baru, casca e polpa) e o potencial de uso das diferentes frações e partes do fruto do baru em produtos alimentícios.

Palavra-chave: Alimentos; Compostos bioativos; Fruta Nativa; Resíduos.

1 Introdução

O Cerrado, também conhecido como savana tropical, é um hotspot de biodiversidade global, possui áreas que apresentam altas concentrações de espécies endêmicas e que vem sofrendo uma perda de habitat extremamente relevante (LIMA et al., 2022). Considerada uma área prioritária para conservação, devido à sua rica diversidade biológica, o bioma Cerrado é considerado uma das áreas mais importantes do mundo. Dentre as frutíferas do Cerrado, destaca-se o baru (*Dipteryx alata* Vog.), pois tanto a polpa (mesocarpo) quanto a amêndoa (semente) são comestíveis (FERREIRA et al., 2020).

Os frutos e amêndoas do Cerrado brasileiro possuem alto valor nutricional (cerca de 30% de proteínas e 40% de lipídios) e atributos sensoriais que sugerem grande potencial tecnológico para o desenvolvimento de produtos na indústria alimentícia (GONÇALVES et al., 2020). Novas ideias de produtos derivam do rastreamento de tendências globais que se aplicam a cada região, com fabricantes combinando inovação e tradição no desenvolvimento (DABIJA, CODINÂ, ROPCIUC, e STROE, 2019). Nesse contexto, o fruto do baru tem grande importância econômica e ambiental para o Brasil, e apresenta a seguinte composição estrutural média: 41,9% de polpa (epicarpo e mesocarpo), 53,8% de endocarpo lenhoso e 4,3% de semente (MARTINS et al., 2017).

O endocarpo abriga uma amêndoa dura, denominada noz de baru, que representa 5% do rendimento em relação ao fruto inteiro e, atualmente, é a parte que têm valor comercial (FERREIRA et al., 2020). A casca e a polpa do baru são coprodutos sólidos desperdiçados no processamento (ALVES-SANTOS, FERNANDES e NAVES, 2021).

A polpa e a amêndoa são partes comestíveis e aproveitar a cadeia integral do baru é de grande importância. O óleo de amêndoa é nutricionalmente rico e possui ampla aplicabilidade industrial alimentícia e farmacêutica, tendo como coproduto a farinha parcialmente desengordurada, que é conhecida como torta de baru e que normalmente é descartada (VIEIRA et al., 2016). Esta matéria-prima provavelmente retém nutrientes e compostos bioativos presentes nas amêndoas, e poderia ser utilizada em sobremesas, panificados e em outros produtos da indústria alimentícia, agregando valor nutricional e sendo fundamental para a sustentabilidade da cadeia produtiva do baru (PINELI et al., 2015).

Considerando que o consumo do baru ainda não está totalmente difundido entre os seres humanos, é possível perceber a necessidade de sua maior utilização, principalmente devido às suas propriedades nutricionais e tecnológicas. Este capítulo aborda as matérias-primas oriundas

do processamento do baru que podem ser utilizadas na produção de diversos produtos alimentícios

2 Aplicação e substituição do fruto baru em produtos alimentícios

O fruto do baru como um todo (amêndoa e resíduos) tem um grande potencial a ser explorado e transformado pela indústria alimentícia em diversos produtos de valor agregado, aumentando as propriedades nutricionais, tecnológicas e sensoriais destes produtos (ALVESSANTOS et al., 2021). A Tabela 5.1 apresenta diferentes produtos desenvolvidos com o baru, suas propriedades físico-químicas e principais características ou modificações causadas pela incorporação das diversas partes do fruto.

Várias alternativas têm sido propostas na tentativa de se aumentar o consumo de fibras, vitaminas e minerais pela população brasileira, dentre elas a elaboração de novos produtos alimentícios (CAREZZATO, 2015). Como demonstrado pela Tabela 5.1, muitas opções foram relatadas na literatura para a inclusão da amêndoa de baru e de seus coprodutos como barra de cereal, paçoca, sorvete, frozen, cupcakes, biscoito, pão de forma, macarrão e bebidas fermentadas.

A amêndoa de baru, que é considerada como parte comestível, tem sabor de amendoim e têm sido utilizada como ingrediente em barras de cereais, granola e produtos de panificação (POLMANN et al., 2021). Com o intuito de realizar o aproveitamento dessas amêndoas, Lima et al. (2021) desenvolveram uma barra nutritiva utilizando coprodutos da amêndoa de baru e avaliaram a qualidade tecnológica e o perfil sensorial da barra produzida. Realizando a caracterização físico-química destas barras com formulações contendo amêndoa de baru, os autores encontraram resultados positivos como um menor teor de lipídios (41,7 g/100 g) e maior teor de proteína (24,2 g/100 g). Além disso, as barras contendo baru apresentaram maior teor de proteína do que as barras comerciais e duas vezes mais do que as barras de proteína (2–15 g/100 g). Para as análises tecnológicas realizadas, a firmeza (textura instrumental) foi a maior nas barras contendo 100 % de amêndoa de baru (217,9 N), o que corrobora com o alto conteúdo proteico, que pode ser um fator determinante para a formação de rede de gel mais forte que torna o produto mais firme. Em relação à análise sensorial, a barra contendo 100% de amêndoa de baru, alcançou o maior índice de aceitabilidade para odor, cor e percepção global (71, 73 e 72%, respectivamente) (LIMA et al., 2021).

Tabela 1 - Produtos formulados a partir do fruto de baru (mesocarpo, endocarpo, epicarpo e semente) e suas características físico-químicas e tecnológicas

Produtos	Formulação	Resultados	Referência
Barras de cereal	86% de amêndoa de baru, 1,98% de lecitina de girassol e 2,97% de óleo de castanha do Brasil	Aumentou no teor de proteína (24,27 g); diminuição no teor de lipídios (41,69 g); maior firmeza (217,9 N) comparado a formulação contendo 100% de castanha do brasil com teor de proteína (17,92 g); teor de lipídios (61,03 g); menor firmeza (57,17 N) castanha do brasil. Aceitação sensorial de 71% odor, 73% cor e 72% percepção global.	LIMA et al., (2021)
Barras de cereais formuladas com polpa e amêndoa de baru	5 a 10% polpa de baru e 14% amêndoa de baru torrada	Dentro dos padrões microbiológicos para alimentos de acordo com a legislação. Boa aceitação global (sabor, aroma e textura), com valores médios (7,07 a 7,61). Alto teor de fibras alimentares (aproximadamente 15 g/ 100 g) e teor de proteína (10,64 g/100 g) comparado a barra de cereais comercias (6,5 g/100g).	LIMA et al., (2010)

Paçoca	Amêndoas de baru torradas (concentração de 25, 50 e 75%),	A concentração de 75% reduziu o teor de lipídios (17,8 g/100g), o valor energético total (387,1 kcal/100g) e a aceitação global (6,4) e aumentou a concentração de fibras (9,9 g/100g) comparado a amostra controle sem amêndoas de baru com (19,4 g/100g) lipídios, o valor energético total (420,9 kcal/100g) e teor de fibras (5,0 g/100g). Aceitação sensorial maior nas paçocas com 25%, aceitação global.	SANTOS et al., (2012)
Sorvete com amêndoa de baru	2% de amêndoa de baru	90% de aceitação sensorial e aumentou no teor de lipídios (3,06 g/100 g), proteínas (2,56 g/100g) e de fibras (0,31 g/100g) comparado a amostra controle sem baru com teor de lipídios (1,99 g/100 g), proteínas (1,76 g/100g) e sem teor fibras.	PINHO et al., (2015)
<i>Frozen yogurt</i> com castanhas de baru	9,80% castanhas de baru	Bom teor de proteínas (4,9 g /100 g) e (12,3 g /100 g) de carboidratos e lipídeos comparado ao sorvete comercial; Rico em compostos bioativos com valores de 122,3 g EAG /100 g de compostos fenólicos	ARELHANO et al., (2019)

		<p>totais, 269,9 mg EAT / 100 g de taninos e 177,7 (g / 100 g DPPH);</p> <p>Aceitação sensorial de 70%, 74% intenção de compra, 89,2% cor, 84% aroma e 85,2% textura</p>	
Cupcakes	30% farinha de castanha de baru	<p>A F2 (30%) de baru, obteve uma boa avaliação sensorial com 7,4 de aparência, 7,6 de aroma, 7,7 de sabores, 7,7 de textura, 7,7 de impressões geral e 4,1 de intenção de compra.</p>	PAGLARINI et al., (2018)
Biscoito	25, 50, 75 ou 100% farinha de baru parcialmente desengordurada	<p>Formulação com 100% farinha de baru obteve os melhores resultados de 86,1 (mg EAG/100 g) de fenólicos totais, 15,4 (mg EQ/100 g) de flavonoides totais e 37,3 (mg EC/100 g) de taninos condensados.</p> <p>Aceitação sensorial da formulação de biscoitos na proporção de 25 g/100 g com a média de 5,6 aceitação geral, 5,2 aparências, 5,5 sabores e 5,7 texturas.</p>	PINELI et al., (2015)
Pão de forma integral do baru	25, 50, 75 e 100% com casca e polpa do baru	<p>Com o aumento da proporção da casca e polpa do baru na formulação em diferentes</p>	ROCHA e CARDOSO SANTIAGO (2009).

		proporções foram obtidos na aceitabilidade sensorial valores de 7,0 quanto a aparência, textura e sabor. Redução do valor energético e aumento de 58,2%.	
Macarrão com farinha de polpa de baru	10-20% farinha de polpa de baru	Análises microbiológicas estão dentro parâmetros estabelecidos pela legislação. Teste sensorial de aceitação valores médios entre (5 e 6). F2 (20%) alto teor de fibra alimentar total de (14,5%) e menor teor de carboidratos (61,9%)	ANTUNES et al., (2021)
Biscoitos com torta de baru e óleo de baru	7,5% torta de baru e 12,5% de óleo de baru	Aumento no teor de fibra alimentar (3,7 g/100 g), de minerais como fósforo (197,9 mg /100 g) e ferro (21,5 mg/100 g), teores compostos de fenólicos totais (25 mg EAG /100 g comparado ao biscoito de aveia (3,0 g/100 g) fibra alimentar, de minerais como fósforo (148,4 mg /100 g) e ferro (10,5 mg/100 g), teores compostos de fenólicos totais (13,6 mg EAG /100 g).	CAETANO et al., (2017)

Bebidas fermentadas processadas com extrato hidrossolúvel de amêndoa de baru	Extrato hidrossolúvel de amêndoa de baru, probiótico (<i>Lactobacillus casei</i>) e prebióticos (inulina e oligofrutose e polidextrose).	A adição de cultura probiótica e prebiótica quando comparada com a formulação controle, apenas com extrato hidrossolúvel, não obteve diferença significativa para proteína, lipídios, cinzas e cor.	FERNANDES et al., (2021)
--	--	---	--------------------------

Equivalentes Acido Gálico (EAG); equivalentes de ácido tânico (EAT); 2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH); Equivalente de Quercetina (EQ); Equivalente de Catequina (EC).

Fonte: O autor.

Com o intuito de avaliar a qualidade microbiológica, aceitabilidade e as características nutricionais de barras de cereais formuladas com polpa e amêndoa de baru, Lima et al. (2010) preparam formulações de barras de cereais com proporção fixa de 14 % de amêndoa de baru torrada em substituição às nozes (castanha-de-caju, castanha-do-pará e amêndoas) e às frutas secas (banana-passa e uva-passa), habitualmente utilizadas em barras de cereais. Neste produto, o farelo de aveia também foi substituído por proporções crescentes de polpa de baru (5% e 10%). Os autores demonstraram que todas as formulações estudadas estavam de acordo com os padrões microbiológicos para alimentos e alcançaram boa aceitação global (sabor, aroma e textura) com valores médios (~ 7) e bons níveis de intenção de compra, independentemente das porcentagens de polpa de baru adicionadas. As barras de cereais desenvolvidas com polpa e amêndoa de baru se destacaram em relação a alta concentração de fibras alimentares (~ 15 g/100 g) e pelo elevado conteúdo de proteína (10,64 g/100 g), que foram superiores às de barras de cereais comerciais e controle do estudo (LIMA et al., 2010).

Assim como a amêndoa in natura, a torrada possui nutrientes e pode ser aplicada em produtos como paçocas. Santos et al. (2012) avaliaram as características físicas, químicas e a aceitabilidade de paçocas elaboradas com amêndoas de baru e amendoim (75:25, 50:50 e 25:75, respectivamente) e compararam com paçoca contendo apenas amendoim (100% de amendoim). Os autores observaram que o aumento no percentual de baru nas paçocas resultou em redução no teor de lipídeos (de 19,4 para 17,8 g/100g nas formulações de amendoim e de 75 % de baru, respectivamente), do valor energético total (420,9 para 387,1 kcal/100g), e um aumento na concentração de fibras (5,0 para 9,9 g/100g). Em relação à aceitação sensorial, as paçocas com 25% de amêndoa de baru demonstraram o melhor desempenho, com relação à aceitação global (7,3). Os autores concluíram que o aproveitamento de frutos do Cerrado, como as amêndoas de baru, em produtos alimentícios tradicionais é possível, sem que 76 alterações de qualidade sejam observadas, aumentando o valor nutritivo do produto (SANTOS et al., 2012).

Considerando o valor nutritivo do baru, seu papel econômico para comunidades do Cerrado brasileiro e a necessidade de incentivar seu uso em produtos industrializados, Pinho et al. (2015) desenvolveram uma formulação de sorvete enriquecida com 2% de amêndoas de baru e avaliam sua aceitabilidade sensorial. De acordo com os resultados encontrados, os autores observaram que a adição da amêndoa de baru na formulação padrão do sorvete enriqueceu o produto em termos nutricionais. O sorvete contendo baru, comparado à amostra controle sem adição, apresentou maior conteúdo lipídico (3,06 para 1,99 g/100 g, respectivamente), proteico (2,56 para 1,76 g/100g) e de fibras (0,31 g/100g). O acréscimo de amêndoas de baru, quando comparado com a amostra controle, demonstrou aumento de 45,5% no conteúdo proteico e de

53,8% no conteúdo de lipídeos. Quanto à aceitação do produto, no teste de intenção de compra, mais de 90% dos participantes afirmaram que comprariam o sorvete de baru e consumiriam no mínimo duas bolas de sorvete mensalmente, demonstrando que o produto desenvolvido pode ser facilmente comercializado (PINHO et al., 2015).

Arelhano et al. (2019) elaboraram um frozen yogurt adicionado de castanhas de baru e determinaram suas características nutritivas, funcionais e sensoriais. A adição de 9,8% de amêndoa de baru em frozen yogurt resultou em um produto nutritivo e 70% de índice de aceitabilidade para todos os parâmetros avaliados, sendo 89,2% para cor, 84% para aroma, 85,2% para textura e 74% de intenção de compra. O frozen yogurt de castanhas de baru mostrou-se um ingrediente interessante, com um teor de 4,9 g/100 g de proteínas e de 12,3 g/100 g de carboidratos, além de bons resultados de compostos bioativos, com valores de 122,3 mg EAG/100 g de compostos fenólicos totais, e 269,9 mg equivalentes de ácido tânico/100 g de taninos (ARELHANO et al., 2019).

Diariamente, os produtos de panificação são consumidos em grandes quantidades e têm um papel importante na nutrição humana (MARTINS; PINH; FERREIRA, 2017). A adição de ingredientes funcionais aos produtos de panificação aumentou em popularidade devido à capacidade de reduzir o risco de doenças crônicas, além das funções nutricionais básicas (ESWARAN; MUIR; CHEY, 2013). Neste sentido, alguns trabalhos têm acrescentado amêndoa de baru e seus coprodutos em produtos de panificação.

Pineli et al. (2015) avaliaram o aproveitamento da torta de baru no desenvolvimento de biscoitos em cinco concentrações (0, 25, 50, 75 ou 100 g/100 g) em substituição à farinha de trigo. A substituição de farinha de trigo por torta de baru parcialmente desengordurada 77 contribuiu para o aumento da atividade antioxidante dos biscoitos. Os resultados demonstraram que as formulações com substituição total (100 g/100 g) e parcial (50 g/100 g) de farinha de trigo provocaram aumentos de 176 % (86,1 mg EAG/100 g) e 48% (46,2 mg GAE/100 g), respectivamente, nos níveis de compostos fenólicos totais. Além disso, a substituição total e parcial também aumentou em 8,7 vezes (15,42 mg EQ/100 g) e 5,6 vezes (9,9 mg EQ/100 g) os níveis de flavonoides totais, respectivamente; e em 10,3 vezes (37,3 mg EC/100 g) e 4,4 vezes (15,7 mg EC/100 g), respectivamente, o teor de taninos. No entanto, a formulação com a proporção de 25 g/100 g foi a mais aceitável, com a média de valores de 5,6 para aceitação geral, de 5,2 para aparências, de 5,5 para sabores e de 5,7 para texturas (PINELI et al., 2015).

A casca e a polpa do baru (amêndoa) parecem constituir ingredientes viáveis para aplicação tecnológica na elaboração de pães integrais do tipo forma, conferindo melhora das características nutricionais e atributos sensoriais. Rocha e Santiago (2009) investigaram a

viabilidade do uso da casca e da polpa do baru em quatro proporções (25, 50, 75 e 100 %) no desenvolvimento de pão de fôrma integral padrão, e suas conseqüentes implicações nutricionais e sensoriais. A casca e a polpa do baru conferiram melhorias nas características nutricionais e atributos sensoriais em relação aos atributos aparência, textura e sabor. Os pães contendo 75 e 100% de casca e polpa de baru demonstraram baixo teor de gorduras totais (2,08 a 1,95 g/100 g, respectivamente) e a formulação desenvolvida com 100% da casca e polpa do baru nos pães resultou em um acréscimo de até 58,2% no teor de fibra alimentar total, quando comparada com a amostra controle sem adição de baru (ROCHA; SANTIAGO, 2009).

A substituição parcial da farinha de trigo pela farinha de polpa de baru, reconhecida pelo seu alto conteúdo de fibras, pode ser utilizada em diferentes tipos de alimentos, como por exemplo em massas alimentícias que são normalmente pobres em fibras (CAVALCANTENETO et al., 2016). Antunes et al. (2021) desenvolveram uma massa alimentícia do tipo macarrão a partir de formulações com substituições de F1 (10%) e F2 (20%) da farinha de trigo pela farinha de polpa de baru. Os testes sensoriais de aceitação realizados nas massas alimentícias resultaram em escores médios entre 5 e 6, de uma escala hedônica, e as massas contendo 20% de farinha de polpa de baru foram classificadas com um alimento com alto teor de fibra alimentar total (14,5%), de acordo com a Resolução nº 54/2012 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), (BRASIL, 2012), e ainda apresentaram menor teor de carboidratos (61,9%) que a amostra controle.

Caetano et al. (2017) desenvolveram biscoitos de aveia substituindo 100% de óleo de 78 soja por óleo de baru e 30% de farinha de trigo por farinha de baru parcialmente desengordurada. Os biscoitos desenvolvidos apresentaram um alto teor de fibra alimentar (3,7 g/100 g), de minerais como fósforo (197,9 mg/100 g) e ferro (21,5 mg/100 g) e um decréscimo no teor calórico (457,4 kcal/100 g) comparado com o controle. Houve um aumento em duas vezes no conteúdo de fenólicos totais, de 13,6 para 25 mg EAG/100 g, comparado aos biscoitos de aveia. O óleo de baru aumentou a concentração de ácidos graxos insaturados (76,1%) nos biscoitos, consistindo em aproximadamente 50,3% de ácidos graxos monoinsaturados e 25,7% de ácidos graxos poli-insaturados. Assim, o biscoito contendo resíduos do baru apresentou uma composição interessante do ponto de vista nutricional, podendo ser utilizado como parte de uma alimentação saudável (CAETANO et al., 2017).

Devido à conscientização sobre o impacto dos alimentos na saúde, a demanda por alimentos funcionais probióticos está crescendo e, dada a alta prevalência de intolerância à lactose, diversos produtos probióticos não lácteos obtidos pela fermentação de grãos, frutas e vegetais têm sido desenvolvidos (TRIPATI e GIRI, 2014). Para a produção do extrato

hidrossolúvel de baru, Fernandes et al., (2021) desenvolveram cinco formulações de bebidas fermentadas não lácteas contendo probiótico (*Lactobacillus casei*), inulina, oligofrutose e polidextrose. A adição de cultura probiótica e prebiótico, quando comparada com a formulação controle, não alterou significativamente os teores de proteína, lipídios, cinzas e não tiveram impacto nos parâmetros de cor das bebidas. Os resultados encontrados são interessantes para indústrias que processam produtos não lácteos, além de obter uma bebida simbiótica feita a partir de uma amêndoa brasileira e com um perfil nutricional importante (FERNANDES et al., 2021).

5.3 – Baru como fonte alternativa de proteínas para alimentos do futuro

As proteínas são os principais constituintes estruturais e funcionais dos alimentos, que desenvolvem funções biológicas e tecnológicas para o organismo e o alimento, respectivamente. Elas permitem que o corpo mantenha atividades metabólicas, como manutenção, crescimento e reparo da maquinaria celular. As proteínas têm diversas aplicações na indústria de alimentos devido às suas propriedades de superfície, como a capacidade de formar ou estabilizar emulsões, atividade biológica (enzimas), interações intermoleculares e a capacidade de alterar as propriedades sensoriais dos produtos (como aparência, sabor, cor, odor e textura) (OTERO et al., 2022).

As proteínas animais foram usadas como proteínas alimentares convencionais no passado e, atualmente, ainda constituem uma grande parte da produção de alimentos. As proteínas de origem animal, predominantemente proteínas de carne, do leite e do ovo, têm sido altamente estudadas por muitas décadas. No entanto, alguns autores mostraram que a produção de 1 kg de proteína animal requer cerca de 6 kg de proteína vegetal (AIKING, 2014). Consequentemente, a produção em larga escala de proteínas animais por meio da pecuária industrial é relatada como um dos principais impulsionadores da perda de biodiversidade, mudança climática e esgotamento da água doce (AIKING, 2014).

Por outro lado, tendo em vista o custo de produção, sustentabilidade e disponibilidade, as proteínas alternativas (como proteínas vegetais) têm sido cada vez mais utilizadas como uma alternativa robusta às proteínas animais (MUNIALO et al., 2022). Nos últimos anos, o uso de fontes alternativas de proteínas tem sido explorado como potenciais substitutos para proteínas derivadas de animais (MUNIALO et al., 2022). Mais recentemente, devido às dietas restritivas quanto ao consumo de produtos de origem animal, novas demandas de mercado foram geradas, e a busca por novas fontes alimentares proteicas tornou-se necessária (GROSSMANN; WEISS, 2021).

As proteínas alternativas estão ganhando popularidade em todo o mundo por causa de seus benefícios à saúde, sustentabilidade ambiental e mérito ético (MUNIALO et al., 2022). As fontes dessas proteínas são versáteis e podem ser obtidas a partir de plantas (cereais, sementes comestíveis, pseudocereais, leguminosas, tubérculos e oleaginosas), fontes alternativas não convencionais (por exemplo, coprodutos agroindustriais), microrganismos (fungos e bactérias), algas e microalgas e insetos (AKHTAR; ISMAN, 2018; FINNIGAN et al., 2019; SINGH et al., 2008). O uso de produtos alimentares de origem alternativa, como acontece com os coprodutos da agroindústria, contribui para um menor impacto ambiental e oferece um meio para alimentar uma população mundial crescente (LEMES et al., 2022).

Em contraste com muitas proteínas e frações de proteínas estabelecidas, para as quais uma quantidade substancial de conhecimento se acumulou ao longo dos anos, muito menos informações estão disponíveis sobre essas proteínas emergentes (MUNIALO et al., 2022). Para poder utilizar proteínas alternativas, é necessário que elas sejam caracterizadas quanto às suas propriedades tecnológicas e estruturais. O aprimoramento da textura, capacidade de gelificação, emulsificação ou formação de espuma são algumas das propriedades tecnológicas específicas que são importantes nas formulações. As propriedades tecnológicas de proteínas extraídas de pseudocereais como quinoa, trigo sarraceno e amaranto têm sido relatados na literatura (ALONSO-MIRAVALLÉS; O'MAHONY, 2018).

O fruto do baru destaca-se pelo seu alto valor nutricional e seu sabor único, e têm sido atualmente considerado uma fonte alternativa de proteína vegetal. O teor de proteína da amêndoa de baru (26,22 g/100 g) (RIBEIRO et al., 2014) é superior ao encontrado em algumas fontes de proteínas animal como a tilápia (16-19 %) (VAN HUIS et al., 2013), ao de outras castanhas, como a noz-pecã (7 a 9 g/100 g) (RIBEIRO et al., 2020), a castanha do Pará (15 g/100 g), a castanha de caju (18 g/100 g), o pistache (15 g/100 g), a macadâmia (9 g/100 g) e a noz (14 g/100 g) (CARDOSO et al., 2017), e a outras fontes alternativas de proteínas como larvas de gafanhoto (14-18 %), de bicho-da-seda (10-17 %) e de ervilha crua (7,9 %) (VAN HUIS et al., 2013).

As concentrações de aminoácidos essenciais da proteína na castanha de baru, em geral, atendem às recomendações dietéticas, exceto para os aminoácidos metionina + cisteína, valina e lisina, e seu escore de aminoácidos (AAS) varia de 75% a 105% (FERNANDES et al., 2010, CZEDER et al., 2022, SOUSA et al., 2019, FREITAS et al., 2020). Essa variação considerável sugere que o perfil de aminoácidos essenciais da proteína na castanha de baru é particularmente influenciado pela região nativa dos frutos (CZEDER et al., 2022). A deficiência desses aminoácidos é comum em outras castanhas, como amendoim, amêndoa e castanha de caju

(FREITAS et al., 2020), amêndoa de pequi e castanha de caju do Cerrado (SOUSA et al., 2019). Os valores do escore de aminoácidos corrigido pela digestibilidade proteica (do inglês PDCAAS) relatados para a proteína da castanha de baru, de 73% (FERNANDES et al., 2010) e 91% (SOUSA et al., 2019), são superiores aos de outras oleaginosas, como o amendoim (70%) (FERNANDES et al., 2010), a castanha do Brasil (63%) (FREITAS et al., 2020) e as amêndoas (44% a 48%) (HOUSE et al., 2019). O PDCAAS é o método recomendado para estimar a qualidade nutricional da proteína em alimentos e dietas (FAO, 2013). Com base nos valores de PDCAAS, a castanha de baru possui uma proteína de boa qualidade (Fernandes et al., 2010). Assim, seu consumo é recomendado como uma alternativa na substituição à proteína animal (ALVES SANTOS et al., 2021; NUNES et al., 2017).

Do ponto de vista tecnológico, as proteínas extraídas da castanha do baru apresentam possibilidade de emprego em diversos alimentos, conferindo capacidade de absorção de água (193,84%), capacidade de absorção de óleo (199,80%), solubilidade em água (~60% em pH 7), propriedades emulsificantes (95,00%) e espumabilidade (50,00%) (GUIMARÃES et al., 2012). Cruz (2011) realizou a caracterização parcial das proteínas presentes na castanha do baru e observaram uma predominância de globulinas, com 61,7% em peso das proteínas solúveis totais. Albuminas e glutelinas representaram 14 e 3,3% em peso, respectivamente. A proteína total e a fração de globulinas apresentaram valores de digestibilidade in vitro de 85,59% e 90,54%, em relação à caseína.

As proteínas presentes na castanha do baru apresentam elevado potencial como uma fonte alternativa de proteína vegetal para aplicação no desenvolvimento de novos alimentos baseados em plantas, como uma alternativa as de origem animal. Apesar disto, ao nosso conhecimento não foram encontrados estudos utilizando as proteínas do baru como fonte alternativa de proteína para o desenvolvimento de produtos alimentícios. A preocupação com a segurança alimentar, aliada ao desafio de aumentar o crescimento populacional mundial, estimulam a busca por alimentos que forneçam micro e principalmente macronutrientes, que sejam sustentáveis e ambientalmente viáveis. Para atender as demandas dos consumidores e as necessidades alimentares individuais, a diversificação das fontes e funções das proteínas é essencial para a segurança alimentar e o desenvolvimento e fabricação de produtos, sendo as proteínas do baru uma alternativa para atender as necessidades mundiais de suprimento de proteína.

3 Considerações finais

A amêndoa e os resíduos de baru são alternativas para o desenvolvimento de produtos alimentícios com propriedades funcionais e nutracêuticas, por agregar valor ao fruto e qualidade nutricional ao produto. Além disso, a utilização da amêndoa do baru e seus coprodutos como ingredientes em produtos alimentícios associa o aproveitamento integral de uma cadeia e pode impactar positivamente no meio ambiente, além de agregar valor à essa fruta nativa brasileira.

REFERÊNCIAS

ALVES-SANTOS, A. M.; FERNANDES, D. C.; NAVES, M. M. V. Baru (*Dipteryx alata* Vog.) fruit as an option of nut and pulp with advantageous nutritional and functional properties: A comprehensive review. In **Nfs Journal**, [S.L.], v. 24, p. 26-36, ago. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.nfs.2021.07.001>. Acesso em: 16 mai 2022

ANTUNES, G. G. B.; PEREIRA, T. N. A.; SANTOS, J. R. C.; VARGAS, M. dos R. Desenvolvimento e caracterização físico-química de macarrão com substituição parcial da farinha de trigo por farinha de polpa de baru. In **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 10, n. 13, p. 1-14, 17 out. 2021. Research, Society and Development. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i13.21349>. Acesso em: 16 jun 2022.

ARACAVALA, K. K.; CAPELLINI, M. C.; GONÇALVES, D.; SOARES, I. D.; MARGOTO, C. M.; RODRIGUES, C. E. Valorization of the baru (*Dipteryx alata* Vog.) processing chain: Technological properties of defatted nut flour and oil solubility in ethanol and isopropanol. In **Food Chemistry**, [S.L.], v. 383, p. 132587, jul. 2022. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132587>. Acesso em: 15 mai 2022

ARELHANO, L. E.; CANDIDO, C. J.; GUIMARÃES, R. D. C. A.; PRATES, M. F. O. Caracterização nutritiva, bioativas e sensorial de frozen yogurt adicionado de castanhas de baru. In **Interações** (Campo Grande), [S.L.], p. 257-256, 21 mar. 2019. Universidade Católica Dom Bosco. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.20435/inter.v0i0.1648>. Acesso em: 16 jun 2022

ARRUDA-SILVA, TA, ALVES, N., GALLE, NB, SANTOS, SBD, ANDREATTA, E. Thermodynamic properties of the water adsorption process in baru flours. In **Engenharia Agrícola**, [S.L.], v. 42, n. 2, p. 1-10, 2022. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v42n2e20200141/2022>. Acesso em: 15 mai 2022

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada nº 54, de 12 de novembro de 2012. Dispõe sobre o Regulamento Técnico sobre informação nutricional complementar. In **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 12, novembro 2012. p. Brasília, DF. Disponível em: https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2012/rdc0054_12_11_2012.html#:~:text=O%20presente%20Regulamento%20T%C3%A9cnico%20se,e%20prontos%20para%20oferta%20aos. Acesso em 15 mai 2022

CAETANO, K. A.; CEOTTO, J. M.; RIBEIRO, A. P. B.; MORAIS, F. P. R. D.; FERRARI, R. A.; PACHECO, M. T. B.; CAPITANI, C. D. Effect of baru (*Dipteryx alata* Vog.) addition on the composition and nutritional quality of cookies. In **Food Science And Technology**, [S.L.], v. 37, n. 2, p. 239-245, 29 maio 2017. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-457x.19616>. Acesso em: 19 jun 2022

CARVALHO, A. A.; BARBOSA, E. S.; SIQUEIRA, K. F. Aproveitamento de resíduos de processamento de castanha de baru para desenvolvimento de gelado comestível. In **Revista Processos Químicos**, [S.L.], v. 10, n. 20, jul / dez de 2016. p. 287-293. Disponível em: <https://doi.org/10.19142/rpq.v10i20.377>. Acesso em: 19 jun 2022

CAVALCANTE NETO, A. A., SOARES, J. D. P., PEREIRA, C. T. M., GOMES, M. S. S. O.; SABAA-SRUR, A. U. O. Using of flour mesocarp of babassu (*Orbignya* sp.) in food preparation of fresh pasta noodles type. In **REBRAPA-Brazilian Journal of Food Research**, [S.L.], v. 7, n. 1, ago de 2019. p. 105-115. Disponível em: < <https://doi.org/10.3895/rebrapa.v7n1.3518>> Acesso em 27 jun 2022.

CHATURVEDI, S.; CHAKRABORTY, S. Review on potential non-dairy synbiotic beverages: a preliminary approach using legumes. In **International Journal of Food Science and Technology**, [S.L.], v. 56, n. 5, p. 2068-2077, 28 set. 2020. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/ijfs.14779>. Acesso em: 10 jun 2022

DABIJA, A.; CODINĂ, G. G.; ROPCIUC, S.; STROE, S. G. Studies regarding the production of a novel yogurt using some local plant raw materials. In **Journal of Food Processing and Preservation**, [S.L.], v. 43, n. 6, p. 1-9, 30 out. 2018. Wiley. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/jfpp.13826>. Acesso em: 18 jun 2022

ESWARAN, S.; MUIR, J.; CHEY. Fiber and functional gastrointestinal disorders. In **Official journal of the American College of Gastroenterology| ACG**, [S.L.], v. 108, n. 5, p. 718-727, maio 2013. Ovid Technologies (Wolters Kluwer Health). Disponível em <http://dx.doi.org/10.1038/ajg.2013.63>. Acesso em: 15 mai 2022

FERNANDES, A. B. C.; MARCOLINO, V. A.; SILVA, C.; BARÃO, C. E.; PIMENTEL, T. C. Potentially synbiotic fermented beverages processed with water-soluble extract of Baru almond. In **Food Bioscience**, [S.L.], v. 42, p. 1-12, ago. 2021. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101200>. Acesso em: 16 jun 2022

FERREIRA, T. H. B.; FLORIZO, G. K. M.; ARGONDOÑA, E. J. S. Shelf life of cookies made from baru (*Dipteryx alata* Vog.) pulp under different storage conditions. In **Journal of Food Processing and Preservation**, [S.L.], v. 44, n. 9, p. 1-7, 2 jul. 2020. Wiley. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/jfpp.14702>. Acesso em 15 mai 2022

FIORAVANTE, M. B.; HIANE, P. A.; BRAGA, J. A. Elaboration, sensorial acceptance and characterization of fermented flavored drink based on water-soluble extract of baru almond. In **Ciência Rural**, [S.L.], v. 47, n. 9, p. 1-6, 2017. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20151646>. Acesso em: 15 mai 2022

GONÇALVES, T. O., FILBIDO, G. S., DE OLIVEIRA PINHEIRO, A. P., PIERETI, P. D. P., DALLA VILLA, R.; DE OLIVEIRA, A. P. In vitro bioaccessibility of the Cu, Fe, Mn and Zn in the baru almond and bocaiúva pulp and, macronutrients characterization. In **Journal of Food Composition and Analysis**, [S.L.], v. 86, p. 1-23, mar. 2020. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2019.103356>. Acesso em: 25 jun 2022

KEHINDE, B. A., PANGHAL, A., GARG, M. K., SHARMA, P.; CHHIKARA, N. Vegetable milk as probiotic and prebiotic foods. In **Advances in food and nutrition research**. 1st ed., p. 115-160, 2020. Elsevier. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2020.06.003>> Acesso em 26 jun 2022.

LIMA, D. C.; DA ROCHA ALVES, M.; NOGUERA, N. H.; DO NASCIMENTO, R. D. P. A review on Brazilian baru plant (*Dipteryx alata* Vogel): morphology, chemical composition, health effects, and technological potential. In **Future Foods**, [S.L.], v. 5, p. 1-16, jun. 2022.

Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fufo.2022.100146>. Acesso em: 15 mai 2022

LIMA, D. S.; CABASSA, I. D. C. C.; DE ALMEIDA, A. B.; DE SOUSA, T. L.; DE LIMA, T. M.; LOSS, R. A.; VOLP, A. C. P.; VASCONCELOS, L. G.; DALL'OGGIO, E. L.; HERNANDES, T. ; EGEA, M. B.; TAKEUCHI, K. P. Technological quality and sensory acceptability of nutritive bars produced with Brazil nut and baru almond coproducts. In **LWT-Food Science and Technology**, [S.L.], v. 137, p. 1-16, fev. 2021. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110467>. Acesso em: 15 mai 2022

LIMA, J. C. R., DE FREITAS, J. B., CZEDER, L. D. P., FERNANDES, D. C.; NAVES, M. M. V. Qualidade microbiológica, aceitabilidade e valor nutricional de barras de cereais formuladas com polpa e amêndoa de baru. In **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, [S.L.], v. 28, n. 2, p. 331-343, 30 dez. 2010. Universidade Federal do Parana. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/cep.v28i2.20450>. Acesso em 15 mai 2022

LIPAN, L., RUSU, B., SENDRA, E., HERNÁNDEZ, F., VÁZQUEZ-ARAÚJO, L., VODNAR, D. C.; CARBONELL-BARRACHINA, Á. A. Spray drying and storage of probiotic-enriched almond milk: probiotic survival and physicochemical properties. In **Journal of the Science of Food and Agriculture**, [S.L.], v. 100, n. 9, p. 3697-3708, 25 abr. 2020. Wiley. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.10409> Acesso em: 12 mai 2022

MARTINS, B.A.; FERRAZ, A.C.O., SCHMIDT, F.L., Physical characteristics of baru tree fruit aimed at kernel extraction. In **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, [S.L.], v. 38, n. 4, p. 1865-1873, 4 ago. 2017. Universidade Estadual de Londrina. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2017v38n4p1865>. Acesso em: 11 jun 2022

MARTINS, Z. E.; PINHO, O.; FERREIRA, I. M. P. L. V. O. Food industry by-products used as functional ingredients of bakery products. In **Trends in Food Science and Technology**, [S.L.], v. 67, p. 106-128, set. 2017. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2017.07.003>. Acesso em: 15 mai 2022

OLIVEIRA-ALVES, S. C.; PEREIRA, R. S.; PEREIRA, A. B.; FERREIRA, A.; MECHA, E., SILVA, A. B., SERRA, A. T.; BRONZE, M. R. Identification of functional compounds in baru (*Dipteryx alata* Vog.) nuts: Nutritional value, volatile and phenolic composition, antioxidant activity and antiproliferative effect. In **Food Research International**, [S.L.], v. 131, p. 1-15, maio 2020. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109026>. Acesso em: 17 jun 2022

PAGLARINI, DE S. C.; DE SOUZA Q. M.; TUYAMA, S. S.; MOREIRA, A. C. V.; CHANG, Y. K.; STEEL, C. J. Characterization of baru nut (*Dipteryx alata* Vog) flour and its application in reduced-fat cupcakes. In **Journal of food science and technology**, [S.L.], v. 55, n. 1, p. 164-172, 20 nov. 2017. Springer Science and Business Media LLC. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s13197-017-2876-1>. Acesso em: 20 mai 2022

PINELI, L. L.O.; CARVALHO, M.V.; AGUIAR, L.A.; OLIVEIRA, G.T.; CELESTINO, S. M.C; BOTELHO, R.B. A.; CHIARELLO, MD. Use of baru (Brazilian almond) waste from physical extraction of oil to produce flour and cookies. In **LWT-Food Science and Technology**, [S.L.], v. 60, n. 1, p. 50-55, jan. 2015. Elsevier BV. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.09.035> > Acesso em: 15 mai 2022

PINHO, L.; MESQUITA, D. S. R.; SARMENTO, A. F.; FLÁVIO, E. F. Enriquecimento de sorvete com amêndoa de baru (*Dipteryx alata Vogel*) e aceitabilidade por consumidores. In **Revista Unimontes Científica**, v. 17, n. 1, p. 39-49 jan./jun de 2015. Disponível em: <https://www.periodicos.unimontes.br/index.php/unicientifica/article/view/1942/2066>. Acesso em: 18 jun 2022

PINTO, V. R. A.; DE OLIVEIRA FREITAS, T. B.; DE SOUZA DANTAS, M. I.; DELLA LUCIA, S. M.; MELO, L. F.; MINIM, V. P. R.; BRESSAN, J. Influence of package and health-related claims on perception and sensory acceptability of snack bars. In **Food Research International**, [S.L.], v. 101, p. 103-113, nov. 2017. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2017.08.062>. Acesso em: 15 mai 2022

POLMANN, G.; BADIA, V.; DANIELSKI, R.; FERREIRA, S. R. S.; BLOCK, J. M. Non-conventional nuts: An overview of reported composition and bioactivity and new approaches for its consumption and valorization of co-products. In **Future Foods** [S.L.], v. 4, p. 1-13, dez. 2021. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100099>. Acesso em: 14 jun 2022

RESENDE, L. M.; FRANCA, A. S. Flours based on exotic fruits and their processing residues—features and potential applications to health and disease prevention. In **Flour and breads and their fortification in health and disease prevention**. [S.L.], p. 387-401, 2019. Elsevier. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-814639-2.00030-7>. Acesso em 21 jun 2022

ROCHA, L. S.; CARDOSO SANTIAGO, R. D. A. Implicações nutricionais e sensoriais da polpa e casca de baru (*Dipterix Alata vog.*) na elaboração de pães. In **Food Science and Technology**, [S.L.], v. 29, n. 4, p. 820-825, dez. 2009. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0101-20612009000400019>. Acesso em: 15 mai 2022

SANTIAGO, G. D. L., OLIVEIRA, I. G. D., HORST, M. A., NAVES, M. M. V.; SILVA, M. R. Peel and pulp of baru (*Dipteryx Alata Vog.*) provide high fiber, phenolic content and antioxidant capacity. In **Food Science and Technology**, [S.L.], v. 38, n. 2, p. 244-249, 22 mar. 2018. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-457x.36416>. Acesso em: 15 mai 2022

SANTOS, G. G., SILVA, M. R., LACERDA, D. B. C. L., MARTINS, D. M. D. O.; ALMEIDA, R. D. A. Aceitabilidade e qualidade físico-química de paçocas elaboradas com amêndoa de baru. In **Pesquisa Agropecuária Tropical**, [S.L.], v. 42, n. 2, p. 159-165, jun. 2012. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1983-40632012000200003>. Acesso em: 17 jun 2022

SILVA, G.P.; SALES, J.F.; NASCIMENTO, K.J.T.; RODRIGUES, A.A.; CAMELO, G.N.; BORGES, E.E.D.L. Biochemical and physiological changes in *Dipteryx alata Vog.* seeds during germination and accelerated aging. In **South African Journal of Botany**, v [S.L.], v. 131, p. 84-92, jul. 2020. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.sajb.2020.02.007>. Acesso em: 21 mai 2022

SILVA, V. D.; FILHO O.P.S; CONCEIÇÃO, E.C.; CASAGRANDE, G.A.; CAIRES, A.R.L. Oxidative stability of Baru (*Dipteryx alata Vogel*) oil monitored by fluorescence and absorption spectroscopy. In **Journal of Spectroscopy**, [S.L.], v. 2015, p. 1-6, 2015. Hindawi Limited. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1155/2015/803705>. Acesso em: 21 mai 2022

SOARES, M. S. S. JR., CALIARI, M., TORES, M. C. L., VERA, R., TEIXEIRA, J. S.; ALVES, L. C. Qualidade de biscoitos formulados com diferentes teores de farinha de amêndoa de Baru (*Dipteryx alata* Vog.). In **Pesquisa Agropecuária Tropical**, [S.L.], v. 37, p. 51-56, 2007. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <https://revistas.ufg.br/pat/article/view/1869/1776>. Acesso em: 17 jun 2022

TAKEUCHI, K. P., FERREIRA, L. M., CABASSA, I. D. C. C., SILVA, D. L., DE LIMA REIS, S. R.; EGEA, M. B. Desenvolvimento de pasta cremosa vegetal à base de amêndoa de baru, Castanha-do-Brasil e Cacau. In **Revista Brasileira Multidisciplinar**, [S.L.], v. 24, p. 146-155, 2021. (SciELO). Disponível em: <https://doi.org/10.25061/2527-2675/ReBraM/2021.v24i2.1085>. Acesso em: 26 jun 2022

TRIPATHI, M. K.; GIRI, S. K. Probiotic functional foods: Survival of probiotics during processing and storage. In **Journal of functional foods**, [S.L.], v. 9, p. 225-241, jul. 2014. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jff.2014.04.030>. Acesso em: 15 mai 2022

VIEIRA, R. F., AGOSTINI-COSTA, T. D. S., SILVA, D. B., SANO, S. M.; FERREIRA, F. R. Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial plantas para o futuro-região centro-oeste. In **Ministério do Meio Ambiente, Brasília**, p. 109-118, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Roberto-Vieira-2/publication/322275633_Capitulo_5_-_Especies_Alimenticias_Nativas_da_Regiao_Centro-Oeste/links/5a4faf8b0f7e9b36f852c68f/Capitulo-5-Especies-Alimenticias-Nativas-da-Regiao-Centro-Oeste.pdf. Acesso em 15 mai 2022.

CAPÍTULO II**ARTIGO 2**




Unraveling the Potential of Baru (*Dipteryx alata* Vog.) Fruit Fractions as a Sustainable Food Ingredient: Chemical and Technological Characteristics and Prebiotic Potential

Artigo publicado na revista Sustainability (ISSN: 2071-1050) - Fator de impacto: 3.3



Article

Unraveling the Potential of Baru (*Dipteryx alata* Vog.) Fruit Fractions as a Sustainable Food Ingredient: Chemical and Technological Characteristics and Prebiotic Potential

Tainara Leal de Sousa ¹, Josemar Gonçalves de Oliveira Filho ², Isabelly de Campos Carvalho Cabassa ¹, Ailton Cesar Lemes ³ and Mariana Buranelo Egea ^{4,*}

<http://dx.doi.org/10.3390/su162410976>.

Unraveling the Potential of Baru (*Dipteryx alata* Vog.) Fruit Fractions as a Sustainable Food Ingredient: Chemical and Technological Characteristics and Prebiotic

Abstract: The baru is a native Brazilian Cerrado fruit known for its high nutritional and technofunctional value, with the potential to generate new food ingredients. Utilizing the entire baru fruit maximizes the use of all its components, reduces the environmental impact, minimizes waste, and contributes to the region's sustainable development. In this context, this study aimed to evaluate the nutritional composition, bioactive compounds, technological properties, and prebiotic potential of baru by-products and nuts, aiming at their integral and sustainable utilization. For this purpose, baru fruits were collected, characterized in terms of biometrics, and separated into pericarp (by-product) and nuts. The nutritional composition, fatty acid profile, bioactive compounds, techno-functional properties, and prebiotic potential were characterized in the roasted almonds and the by-products. The results indicated that the baru meal had a high protein content (33.09 g/100 g), the lowest atherogenic and thrombogenic indices (0.09 and 0.10, respectively), and the highest antioxidant capacity in the DPPH, ABTS, and FRAP assays. Additionally, the baru meal showed high levels of potassium (14.05 g/100 g), magnesium (2.20 g/100 g), and iron (61.80 g/100 g). The mesocarp stood out for its higher total phenolic content (157.48 mg GAE/100 g) and enhanced water solubility (63.90 g/g). The baru almond flour showed the best results for water absorption capacity (3.62 g/g), oil absorption capacity (3.28 g/g), emulsifying activity (71.94%), emulsion stability (87.69%), and foaming capacity (8.17%). In terms of prebiotic activity, the endocarp fermented by *Lactobacillus acidophilus* (0.76 log CFU/mL) and the mesocarp fermented by *Bifidobacterium animalis* (0.62 log CFU/mL) presented the best results. These findings demonstrate that baru by-products have the potential for full utilization, contributing to the sustainable development of underexplored plant species.

Keywords: prebiotic activity; Cerrado; nutritional composition; by-products

1. Introduction

The Brazilian Cerrado is considered one of the most biodiverse savanna biomes in the world, with an area of approximately 2.04 million m², and is also considered the second largest vegetation in Brazil, covering approximately 25% of the territory [1,2]. The baru (*Dipteryx alata* Vog.) is a fruit native to the Cerrado biome. It has an ovoid shape measuring approximately 4–5 cm in length, containing an epicarp; a mesocarp with dark and spongy pulp; a woody endocarp that covers an ellipsoid-shaped almond measuring 2–2.5 cm in length, which is light brown in color, and shiny [3]. Its trees play an essential role in soil conservation, carbon sequestration, and supporting local biodiversity, acting as a refuge and food source for several species and improving sustainability [4,5].

The baru almond, considered the edible and commercially valuable part of the fruit, is generally consumed in natura or used for oil extraction. This almond, in the global market, has an estimated commercial value of US\$ 47 million by 2032, which is due to its nutritional and functional properties, especially its high levels of protein (~30 g/100 g), dietary fiber (~16.0 g/100 g), carbohydrates (~37 g/100 g), and mineral (~4.5 g/100 g) and bioactive compounds with antioxidant and anti-inflammatory properties [6–8]. For comparison, almonds contain approximately 50% lipids, 25% proteins, 20% carbohydrates, and various minor bioactive compounds such as fiber, vitamins, minerals, phytosterols, and polyphenols [9].

Another product that has gained market share as a nutraceutical is baru oil, extracted by the almond's mechanical pressing, and which can be used as an antioxidant and hepatoprotective agent. In its composition, unsaturated and saturated fatty acids have already been reported in its structure, such as oleic, linoleic, linolenic, eicosenoic, erusic, palmitic, and stearic acids (C18:0). These fatty acids have the potential to promote cardiovascular health, reduce inflammation, improve lipid profiles, and enhance antioxidant properties [10–12].

Other fractions are generated from the production of almonds and the extraction of oil: epicarp, mesocarp, endocarp, and baru meal. In the literature, there are some applications for the fractions of the baru fruit: (i) the epicarp used in folk medicine in the treatment of diseases [13]; (ii) the mesocarp intended for animal feed and which can be used in the production of sweets, liqueurs, cereal bars, and biscuits, consumed mainly by the local population [7]; (iii) the endocarp, a material rich in hemicellulose, lignin, and cellulose, used as a source of biomass generation, biofuel, and biochar-type activated carbon to reduce CO₂ emissions [14]; and (iv) baru meal or partially defatted flour, rich in proteins, which can be added to various food

preparations [15]. Even though there are applications in the processing for almond production, the epicarp, mesocarp, and endocarp are solid waste with an estimated generation of 2200 tons annually, and are often discarded and/or underutilized, with the vast majority being destined for animal feed [16].

Therefore, it is important to gather strategies for using these residues to turn them into raw materials, reducing the negative environmental impact and encouraging responsible management, reducing the waste of raw materials, and maximizing food production. In addition, the full use of baru fruit can be a strategy to improve problems with almond seasonality, which is limited to September and October [17]. One of the strategies is to use these by-products as ingredients for food products. To do this, it is necessary to evaluate the food industry's nutritional, technological, and functional potentials to increase its interest in these fractions. Thus, this research evaluated the nutritional composition, bioactive compounds, antioxidant potential, technological characteristics, and prebiotic effect of the by-products and baru almonds.

Promoting the scientific dissemination of native species of the Brazilian Cerrado is aligned with the principles of bioeconomics, since the best use of the plant resource (in this case, baru) promotes the social inclusion of traditional communities through non-predatory extraction, processing, and marketing of its fruits and, with this, strengthens local communities by generating more significant income, contributing to the preservation of biodiversity and even encouraging its propagation. In addition, the valorization of baru in national and international markets promotes environmental awareness. It encourages public policies to preserve the Cerrado, demonstrating that its sustainable use is an effective strategy for aligning economic development, environmental conservation, and sustainability [5,18–20].

2. Materials and Methods

2.1. Plant Material and Physical Evaluations

The baru fruits (approximately 5 kg) were harvested by local producers in the region of the city of Caiapônia, Goiás, Brazil (Geographical coordinates: Latitude: 16°57'14" S, Longitude: 51°48'57" W), who select only those in which the seeds detach from the interior, which can be identified by shaking the fruits. The local baru producers' cooperative then receives the fruits. The collection region has a tropical climate with well-defined wet and dry seasons and an average annual temperature of 22–23 °C. The soil, typical of the Brazilian Cerrado, is nutrient-poor and acidic, with a pH between 4 and 5. The relief of the Cerrado domain is generally relatively flat or gently undulating, extending across vast plateaus or

chapadões. The cooperative's producers harvest the fruit when the seeds detach inside it, which can be identified by shaking the fruits [21]. The biometry of whole baru fruits (Figure 1A) was performed by measuring the mass (g), size, and width (cm) of 10 representative fruits of the batch and measured using an analytical balance and digital electronic caliper with an accuracy of 0.001 mm, respectively

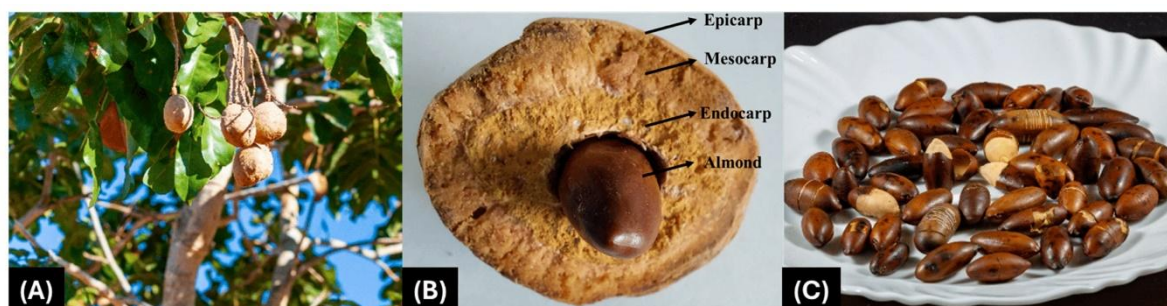


Figure 1. Baru tree (A), fruits (B) and almonds (C) were used for biometric characterization to evaluate the nutritional composition, bioactive compounds, technological properties, and prebiotic potential. Source: the authors.

The fruits were manually separated into pericarp and baru almond (BA). The pericarp was sanitized with sodium hypochlorite (2 mg/L), then submerged in potable water for 24 h, and then separated into epicarp (EPI), mesocarp (MES), and endocarp (END) (Figure 1B). All parts were subjected to drying in an oven with forced air circulation (60 ± 2 °C) for 24 h, and subsequently crushed in a knife mill (TE-650, Tecnal, Piracicaba, SP, Brazil) and standardized to pass through a <0.71 mm sieve. The raw baru almonds (Figure 1C) were roasted at 200 °C for 20 min [22] to inactivate trypsin inhibitors, making them suitable for human consumption.

Baru meal (BM) was supplied by the Flora do Cerrado company (Jussara, Goiás, Brazil). BM is a by-product derived from the cold pressing of baru almonds to extract oil, which was oven-dried at 40 °C, homogenized, packaged, and stored at 4 °C for subsequent

2.2. Characterization of By-Products and Baru Almonds

2.2.1. Proximate Composition

The proximate composition of the baru almond (BA), baru meal (BM), epicarp (EPI), mesocarp (MES), and endocarp (END) was determined by analyzing the moisture (method 934.06), ash (method 940.26), total nitrogen (method 920.152), protein (conversion factor = 6.25), and lipids (method 920.39) [23]. The carbohydrate content was estimated by subtracting the values of the mentioned components from 100. The total energy value was estimated using

Atwater conversion factors: 4 kcal/g for protein, 4 kcal/g for carbohydrates, and 9 kcal/g for lipids [24]. The enzymatic–gravimetric method determined the total, insoluble, and soluble dietary fiber contents (method 985.29) [23].

Mineral quantification was performed according to Sousa, et al. [25]. The samples were oven-dried at 105 °C and digested in nitric acid (HNO₃) and perchloric acid (HClO₄) solutions. The minerals calcium (Ca), magnesium (Mg), copper (Cu), iron (Fe), manganese (Mn), and zinc (Zn) were determined by double-beam atomic absorption spectroscopy (GBCXPLORAA-2, Lakeside, Australia). Potassium (K) was determined by a flame photometer (B-462, Micronal, Lakeside, Australia); phosphorus (P), and sulfur (S) were determined by molecular absorption spectrophotometry [26].

The fatty acid composition of the samples was determined by the method 996.06 [23]. Initially, hydrolysis of the previously crushed sample was performed, followed by fat extraction in diethyl petroleum ether solvent, evaporation of the solvents, methylation of the extracted fat, and quantification of fatty acids by gas chromatography. A chromatograph (GCROM-8000, Intecrom, São Paulo, SP, Brazil) with an ambient working temperature of 300 °C, equipped with a flame ionization detector (GC-FDI, AGILENT, Santa Clara, CA, United States) using a DB-23 (30 m × 0.25 mm ID, J&W Scientific, Folsom, CA, USA) column was used.

Based on the fatty acid composition, the atherogenic index (AI) (Equation (1)) and thrombogenic index (TI) (Equation (2)) indices were calculated according to Ulbricht and Southgate [27]:

$$IA = \frac{C12:0 + C14:0 + C16:0}{MUFA + n-3 PUFA + n-6 PUFA} \quad \text{Equação 1}$$

$$IT = \frac{C12:0 + C16:0 + C18:0}{0,5 \times MUFA + 0,5 \times n-3 PUFA + 3 \times n-6 PUFA + \frac{n-3 PUFA}{n-6 PUFA}} \quad \text{Equação 2}$$

where MUFA are monounsaturated fatty acids, and PUFA are polyunsaturated fatty acids.

2.2.2. Bioactive Compounds and Antioxidant Activity

The preparation of the crude extract of the different fractions was performed as described by Xu, et al. [28]. The extracts were prepared with 40 mL methanol:water (50:50, v/v) and 1.0 g of the sample kept at room temperature for 60 min, followed by filtration and the volume being adjusted to 50 mL with methanol solution. The obtained extract was used to

analyze total phenolic compounds and in the various methodologies for assessing antioxidant activity.

The total phenolic compound content was determined according to the methodology described by Singleton and Rossi [29], using a *Ácido gálico* standard curve for comparison. 200 μL of the previously diluted crude extracts were mixed in 1.9 mL of Folin–Ciocalteu (Sigma-Aldrich, Massachusetts, United States) reagent diluted 10 times, and 1.9 mL of sodium carbonate solution (60 g/L) was added to neutralize the mixture. After a 120-min reaction in the dark at room temperature, the absorbance of the mixture was measured at 725 nm. The absorbance of the extract was compared with a *Ácido gálico* standard curve ($y = 0.0047x - 0.1063$; $R^2 = 0.9903$; range: 40–200 mg GAE/100 g) to estimate the concentration of phenolic compounds in the sample, and the results were expressed in mg of *Ácido gálico* equivalent per 100 g of sample (mg GAE/100 g).

The free radical scavenging capacity by the DPPH method was determined according to the methodology described by Brand-Williams, et al. [30]. The Trolox solution was used as a standard for the DPPH calibration curves and the results were expressed as μM Trolox equivalent antioxidant activity ($\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$). The ABTS method was performed according to the methodology described by Surveswaran, et al. [31], with modifications. The results were expressed as μmol of Trolox equivalent per gram of sample on a dry basis ($\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$). The ferric reducing antioxidant power (FRAP) was conducted according to Pulido, et al. [32], and the results were expressed as μmol Trolox equivalents per gram of sample ($\mu\text{mol ferrous sulfate}/100\text{ g}$).

2.2.3. Infrared Spectroscopy

Fourier transform infrared (FTIR) spectra were obtained using an FTIR spectrometer (Cary-630, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA). Spectra were recorded from 4000 to 400 cm^{-1} at a rate of 32 scans and a spectral resolution of 4 cm^{-1} using an attenuated total reflectance (ATR) module.

2.3. Technological Properties of Different Ingredients

The determination of the water absorption capacity (WAC), water solubility (WS), and oil absorption capacity (OAC) was performed according to Okezie and Bello [33]. 0.5 g of the sample was weighed in a Falcon tube, combined with 25 mL of water, and subsequently shaken for 1 min in a multifunctional vortex (K40-1020, Kasvi, São José dos Pinhais, PR, Brazil) and centrifuged at 5300 rpm/20 min. The supernatant liquid was removed from the tube, and the

wet solid was weighed. The WAC was calculated using Equation (3). The supernatant liquid previously removed was placed in a previously weighed Petri dish, taken to an oven with air circulation (Tecnal, model TE-394/1, Piracicaba, São Paulo, Brazil), and subjected to drying at 105 °C until constant weight for water evaporation. The final mass of the liquid after drying was used to determine the WS using Equation (4). The same methodology described previously was used to determine OAC with the replacement of water by oil, and the result was calculated using Equation (5).

$$\text{WAC} = \frac{\text{Evaporation Resíduo (g)}}{\text{Sample weight (g)}} \times 100 \quad (3)$$

$$\text{WS} = \frac{\text{Water absorbed by the sample (g)}}{\text{Sample weight (g)}} \times 100 \quad (4)$$

$$\text{OAC} = \frac{\text{Oil absorbed by the sample (g)}}{\text{Sample weight (g)}} \times 100 \quad (5)$$

The emulsifying activity (EA) and emulsion stability (ES) of the baru fruit fractions were evaluated according to the methodology described by Yasumatsu, et al. [34]. First, 0.5 g of the sample was weighed in a Falcon tube, and 5 mL of water and 5 mL of soybean oil were added to homogenization in an electronic mechanical shaker (macro-Q250, Mylabor, Diadema, SP, Brazil) and centrifuged at 3000 rpm for 5 min. The EA result was calculated using Equation (6). For the ES analysis, the tubes used previously were heated in a water bath at 80 °C for 30 min, then cooled for 20 min in running water and centrifuged at 3000 rpm for 5 min. The results were used to calculate the ES using Equation (7). The ES was measured by leaving the test tube at room temperature (23 °C ± 0.02) and observing the decrease in foam volume at intervals of 30, 60, 90, and 120 min.

$$\text{ES (\%)} = \frac{\text{Emulsified layer (mL)}}{\text{Total volume in the tube (mL)}} \times 100 \quad (6)$$

$$\text{EE (\%)} = \frac{\text{Remaining emulsified layer (mL)}}{\text{Emulsified layer in the tube (mL)}} \times 100 \quad (7)$$

The methodology described by Coffmann and Garciaj [35] was used to determine the foaming capacity (FC). 1.0 g of the samples were added to 50 mL of water and homogenized

for 5 min in a shaker. The volume was transferred to a 100 mL graduated cylinder, and its percentage increase was calculated based on the initial volumes using Equation (8).

$$FC = \frac{\text{final volume} - \text{initial volume}}{\text{initial volume}} \times 100 \quad (8)$$

2.4. *In Vitro* Prebiotic Potential

2.4.1. Microorganisms and Cultivation Conditions

To evaluate the prebiotic potential of the samples, two probiotic strains of lactic bacteria (LABs) were used, namely *Lactobacillus acidophilus* LA-05 and *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* BB-12, and two pathogenic strains, namely *Escherichia coli* CCCD-E004 and *E. coli* ATCC 25922. The bacteria were provided by the Faculty of Biotechnology of the Catholic University of Portugal (Porto, Portugal).

The methodology used to prepare and cultivate the LABs inoculum was as described by Albuquerque, et al. [36]. The culture was prepared in Man, Rogosa, and Sharpe (MRS) broth at 37 °C for 20–24 h. After this period, centrifugation, washing, and resuspension in MRS broth were performed to obtain a cell suspension with an optical density reading of 655 nm (OD₆₅₅) 0.85. Viable cell counts were approximately 6 log colony-forming units per mL (log CFU/mL). For the growth of *B. animalis* BB-12, the MRS broth and agar used were supplemented with L-cysteine hydrochloride (0.5 g/L). All probiotics were incubated under anaerobic conditions.

E. coli strains constituted the enteric mixture inoculum. Each strain was grown separately, twice in Brain Heart Infusion (BHI) broth at 37 °C for 18–20 h, centrifuged, washed, and resuspended in BHI broth to obtain cell suspensions with an OD₆₅₅ reading of 0.1. The enteric mixture inoculum was obtained by mixing these two different *E. coli* suspensions (1:1 ratio), which provided viable cell counts of approximately 6 log CFU/mL on eosin methylene blue (EMB) agar under aerobic conditions.

2.4.2. Preparation of Bacterial Culture Medium

MRS broth, modified by altering the standard carbon source (glucose), was used to assess the prebiotic potential of the samples [36]. The broth for probiotic cultivation consisted (g/L) of tryptone (10.0), meat extract (8.0), yeast extract (4.0), dipotassium hydrogen phosphate (2.0), Tween 80 (1.0), sodium acetate (5.0), tribasic ammonium citrate (2.0), magnesium sulfate (0.2), manganese sulfate (0.04), and various carbon sources. The carbon sources included glucose and the evaluated samples, prepared at a concentration of 20 g/L, matching the glucose concentration in the commercial MRS broth.

2.4.3. Enumeration of Viable Probiotic Cells

Each probiotic inoculum was added (2%, v/v) to sterile tubes containing the respective culture medium. The mixtures were then homogenized and incubated at 37 °C for two time points: before incubation (0 h) and after 48 h. Aliquots (100 µL) from each mixture were serially diluted in a sterile saline solution (8.5 g/L). Subsequently, 20 µL of each dilution was plated onto MRS agar using the microdroplet technique. The plates were incubated at 37 °C for 48 h, and the results were reported as log CFU per mL [36]. The enteric inoculum (2%, v/v) was added to M9 broth with glucose (20 g/L) and the samples (20 g/L). The mixtures were homogenized and incubated aerobically at 37 °C. After 0 and 48 h, aliquots (100 µL) were serially diluted in sterile saline and 20 µL of each dilution was plated on EMB agar using the microdroplet technique. The plates were incubated aerobically at 37 °C for 24 h, and results were expressed as log CFU per mL.

2.4.4. Prebiotic Activity Score (PAS)

The prebiotic activity score was estimated according to the equation proposed by Huebner, et al. [37] (Equation (9)), considering the growth of each probiotic and the enteric mixture during fermentation ($\Delta \log \frac{\text{CFU}}{\text{mL}} = \log \frac{\text{CFU}}{\text{mL}}_{t=48} - \log \frac{\text{CFU}}{\text{mL}}_{t=0\text{h}}$) of glucose

$$\text{PAS} = \text{probiotic} \left(\frac{\Delta \log \frac{\text{CFU}}{\text{mL}}_{\text{prebiotic}}}{\Delta \log \frac{\text{CFU}}{\text{mL}}_{\text{glucose}}} \right) - \text{enteric mixture} \left(\frac{\Delta \log \frac{\text{CFU}}{\text{mL}}_{\text{prebiotic}}}{\Delta \log \frac{\text{CFU}}{\text{mL}}_{\text{glucose}}} \right) \quad (9)$$

2.5. Statistical Analysis

Data were expressed as the mean and standard deviation and submitted to an analysis of variance (ANOVA) for treatments (samples evaluated in this study), followed by the application of Tukey's test using the Statistica 6.0 software (StatSoft Inc., USA). Differences were considered significant when $p < 0.05$. All analyses were performed in triplicate.

3. Results and Discussion

3.1. Biometry Properties and Proximal, Fatty Acids, and Mineral Composition

The biometric property of the baru (*Dipteryx alata* Vog.) encompasses physical and structural characteristics that can be quantitatively analyzed, such as the dimensions, weight, shape, and density. These properties are crucial for evaluating product quality and influencing market acceptance due to variables like size and integrity. Furthermore, understanding the

biometric characteristics is essential for developing appropriate processing and storage techniques to preserve the product and minimize losses [38,39].

The average weight of the baru fruits was 27.93 ± 4.42 g, the length was 12.96 ± 2.46 cm, the height was 26.50 ± 2.49 cm, and the thickness was 12.75 ± 1.30 cm, which demonstrates the variability of the material. The size of the baru varies due to factors such as genetics, environmental conditions, the maturation stage, and cultivation practices. Genetic differences and factors like the climate and water availability influence its development. The size is also affected by the maturation stage during harvest and agricultural management practices [38,39].

Table 1 shows the proximal and fatty acid composition of the baru fruit fractions. It was possible to observe that, like the baru almond, the by-products proved to be important nutritional sources of dietary fiber (17.60 to 59.34 g/100 g). Among them, the endocarp (END) demonstrated a significantly higher dietary fiber content (59.34 g/100 g) than the other fractions, which may be related to its woody aspect, which is attributed to the high content of lignin, cellulose, and hemicellulose [14].

Table 1. Proximal and fatty acid composition of baru fruit fractions (*Dipteryx alata* Vog.), including baru almond (BA), baru meal (BM), epicarp (EPI), mesocarp (MES), and endocarp (END).

Composição Nutricional	BA	BM	EPI	MES	END
Moisture (g/100g)	2,88±0,04 ^b	4,80±0,04 ^a	1,77±0,23 ^c	2,90±0,05 ^b	2,78±0,11 ^b
Ash (g/100g)	2,95±0,11 ^{ab}	4,00±0,23 ^a	3,43±0,13 ^b	2,48±0,10 ^b	0,67±0,05 ^c
Protein (g/100g)	24,16±0,28 ^b	33,09±0,28 ^a	6,25±0,31 ^c	6,88±0,31 ^c	2,09±0,28 ^d
Lipids (g/100g)	37,14±0,36 ^a	16,52±0,72 ^b	3,84±0,45 ^d	7,18±0,68 ^c	1,72±0,96 ^c
Dietary fiber (g/100g)	18,22±0,93 ^d	17,60±0,87 ^d	33,36±0,77 ^b	29,32±1,29 ^c	59,34±0,18 ^a
Carbohydrates (g/100g)	32,81±0,52 ^c	41,42±0,86 ^d	84,71±0,82 ^b	80,57±0,92 ^c	92,74±0,93 ^a
Energy Value (kcal)	562,13±1,66 ^a	447,29±3,52 ^b	398,37±2,74 ^d	414,37±3,41 ^c	394,81±4,95 ^d
Saturated fats (g/100g)	17,72 ±0,01 ^d	13,12 ±0,09 ^c	40,06 ±0,01 ^a	36,36 ±0,01 ^b	30,54±0,01 ^c
Unsaturated fats (g/100g)	82,28 ±0,01 ^b	86,89±0,09 ^a	59,94 ±0,01 ^c	63,64±0,01 ^d	69,46±0,01 ^c
Unsaturated fats monounsaturated (g/100g)	51,94±0,01 ^c	54,21±0,18 ^b	53,84±0,01 ^c	58,82 ±0,01 ^a	52,78±0,01 ^d

Unsaturated polyunsaturated fats (g/100g)	30,34 ±0,01 ^b	32,68±0,26 ^a	6,10±0,01 ^d	4,81 ±0,01 ^e	16,68±0,01 ^c
Trans fats (g/100g)	<0,1 ^a	<0,1 ^a	<0,1 ^a	<0,1 ^a	<0,1 ^a
C15:0 (g/100g)	-	-	10,38±0,01 ^a	9,73±0,01 ^b	4,46±0,01 ^{cd}
C16:0 (g/100g)	8,06±0,01 ^b	7,60±0,01 ^b	22,21±0,01 ^a	22,85±0,01 ^a	20,49±0,01 ^c
C16:1 (g/100g)	-	-	8,22±0,01 ^a	10,16±0,01 ^a	3,55±0,01 ^b
C18:0 (g/100g)	4,66±0,01 ^b	5,54±0,01 ^b	7,47±0,01 ^a	3,78±0,01 ^c	5,59±0,01 ^b
C18:1-cis(n9) (%)	51,94±0,01 ^a	54,21±0,01 ^a	45,62±0,01 ^{bc}	48,66±0,01 ^{bc}	49,23±0,01 ^{ab}
C18:2-cis(n6) (%)	30,34±0,01 ^a	32,68±0,01 ^a	6,10±0,01 ^c	4,81±0,01 ^{cd}	16,68±0,01 ^b
Atherogenic index (AI)	0,10±0,01 ^c	0,09±0,01 ^c	0,37±0,01 ^a	0,36±0,01 ^a	0,29±0,01 ^b
Thrombogenic index (TI)	0,11±0,01 ^c	0,10±0,01 ^c	0,66±0,01 ^a	0,61±0,01 ^a	0,34±0,01 ^b

Means followed by the same letter in the line do not differ statistically by the Tukey test ($p < 0.05$). C15:0 (pentadecanoic acid); C16:0 (palmitic acid); C16:1 (palmitoleic acid); C18:0 (stearic acid); C18:1-cis (9 n) (oleic acid); and C18:2-cis (n6) (linoleic acid).

All fractions can be considered as high fiber content materials (17.60 to 33.36 g/100 g) according to Brazilian legislation (when content is greater than 6 g/100 g) [40]. All fractions, except for BM, demonstrated a higher fiber content than Brazil nut flour (*Bertolletia excelsa* HBK) (18.35 g/100 g) [41], which is one of the most consumed nuts among all nuts.

The large amount of fibers in the baru fruit fractions may be due to the high presence of cellulose, lignin, and hemicellulose [14]. Studying baru by-products, Rambo, et al. [42] found that END and MES contained 30.11% and 30.72% of lignin, 6.30% and 33.41% of hemicellulose, and 13.13% and 20.87% of cellulose, respectively. END, the fraction that presented the highest dietary fiber content, has not been used in human nutrition but has been studied for its high calorific value and can be used to produce activated carbon using existing steps such as mixing with another material, briquetting, or carbonization [43,44].

Among the raw materials analyzed, the BM presented the highest protein content (33.09 g/100 g), demonstrating its interesting potential as a food raw material, especially for the alternative protein industry that has been seeking protein sources that can contribute, in addition to nutritional value, texture, color, flavor, emulsification, gelation, and water and oil absorption in formulations [16]. In addition, the BA, BM, EPI, and MES fractions presented a rich protein content, following Brazilian legislation (greater than 6 g/100 g) [40].

Based on the results obtained and considering the formulation principles of various products, the fractions of the baru fruit appear to demonstrate great potential for use in the

preparation of formulations, and in the preparation of cakes or other baked goods due to their higher content of total fibers and proteins [45].

As expected, the BA presented a high lipid content (37.14 g/100 g), higher than the other fractions evaluated (Table 1), possibly contributing to its higher energy value. In addition, the BA also demonstrated a high fatty acid content, with a profile composed mainly of monounsaturated fatty acid (51.94% oleic acid) and polyunsaturated fatty acids (30.34% linoleic acid). These values corroborate what had been reported by Alves-Santos, et al. [46] for oleic acid content (51.45 g/100 g) and linoleic acid (28.57 g/100). The BM, the fraction resulting from the mechanical extraction process for oil separation [16], demonstrated the lowest lipid content (16.52 g/100 g) compared to the BA containing unsaturated fatty acids such as oleic (54.21%) and linoleic (32.68%) acids. On the other hand, the main saturated fatty acids found in the evaluated samples were palmitic acid (10.16% and 8.22% for MES and END, respectively) and stearic acid (7.47% and 5.59% for EPI and END, respectively) (Table 1).

The intake of products containing monounsaturated fatty acids can promote benefits to the cardiovascular system due to their potential to reduce low-density lipoprotein (LDL) cholesterol levels [47]. The consumption of oleic acid (C18:1), the predominant fatty acid in the samples, has been associated with a lower prevalence of cardiovascular diseases [48,49].

To predict the effects of fatty acid composition on human health, atherogenicity (AI) and thrombogenicity (IT) indices were evaluated based on the fatty acid profile of these samples. The present study indicated values for AI between 0.09 and 0.37% and TI between 0.10 and 0.66% (Table 1). All fractions evaluated in the present study presented $AI < 1$ and $TI < 0.5$ (except EPI and MES), indicating a low risk of heart disease due to atherosclerosis and thrombosis associated with their ingestion and, therefore, they are recommended for the human diet [50,51]. The EPI and MES samples demonstrated values higher than 0.5 for TI, which may be associated with these fractions containing a higher content of saturated fats. Saturated fatty acids increase low-density lipoprotein cholesterol (LDL-c), a strong risk factor for cardiovascular disease [52].

The BM and BA fractions presented lower AI and TI values (0.09 and 0.10 and 0.10 to 0.11, respectively) than the other fractions evaluated in this study. Lower values of these indexes mean higher nutritional quality, and consuming foods with lower AI and IT values can reduce the risk of ischemic heart disease [53].

Table 2 shows the mineral composition of the different fractions of the baru fruit. The BA and BM presented the highest values for all minerals evaluated compared to the other

fractions studied. Ingestion of a 20 g serving of the RDI can contribute 68.67, 528.26, and 497.78% of the RDI of iron, manganese, and copper, respectively.

Table 2. Mineral composition and its percentage contribution to the recommended daily intake (RDI calculated in a 20 g portion) of baru fruit (*Dipteryx alata* Vog.) fractions including baru almond (BA), baru meal (BM), epicarp (EPI), mesocarp (MES), and endocarp (END).

Mineral	BA	BM	EPI	MES	END	% RDI
Phosphor (g/100 g)	11,55±0,07 ^a	7,00±0,01 ^b	4,15±0,07 ^c	3,10±0,01 ^d	1,10±0,01 ^e	0,03- 100,43
Potassium (g/100 g)	10,65±0,21 ^c	14,05±0,35 ^a	11,65±0,21 ^b	8,15±0,21 ^d	1,40±0,14 ^e	0,01- 312,22
Calcium (g/100 g)	8,10±0,01 ^a	6,75±0,07 ^b	3,15±0,07 ^d	5,95±0,21 ^c	1,75±0,07 ^e	0,04- 20,25
Magnesium (g/100 g)	1,30±0,01 ^b	2,20±0,01 ^a	0,50±0,01 ^c	0,30±0,01 ^{cd}	0,20±0,01 ^d	0,01- 5,50
Iron (mg/100 g)	38,10±0,14 ^c	61,80±0,57 ^a	47,40±0,14 ^b	28,35±0,35 ^d	21,20±0,57 ^e	23,56- 68,67
Manganese (mg/100 g)	27,20±0,01 ^c	60,75±0,64 ^a	32,15±0,07 ^b	27,05±0,07 ^c	23,50±0,14 ^d	235,22- 528,26
Copper (mg/100 g)	12,60±0,14 ^b	22,40±0,01 ^a	8,50±0,01 ^c	6,10±0,01 ^d	2,65±0,07 ^e	23,04- 497,78
Zinc (mg/100 g)	28,70±0,14 ^a	7,55±0,21 ^c	10,60±0,01 ^b	10,25±0,21 ^b	4,05±0,21 ^d	10,13- 71,75

Means followed by the same letter on the line do not differ statistically from each other by the Tukey test ($p < 0.05$). Daily values (%) of reference based on a 2000 kcal diet. DRI (2002/2005).

Iron is required for mitochondrial energy metabolism and many enzymatic processes in various tissue sites, affecting myocardial and skeletal muscle activity, neurotransmitter production, and immune system function [54]. Manganese is an activator of numerous enzymes involved in the synthesis of proteins, nucleic acids, and fatty acids. It is responsible for the regulation of blood sugar, cellular energy, and blood coagulation, being essential for the physiological function of the central nervous system [55,56]. Copper is essential for iron uptake and signaling in energy metabolism in the detoxification of reactive oxygen species and plays

a significant role in signaling involving mitophagy, bioenergetics, and mitochondrial dynamics and function, which determine cell fate through metabolic reprogramming [57].

The BA has been shown to contribute 71.75% of the RDI of zinc and is an essential cofactor for cellular activity and defense. It must be obtained through diet and absorbed by the intestine [58,59]. Zinc plays a crucial role in the digestive system and bone health, contributing to the absorption of vitamin D in the bones [60].

3.2. . *Bioactive Compounds and Antioxidant Activity*

Figure 2 shows the total phenolic compound (TPC) and antioxidant activity of the baru fractions evaluated by the DPPH, FRAP, and ABTS methods. The MES presented the highest TPC (157.48 mg GAE/100 g), followed by the BM (146.85 mg GAE/100 g), which were 19.28 to 36.96%, respectively, compared to the other baru fractions. MES and BA can be classified as moderate sources of phenolic compounds, presenting higher values when compared to other conventional fruits studied by Vasco, et al. [61], such as apple (56.89 mg GAE/100 g), banana (56.26 mg GAE/100 g), grape (31.42 mg GAE/100 g), melon (56.27 mg GAE/100 g), grapefruit (87.95 mg GAE/100 g), pitaya (17.25 mg EAG/100 g), and orange (126.53 mg EAG/100 g).

Values of TPC found in this work were higher than what had been reported in the literature for mesocarp (213.94–374.06 mg GAE/100 g fresh weight) [17,62], epicarp (477.00 mg GAE/100 g) and roasted baru almond (728.00 mg GAE/100 g) [62]. This difference may be associated with the fact that phenolic compounds are secondary metabolites, and their accumulation in plant tissues depends on abiotic conditions, such as the environmental conditions of access to water, sunlight, and the occurrence of pests. Thus, the values of TPC found in baru fractions may be associated with the high incidence of sunlight typical of savannah environments such as the Cerrado biome [17].

Furthermore, the high TPC contributes to adding commercial and industrial value to the fractions of the baru fruit and defining intervention doses in future preclinical studies. The data indicate the potential of baru fractions as a functional ingredient and suggest their use in new formulations of functional foods and bioactive compounds [46].

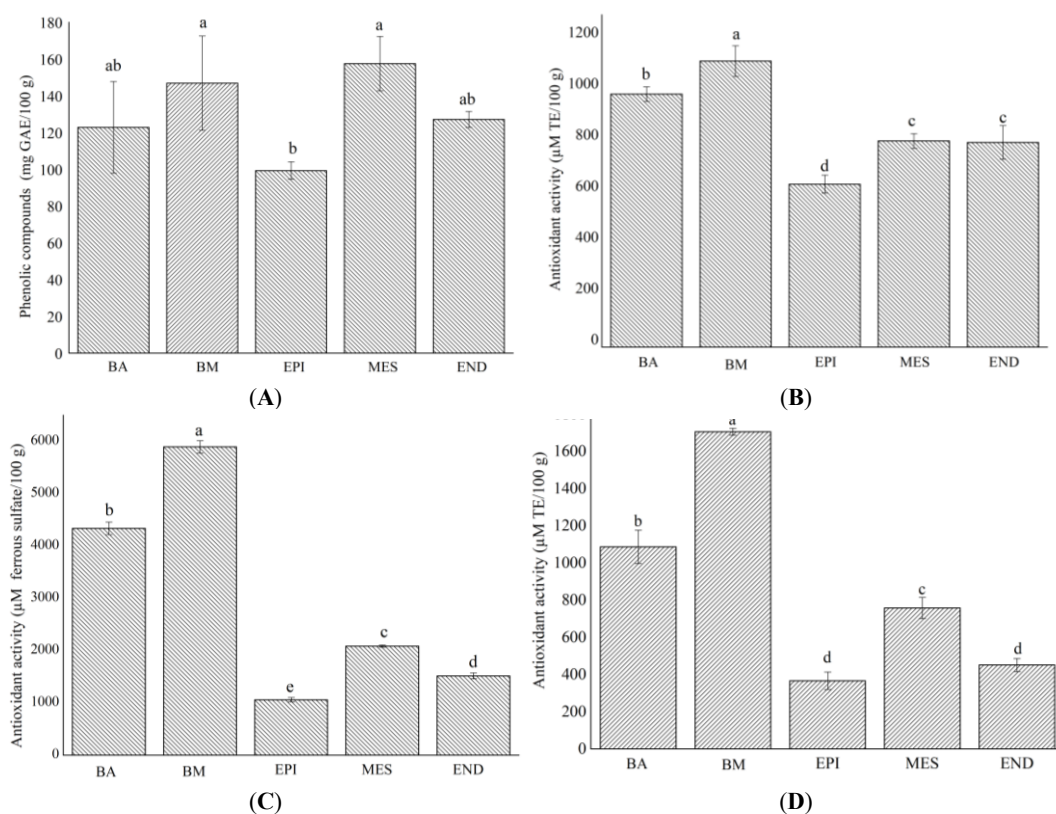


Figure 2. Total phenolic compounds (A) and antioxidant activity by DPPH (B), FRAP (C), and ABTS (D) of baru fruit fractions (*Dipteryx alata* Vog.), being baru almond (BA), baru meal (BM), epicarp (EPI), mesocarp (MES), and endocarp (END). Means followed by the same letter in the line do not differ statistically by the Tukey test ($p < 0.05$).

Regarding antioxidant activity, the BM presented the highest antioxidant capacity in all methods used (1118.49 mg Trolox/100 g, 1704.89 mg Trolox/100 g, and 5892.57 μ M ferrous sulfate/100 g for the DPPH, ABTS, and FRAP methods, respectively) among the samples evaluated (Figure 2B–D). The antioxidant activity results may be related to the TPC, which in the BM was higher than the other baru fractions (Figure 2A).

Viana, Sganzerla, Castro and Veeck [8] analyzed the phenolic compounds and antioxidant activity of the mesocarp and baru almond. The authors reported that although the baru almond presented higher results (529.50 mg GAE/100 g) for TPC, the antioxidant activity was lower compared to the present work (636.34 mg Trolox/100 g, 2404.41 mg Trolox/100 g, and 4163.03 mg Trolox/100 g by the DPPH, ABTS, and FRAP methods, respectively).

Some studies have shown that combating oxidative stress in human metabolism is directly associated with the consumption of foods containing bioactive compounds with

antioxidant properties, such as phenolics, flavonoids, and tannins, which help in the defense mechanism and control of cellular damage caused by free radicals [63,64].

3.3. Infrared Spectroscopy

Figure 3 demonstrates the scanning analysis in the infrared spectrum of the baru fractions. The bands found in the region between 1043.46–1031.03 cm^{-1} represent the characteristics of carbohydrates that are normally found in peaks (1200–900 cm^{-1}) [65], corroborating the carbohydrate contents found in the baru fractions (Table 1).

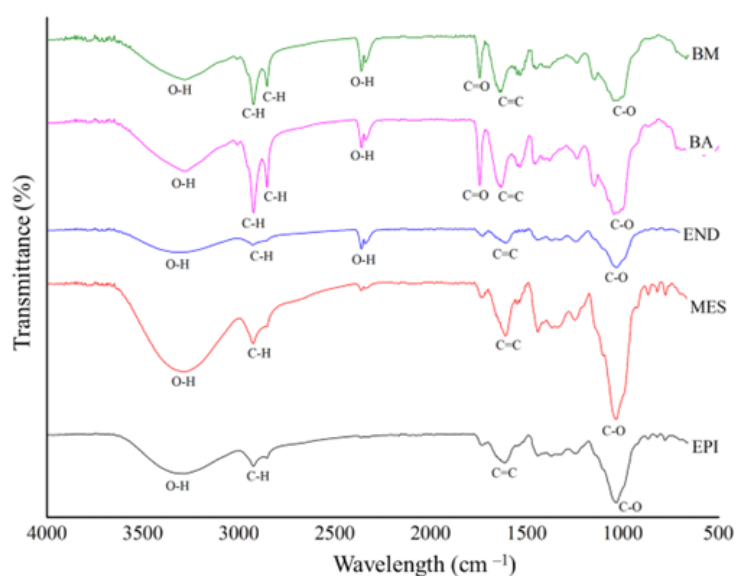


Figure 3. Infrared spectrum scanning of baru fruit fractions (*Dipteryx alata* Vog.), being baru almond (BA), baru meal (BM), epicarp (EPI), mesocarp (MES), and endocarp (END).

The absorption bands found in the samples in the region 1640.33–1608.88 cm^{-1} may refer to the amide I and amide II groups, which mark the presence of proteins [66]. These peaks were more intense in the BA and BM peaks (1200–900 cm^{-1}) [65], corroborating the carbohydrate contents found in the baru fractions (Table 1).

It was also possible to observe bands from 1736.15 to 1742.00 cm^{-1} for the BA and BM, with characteristics of fatty acids (C = O) due to aliphatic ester groups [67]. These peaks demonstrated greater intensity in the BA and BM samples, corroborating that these samples contain the highest lipid content and the presence of fatty acids (Table 1).

The 2923.30–2841.37 cm^{-1} band indicated aliphatic alkane groups' stretching and bending vibrations, including CH_3 , in all studied samples [68]. The band in the region of 3298.53 – 3279.51 indicated the presence of the carboxylic group -O-H [69]. These bands may be related

to the results found for phenolic compounds. The highest intensity peaks were observed in the BA and BM bands, which contain the highest levels of total phenolic compounds and antioxidant activity (Figure 2)

3.4. Technological Characterization

Table 3 presents the water absorption index (WAC), water solubility (WS), oil absorption capacity (OAC), emulsifying activity (EA), emulsion stability (ES), and foaming capacity (FC) of the baru fractions.

Table 3. Water absorption capacity (WAC), water solubility (WS), oil absorption capacity (OAC), emulsifying activity (EA), emulsion stability (ES), and foaming capacity (FC) of baru (*Dipteryx alata* Vog.) fruit fractions, namely baru almond (BA), baru meal (BM), epicarp (EPI), mesocarp (MES), and endocarp (END).

	BA	BM	EPI	MES	END
WAC (g/g)	3,62±0,18 ^a	1,85±0,29 ^c	2,47±0,18 ^{bc}	2,69±0,28 ^b	2,57±0,26 ^b
WS (g/g)	48,05±4,64 ^{bc}	56,17±5,89 ^{ab}	47,27±3,53 ^c	63,90±3,77 ^a	19,39±0,69 ^d
OAC (g/g)	3,28±0,49 ^a	3,17±0,20 ^a	3,18±0,29 ^a	3,58±0,52 ^a	3,66±0,16 ^a
EA(%)	71,94±0,96 ^a	66,11±0,96 ^b	27,02±2,00 ^d	68,51±1,42 ^{ab}	37,20±0,32 ^c
ES(%)	87,69±5,82 ^a	57,13±4,70 ^b	65,73±4,57 ^b	81,14±3,10 ^a	88,47±5,70 ^a
FC (%)	8,17±0,24 ^a	4,00±0,01 ^c	4,06±0,10 ^c	5,56±0,34 ^b	2,38±0,69 ^d

Means followed by the same letter in the line do not differ statistically by the Tukey test ($p < 0.05$).

The BA demonstrated higher results for the properties of WAC (3.62 g/g), OAC (3.28 g/g), EA (71.94%), ES (87.69%), and FC (8.17%), which may be related to the protein content previously reported (Table 1). The structure of proteins, composed of hydrophilic and hydrophobic regions, allows amphiphilic interactions that reduce surface tension at aqueous and oily interfaces. The side chains of amino acids form hydrogen bonds, disulfide bridges, and hydrophobic interactions, stabilizing three-dimensional structures and promoting gel formation and the retention of water and oil. These structural interactions influence proteins' stability, solubility, and functionality under various physicochemical conditions [70,71].

The results for the WAC and OAC found in the present study were higher than those of defatted soybean flour (24.67% and 13.11% for WAC and OAC, respectively) [72]. The WAC is an index of the maximum amount of water the powder sample can absorb and retain. The OAC is the physical trapping of oil by capillary attraction and side chains of nonpolar proteins to lipids [73,74]. The interactions of water and oil with proteins are important for the food industry due to their effects on food texture and flavor perception [75].

High levels of water absorption capacity are desirable in ingredients used for highly dense foods, such as sausages and bakery products. In these cases, water molecules are maintained without dissociating from protein molecules, thus conferring desirable thickening and viscosity to the products, and good protein–oil interaction in food products is desirable not only to ensure that flavor is retained but also to improve palatability [15].

The MES, BA, and BM presented the highest values for WS, which may also be related to the higher protein content of these samples (6.88 to 33.09 g/100 g) (Table 1). Furthermore, the MES demonstrated a higher value for WS (63.90 g/g), which was higher than the values reported for corn bran and cashew by-products from the Cerrado biome (18.94 to 34.98 g/100 g) [76]. Ingredients and flours with high WS values (~25 g/100 g) can be used in foods that require preparation at low temperatures, such as instant foods, or as ingredients for the formulation of soups, desserts, and sauces, which require ingredients with a greater solubility in water [77].

The BA presented the highest value for emulsifying activity (71.94%), which was higher than the values reported by Guimarães, et al. [78] for okara (30 to 50%). This fraction presents a higher emulsifying activity because the BA has a high protein content (24.16 g/100 g). During the formation of emulsions, proteins are adsorbed on the surface of the oil droplets, creating a densely compacted layer [15].

When evaluating the foaming capacity of almond flours, Masoodi, et al. [79] found a value of 2.5% that was lower than that obtained in this study. The foaming capacity is an important functional characteristic of protein extracts, influencing their use in food products such as ice cream and whipped cream [80].

Nutritional information, combined with the technological properties of by-products, is crucial for their feasibility in various food matrices. Knowledge of the nutritional profile, including protein, fiber, vitamin, and bioactive compound content, enables the formulation of products with added value and health benefits. Thus, the combination of this information contributes to innovation in developing new food products, expanding the possibilities for utilizing by-products in different food industry segments.

Several studies have been conducted using the baru nut in its whole form or fractions, but few studies apply the by-product of baru as an ingredient in food and beverage production. The baru mesocarp, for example, has been used in cookie production, contributing to the nutritional composition, especially proteins (17.36%) and bioactive compounds (72.11 mg Ácido gálico equivalent per 100 g of phenolic compounds; 12.43 mg quercetin equivalent per 100 g of flavonoids; and 32.54 mg per 100 g of tannins), but without determining its sensory properties [8].

The baru by-product has also been applied in the production of plant-based hamburgers, resulting in a product with low lipid content (2.95%), high protein content (19.22%), polyphenols, and fibers (4.87%), as well as a pleasant texture [81].

Borges et al. developed a brownie with 75% partially defatted baru nut flour and 25% baru peel and pulp flour, enhancing its nutritional content. The product contained 9.93% protein, 23% total dietary fiber 107 mg Ácido gálico equivalent /100 g of phenolic compounds, and high antioxidant activity. The partially defatted baru nut flour added a less intense color [82].

Although numerous studies have been conducted, most do not include sensory analyses with consumers, which is a necessary approach, as this product is still in the testing and improvement phase. However, one of the few studies that included a sensory analysis was the development of cookies with partially substituted wheat flour with partially defatted baru flour, a by-product of the oil extraction process. The substitution of 25 g/100 g of partially defatted baru flour resulted in cookies with a sensory acceptance comparable to those made with conventional wheat flour. An accessibility analysis indicated that this substitution is sensorially viable but with an acceptance restricted to a specific group of consumers, with no significant differences in taste and texture compared to the standard sample [45].

3.5. 3.5. Prebiotic Potential

Figure 4 demonstrates the prebiotic potential evaluated by the viable cell count (log CFU/mL) of *L. acidophilus* and *B. animalis* after 0 and 48 h of fermentation in the presence of baru fractions compared to the presence of glucose.

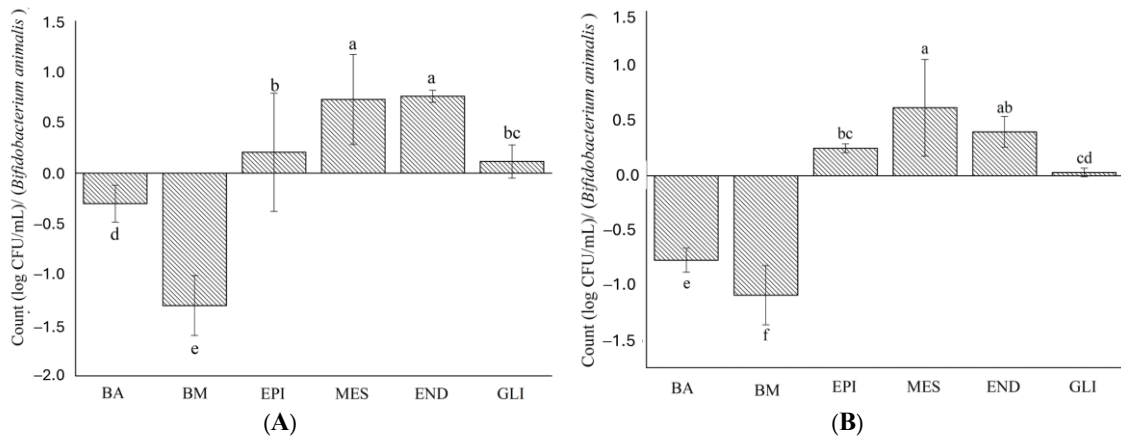


Figure 4. Prebiotic activity (log CFU/mL) evaluated after 0 and 48 h of fermentation of baru (*Dipteryx alata* Vog.) fruit fractions, namely baru almond (BA), baru meal (BM), epicarp (EPI), mesocarp (MES), and endocarp (END) with *Lactobacillus acidophilus* (A) and *Bifidobacterium animalis* (B). Means followed by the same letter in the line do not differ statistically by the Tukey test ($p < 0.05$).

Positive prebiotic potential activity values indicate the ability of the carbon source to selectively stimulate *L. acidophilus* and *B. animalis* species instead of enteric pathogens (*Escherichia coli* CCD-E004 and *E. coli* ATCC 25922). This characteristic is considered a feature of ingredients/foods with prebiotic potential [83,84]. Thus, the International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) defined prebiotics as substrates selectively utilized by host microorganisms conferring a health benefit [85].

A higher score in prebiotic activity indicates greater prebiotic activity [86], as was the case with the END and MES fractions fermented by *L. acidophilus* and *B. animalis* (0.76 and 0.62 log CFU/mL, respectively), with no statistical difference between them. In addition, the EPI also demonstrated prebiotic potential because these microorganisms fermented it. There are no official dietary recommendations for the daily dose of prebiotics in healthy individuals. However, to confer a beneficial effect on the intestine, an oral dose of at least 3 g per day or more is required [85,87].

Our results corroborate and complete the work of Alves-Santos, Brito Sampaio, Lima, Coelho, Souza and Naves [46], who found a prebiotic activity score in baru by-products of 0.12 log CFU/mL for epicarp and mesocarp fermented in the presence of *Bifidobacterium animalis* and 0.18 log CFU/mL of epicarp and mesocarp for fermentation carried out in the presence of *L. acidophilus*. The authors reported that the quantification of viable cells indicates that the

probiotic microorganisms used the by-products as a carbon source in a similar or better way than the fructooligosaccharide control.

In the present study, the raw materials that obtained the highest prebiotic activity contained higher levels of carbohydrates, dietary fiber (Table 1), and total phenolic compounds (Figure 2). On the other hand, the BA and BM showed negative prebiotic activity for the two probiotics evaluated, which may be due to their lower carbohydrate and fiber content. The consumption of an ingredient that can be fermented (prebiotic) contributes to the growth of beneficial bacteria and, consequently, hinders the establishment of pathogenic bacteria [88], increasing the immune response by modulating the intestinal microbial activity and the production of short-chain fatty acids [89].

Prebiotic substances are complex, essential to promote microbiota diversity, and associated with nutrient metabolism, immune response, and general protection against dysbiosis and intestinal inflammation [90].

4. Conclusions

The comprehensive evaluation of baru (*Dipteryx alata* Vog.) fruit fractions demonstrates their significant potential as sustainable and functional food ingredients. This study highlights that each part of the baru fruit—the almonds, epicarp, mesocarp, and endocarp—offers unique nutritional and technological properties valuable to the food industry. The high protein content in the baru meal and almonds, alongside the remarkable fiber and phenolic content in the mesocarp and endocarp, underlines the fruit's versatility for creating nutrient-dense, antioxidant-rich, and potentially prebiotic formulations. Additionally, the promising emulsifying and absorption capacities observed suggest that baru by-products can improve texture, stability, and flavor retention in food applications.

Supplementary Materials: The following supporting information can be downloaded at: <https://www.mdpi.com/article/10.3390/su162410976/s1>, Figure S1: Diagram showing how the physical characteristics of the baru pericarp were measured.

Author Contributions: Conceptualization, M.B.E. and A.C.L.; methodology, T.L.d.S. and I.d.C.C.C.; formal analysis, T.L.d.S. and I.d.C.C.C.; investigation, T.L.d.S. and I.d.C.C.C.; data curation, T.L.d.S., I.d.C.C.C., J.G.d.O.F., A.C.L. and M.B.E.; writing—original draft preparation, T.L.d.S., I.d.C.C.C. and J.G.d.O.F.; writing—review and editing, A.C.L. and M.B.E.; visualization, A.C.L. and M.B.E.; supervision, A.C.L. and M.B.E.; project

administration, M.B.E.; funding acquisition, M.B.E. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research was funded by CNPq, FAPEG, CAPES (001), and IF Goiano.

Institutional Review Board Statement: Not applicable.

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: Data are contained within the article or Supplementary Material.

Acknowledgments: We would like to thank Ferreira Abreu, from Caiapônia, GO, and its owner, Francisco Ferreira Abreu, for their support and collaboration in completing this work.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflicts of interest.

References

1. Araújo, A.C.M.A.; Menezes, E.G.T.; Terra, A.W.C.; Dias, B.O.; Oliveira, É.R.D.; Queiroz, F. Bioactive compounds and chemical composition of Brazilian Cerrado fruits' wastes: Pequi almonds, murici, and sweet passionfruit seeds. *Food Sci. Technol.* **2018**, *38*, 203–214.
2. Schiassi, M.C.E.V.; Souza, V.R.d.; Lago, A.M.T.; Campos, L.G.; Queiroz, F. Fruits from the Brazilian Cerrado region: Physico-chemical characterization, bioactive compounds, antioxidant activities, and sensory evaluation. *Food Chem.* **2018**, *245*, 305–311.
3. Silva, D.V.; Oliveira, D.E.C.d.; Resende, O.; Silva, M.A.P.d.; Barcelos, K.R. Nutritional quality of the epicarp and mesocarp flours of baru fruits submitted to drying. *Rev. Bras. Eng. Agrícola E Ambient.* **2019**, *23*, 65–70.
4. Gunawan, H.; Yeny, I.; Karlina, E.; Suharti, S.; Murniati, S.; Mulyanto, B.; Ekawati, S.; Garsetiasih, R.; Pratiwi. Integrating social forestry and biodiversity conservation in Indonesia. *Forests* **2022**, *13*, 2152.
5. Egea, M.B.; Fernandes, S.S. *Baru (Dipteryx alata) Como Fonte de Nutrientes e Matéria-Prima para a Indústria de Alimentos*; Editora da FUR: Rio Grande, Brazil, 2024; p. 88. ISBN 978-65-5754-216-3.
6. Fact Market Research. Baru Nuts Market Analysis by Product (Whole Baru Nuts, Raw Baru Nuts, Roasted Baru Nuts, Flavored Baru Nuts, Processed Baru Nuts, Baru Butter, Baru Oil, Baru Flour, Baru Sweets), By End Use (Food Processing, Snacks, Nutraceuticals, Confectionary, Personal Care & Cosmetics, Others) and By Region—Global Market Insights 2022 to 2032. Available online: <https://www.factmr.com/report/1362/baru-nuts-market> (accessed on 2 April 2024).
7. Lima, D.C.; Alves, M.D.R.; Nogueira, N.H.; Nascimento, R.d.P.d. A review on Brazilian baru plant (*Dipteryx alata* Vogel): Morphology, chemical composition, health effects, and technological potential. *Future Foods* **2022**, *5*, 100146.
8. Viana, H.N.A.C.; Sganzerla, W.G.; Castro, L.E.N.; Veeck, A.P.d.L. Characterization of baru (*Dipteryx alata* Vog.) and application of its agro-industrial by-product in the formulation of cookies. *J. Agric. Food Res.* **2023**, *12*, 100577.
9. Barreca, D.; Nabavi, S.M.; Sureda, A.; Rasekhian, M.; Raciti, R.; Silva, A.S.; Annunziata, G.; Arnone, A.; Tenore, G.C.; Süntar, İ.; et al. Almonds (*Prunus Dulcis* Mill. D. A. Webb): A Source of Nutrients and Health-Promoting Compounds. *Nutrients* **2020**, *12*, 672.
10. Alarcon, R.T.; Gaglieri, C.; Lamb, K.J.; North, M.; Bannach, G. Spectroscopic characterization and thermal behavior of baru nut and macaw palm vegetable oils and their epoxidized derivatives. *Ind. Crops Prod.* **2020**, *154*, 112585.
11. Reis, M.; Novaes, R.D.; Baggio, S.R.; Viana, A.L.M.; Salles, B.C.C.; Duarte, S.; Rodrigues, M.R.; Paula, F.B.A. Hepatoprotective and Antioxidant Activities of Oil from

- Baru Almonds (*Dipteryx alata* Vog.) in a Preclinical Model of Lipotoxicity and Dyslipidemia. *Evid.-Based Complement. Altern. Med.* **2018**, 8376081.
12. Oliveira-Alves, S.C.; Pereira, R.S.; Pereira, A.B.; Ferreira, A.; Mecha, E.; Silva, A.B.; Serra, A.T.; Bronze, M.R. Identification of functional compounds in baru (*Dipteryx alata* Vog.) nuts: Nutritional value, volatile and phenolic composition, antioxidant activity and antiproliferative effect. *Food Res. Int.* **2020**, *131*, 109026.
 13. Campos, S.B.; Fernandes, S.S.; Egea, M.B. Efeitos benéficos à saúde da ingestão do baru (*Dipteryx alata* Vog.). In *Baru (Dipteryx alata) Como Fonte de Nutrientes e Matéria-Prima para a Indústria de Alimentos*, Egea, M.B., Fernandes, S.S., Eds.; Ed. da FURG: Rio Grande, Brazil, 2024; Volume 1, pp. 53–70.
 14. Monteiro, G.d.M.; Carvalho, E.E.N.; Boas, E.V.B.V. Baru (*Dipteryx alata* Vog.): Fruit or almond? A review on applicability in food science and technology. *Food Chem. Adv.* **2022**, *1*, 100103.
 15. Aracava, K.K.; Capellini, M.C.; Gonçalves, D.; Soares, I.D.; Margoto, C.M.; Rodrigues, C.E.C. Valorization of the baru (*Dipteryx alata* Vog.) processing chain: Technological properties of defatted nut flour and oil solubility in ethanol and isopropanol. *Food Chem.* **2022**, *383*, 132587.
 16. Egea, M.B.; de Oliveira Filho, J.G.; Campos, S.B.; Lemes, A.C. The potential of baru (*Dipteryx alata* Vog.) and its fractions for the alternative protein market. *Front. Sustain. Food Syst.* **2023**, *7*, 1148291.
 17. Gadioli, I.L.; Asquiere, E.R.; de Lacerda de Oliveira, L.; de Alencar Figueiredo, L.F.; Celestino, S.M.C.; Batista, R.D.; de Assis Ramirez Asquiere, E.M. Influence of Climatic and Geographical Variations on the Nutritional and Antioxidant Properties of Baru Mesocarp (*Dipteryx alata* Vog.) and the Crystallization of Sucrose by Secondary Nucleation. *Sugar Tech.* **2022**, *24*, 900–913.
 18. Egea, M.; Lima, D.; Lodete, A.; Takeuchi, K. Bioactive compounds in nuts and edible seeds: Focusing on Brazil nuts and baru almond of the Amazon and Cerrado brazilian biomes. *SM J. Nutr. Metab.* **2017**, *3*, 1022s.
 19. Machado, R.B.; Aguiar, L.M.S.; Bustamante, M.M.C. Why is it so easy to undergo devegetation in the Brazil-ian Cerrado? *Perspectives in Ecology and Conservation* **2024**, *22*, 209–212.
 20. Egea, M.B.; Takeuchi, K.P. Bioactive Compounds in Baru Almond (*Dipteryx alata* Vogel): Nutritional Composition and Health Effects. In *Bioactive Compounds in Underutilized Fruits and Nuts*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2020; pp. 289–302.
 21. Sano, S.M. Critérios de Seleção de Baru para Produção de Amêndoas e Recomposição Ambiental. *Circ. Técnica EMBRAPA* **2016**, *31*, 1–7.
 22. Botezelli, L.; Davide, A.C.; Malavasi, M.M. Characteristics of fruits and seeds of four provenances of *Dipteryx alata* Vog. *Cerne* **2000**, *6*, 9–18.

23. AOAC. *Official Methods of Analysis of AOAC International*; Association of Official Analytical Chemists: Washington, DC, USA, 1995.
24. Zou, M.L.; Moughan, P.J.; Awati, A.; Livesey, G. Accuracy of the Atwater factors and related food energy conversion factors with low-fat, high-fiber diets when energy intake is reduced spontaneously. *Am. J. Clin. Nutr.* **2007**, *86*, 1649–1656.
25. Sousa, M.F.d.; Guimarães, R.M.; Araújo, M.d.O.; Barcelos, K.R.; Carneiro, N.S.; Lima, D.S.; Santos, D.C.D.; Batista, K.d.A.; Fernandes, K.F.; Lima, M.C.P.M.; et al. Characterization of corn (*Zea mays* L.) bran as a new food ingredient for snack bars. *LWT* **2019**, *101*, 812–818.
26. Silva, F.C. *Manual de Análises Químicas de Solo, Plantas e Fertilizantes*, 2nd ed.; Embrapa Informação Tecnológica: Brasília, Brazil, 2009; p. 627.
27. Ulbricht, T.L.; Southgate, D.A. Coronary heart disease: Seven dietary factors. *Lancet* **1991**, *338*, 985–992.
28. Xu, K.; Alves-Santos, A.M.; Dias, T.; Naves, M.M.V. Grumixama (*Eugenia brasiliensis* Lam.) cultivated in the Cerrado has high content of bioactive compounds and great antioxidant potential. *Ciência Rural* **2020**, *50*, e20190630.
29. Singleton, V.L.; Rossi, J.A. Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. *American J. Enol. Vitic.* **1965**, *16*, 144.
30. Brand-Williams, W.; Cuvelier, M.E.; Berset, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT Food Sci. Technol.* **1995**, *28*, 25–30.
31. Surveswaran, S.; Cai, Y.-Z.; Corke, H.; Sun, M. Systematic evaluation of natural phenolic antioxidants from 133 Indian medicinal plants. *Food Chem.* **2007**, *102*, 938–953.
32. Pulido, R.; Bravo, L.; Saura-Calixto, F. Antioxidant activity of dietary polyphenols as determined by a modified ferric reducing/antioxidant power assay. *J. Agric. Food Chem.* **2000**, *48*, 3396–3402.
33. Okezie, B.O.; Bello, A.B. Physicochemical and Functional Properties of Winged Bean Flour and Isolate Compared with Soy Isolate. *J. Food Sci.* **1988**, *53*, 450–454.
34. Yasumatsu, K.; Sawada, K.; Moritaka, S.; Misaki, M.; Toda, J.; Wada, T.; Ishii, K. Whipping and Emulsifying Properties of Soybean Products. *Agric. Biol. Chem.* **1972**, *36*, 719–727.
35. Coffmann, C.W.; Garciaj, V.V. Functional properties and amino acid content of a protein isolate from mung bean flour. *Int. J. Food Sci. Technol.* **1977**, *12*, 473–484.
36. Albuquerque, T.M.R.; Borges, C.W.P.; Cavalcanti, M.T.; Lima, M.d.S.; Magnani, M.; Souza, E.L. Potential prebiotic properties of flours from different varieties of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) roots cultivated in Northeastern Brazil. *Food Biosci.* **2020**, *36*, 100614.

37. Huebner, J.; Wehling, R.L.; Hutkins, R.W. Functional activity of commercial prebiotics. *Int. Dairy J.* **2007**, *17*, 770–775.
38. Mota, E.E.S.; Novaes, C.R.D.B.; Silva, L.B.E.; Chaves, L.J. Structure of the phenotypic variability of fruit and seeds of *Dipteryx alata* vogel (Fabaceae). *Rev. Bras. Frutic.* **2020**, *42*, e–003.
39. Zuffo, A.M.; Andrade, F.R.; Zuffo-Júnior, J.N. Caracterização biométrica de frutos e sementes de baru (*Dipteryx alata* Vog.) na região leste de Mato Grosso, Brasil. *Rev. Ciências Agrárias* **2014**, *37*, 463–471.
40. Anvisa. Technical Regulation on Supplementary Nutritional Information. 2012; Ministry of Health of Brazil. Brasília, Distrito Federal, Brazil. Available online: https://bvsm.sau.gov.br/bvs/sau/legis/anvisa/2012/rdc0054_12_11_2012.html (accessed on 6 July 2024).
41. Santos, O.V.; Azevedo, G.O.; Santos, Â.C.; Lopes, A.S. Development of a Nutraceutical Product Derived from By-products of the Lipid Extraction of the Brazil Nut (*Bertolletia excelsa* H.B.K.). *Foods* **2023**, *12*, 1446.
42. Rambo, M.K.D.; Rambo, M.C.D.; Melo, P.M.; Oliveira, N.M.L.d.; Nemet, Y.K.S.; Scapin, E.; Viana, G.C.C.; Bertuol, D.A. Sustainability of Biorefinery Processes Based on Baru Biomass Waste. *J. Braz. Chem. Soc.* **2020**, *31*, 273–279.
43. Teixeira, H.d.M.; Santos, S.B.d.; Araujo, N.C.C.d.; Silva, T.A.A.; Alves, N.M.C. Propriedades energéticas do endocarpo de baru (*Dipteryx alata* Vog.)/Energy properties of baru endocarp (*Dipteryx alata* Vog.). *Braz. J. Dev.* **2020**, *6*, 72110–72119.
44. Vale, A.; Olsen, L. Produção de carvão vegetal de casca de baru (*Dipteryx alata*) utilizando células de carbonização. *Floresta* **2013**, *43*, 117–124.
45. Pineli, L.d.L.d.O.; Carvalho, M.V.; Aguiar, L.A.; Oliveira, G.T.; Celestino, S.M.C.; Botelho, R.B.A.; Chiarello, M.D. Use of baru (Brazilian almond) waste from physical extraction of oil to produce flour and cookies. *LWT Food Sci. Technol.* **2015**, *60*, 50–55.
46. Alves-Santos, A.M.; Brito Sampaio, K.; Lima, M.S.; Coelho, A.S.G.; Souza, E.L.d.; Naves, M.M.V. Chemical composition and prebiotic activity of baru (*Dipteryx alata* Vog.) pulp on probiotic strains and human colonic microbiota. *Food Res. Int.* **2022**, *164*, 112366.
47. Hernáez, Á.; Soria-Flórido, M.T.; Schröder, H.; Ros, E.; Pintó, X.; Estruch, R.; Salas-Salvadó, J.; Corella, D.; Arós, F.; Serra-Majem, L.; et al. Role of HDL function and LDL atherogenicity on cardiovascular risk: A comprehensive examination. *PLoS ONE* **2019**, *14*, e0218533.
48. Bento, A.P.N.; Cominetti, C.; Simões Filho, A.; Naves, M.M.V. Baru almond improves lipid profile in mildly hypercholesterolemic subjects: A randomized, controlled, crossover study. *Nutr. Metab. Cardiovasc. Dis.* **2014**, *24*, 1330–1336.
49. Karacor, K.; Cam, M. Effects of oleic acid. *Med. Sci. Discov.* **2015**, *2*, 125–132.

50. Bielecka, M.; Ziajka, J.; Staniewski, B.; Nowak, H. Oxidative stability and health-related indices of anhydrous milk fat and vegetable oil blends. *Int. Dairy J.* **2023**, *137*, 105529.
51. Selani, M.M.; Shirado, G.A.N.; Margiotta, G.B.; Saldaña, E.; Spada, F.P.; Piedade, S.M.S.; Contreras-Castillo, C.J.; Canniatti-Brazaca, S.G. Effects of pineapple by-product and canola oil as fat replacers on physicochemical and sensory qualities of low-fat beef burger. *Meat Sci.* **2016**, *112*, 69–76.
52. Briggs, M.A.; Petersen, K.S.; Kris-Etherton, P.M. Saturated Fatty Acids and Cardiovascular Disease: Replacements for Saturated Fat to Reduce Cardiovascular Risk. *Healthcare* **2017**, *5*, 29.
53. Škvorová, P.; Kulma, M.; Božik, M.; Kurečka, M.; Plachý, V.; Slavíková, D.; Šebelová, K.; Kouřimská, L. Evaluation of rapeseed cake as a protein substitute in the feed of edible crickets: A case study using *Gryllus assimilis*. *Food Chem.* **2024**, *441*, 138254.
54. Pasricha, S.R.; Tye-Din, J.; Muckenthaler, M.U.; Swinkels, D.W. Iron deficiency. *Lancet* **2021**, *397*, 233–248.
55. de Moura, T.C.; Afadlal, S.; Hazell, A.S. Potential for stem cell treatment in manganese. *Neurochem. Int.* **2018**, *112*, 134–145.
56. Harischandra, D.S.; Ghaisas, S.; Zenitsky, G.; Jin, H.; Kanthasamy, A.; Anantharam, V.; Kanthasamy, A.G. Manganese-Induced Neurotoxicity: New Insights into the Triad of Protein Misfolding, Mitochondrial Impairment, and Neuroinflammation. *Front. Neurosci.* **2019**, *13*, 654.
57. Ruiz, L.M.; Libedinsky, A.; Elorza, A.A. Role of Copper on Mitochondrial Function and Metabolism. *Front. Mol. Biosci.* **2021**, *8*, 711227.
58. Silva, A.L.L.e.; Santos, D.C.d.; Sousa, T.L.D.; Silva, F.G.; Egea, M.B. “Cerrado” cashew (*Anacardium othonianum* Rizz.) juice improves metabolic parameters in women: A pilot study. *J. Funct. Foods* **2020**, *69*, 103950.
59. Ruangritchankul, S.; Sumananusorn, C.; Sirivarasai, J.; Monsuwan, W.; Sritara, P. Association between Dietary Zinc Intake, Serum Zinc Level and Multiple Comorbidities in Older Adults. *Nutrients* **2023**, *15*, 322.
60. Younas, N.; Fatima, I.; Ahmad, I.A.; Ayyaz, M.K. Alleviation of zinc deficiency in plants and humans through an effective technique; biofortification: A detailed review. *Acta Ecol. Sin.* **2023**, *43*, 419–425.
61. Vasco, C.; Ruales, J.; Kamal-Eldin, A. Total phenolic compounds and antioxidant capacities of major fruits from Ecuador. *Food Chem.* **2008**, *111*, 816–823.
62. Santiago, G.; Oliveira, I.; Horst, M.; Naves, M.; Silva, M. Peel and pulp of baru (*Dipteryx alata* Vog.) provide high fiber, phenolic content and antioxidant capacity. *Food Sci. Technol.* **2018**, *38*, 244–249.

63. Patra, A.; Abdullah, S.; Pradhan, R.C. Review on the extraction of bioactive compounds and characterization of fruit industry by-products. *Bioresour. Bioprocess.* **2022**, *9*, 14.
64. Caporali, S.; De Stefano, A.; Calabrese, C.; Giovannelli, A.; Pieri, M.; Savini, I.; Tesauro, M.; Bernardini, S.; Minieri, M.; Terrinoni, A. Anti-Inflammatory and Active Biological Properties of the Plant-Derived Bioactive Compounds Luteolin and Luteolin 7-Glucoside. *Nutrients* **2022**, *14*, 1155.
65. Ying, D.; Hlaing, M.M.; Lerisson, J.; Pitts, K.; Cheng, L.; Sanguansri, L.; Augustin, M.A. Physical properties and FTIR analysis of rice-oat flour and maize-oat flour based extruded food products containing olive pomace. *Food Res. Int.* **2017**, *100*, 665–673.
66. Leão, D.P.; Franca, A.S.; Oliveira, L.S.; Bastos, R.; Coimbra, M.A. Physicochemical characterization, antioxidant capacity, total phenolic and proanthocyanidin content of flours prepared from pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) fruit by-products. *Food Chem.* **2017**, *225*, 146–153.
67. Craig, A.P.; Franca, A.S.; Oliveira, L.S.; Irudayaraj, J.; Ileleji, K. Fourier transform infrared spectroscopy and near infrared spectroscopy for the quantification of defects in roasted coffees. *Talanta* **2015**, *134*, 379–386.
68. Almeida, J.d.S.O.d.; Dias, C.O.; Arriola, N.D.A.; Freitas, B.S.M.; Francisco, A.; Petkowicz, C.L.O.; Araujo, L.; Guerra, M.P.; Nodari, R.O.; Amboni, R.D.M.C. Feijoa (*Acca sellowiana*) peel flours: A source of dietary fibers and bioactive compounds. *Food Biosci.* **2020**, *38*, 100789.
69. Oladimeji, B.M.; Adebo, O.A. Properties and metabolite profiling of Bambara groundnut flour as affected by different food processing conditions. *Appl. Food Res.* **2024**, *4*, 100389.
70. Silva, C.M.; Felberg, I.; Lima, J.R.; Gouvêa, L.P.; Galdeano, M.C.; Caldeira, R.F.; Azevedo, T.L. *Guide for Technological Functional Characterization of Protein Ingredients for the Plant-Based Market*; Embrapa Agroindústria de Alimentos: Rio de Janeiro, Brazil, 2022; 27p.
71. Nelson, D.L.; Lehninger, A.L.; Cox, M.M. *Lehninger Principles of Biochemistry*; W.H. Freeman & Company: New York, NY, USA, 2008; Volume 5.
72. Rani, R.; Badwaik, L.S. Functional Properties of Oilseed Cakes and Defatted Meals of Mustard, Soybean and Flaxseed. *Waste Biomass Valorization* **2021**, *12*, 5639–5647.
73. Singh, A.; Sharma, S.; Singh, B. Effect of germination time and temperature on the functionality and protein solubility of sorghum flour. *J. Cereal Sci.* **2017**, *76*, 131–139.
74. Ijarotimi, O.S.; Keshinro, O.O. Comparison between the amino acid, fatty acid, mineral and nutritional quality of raw, germinated and fermented African locust bean (*Parkia biglobosa*) flour. *Acta Sci. Polonorum. Technol. Aliment.* **2012**, *11*, 151–165.
75. Suresh Kumar, K.; Ganesan, K.; Selvaraj, K.; Subba Rao, P.V. Studies on the functional properties of protein concentrate of *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty—An edible seaweed. *Food Chem.* **2014**, *153*, 353–360.

76. Sousa, T.L.d.; Sousa, K.A.d.; Santos, D.C.d.; Almeida, A.B.d.; Rezende, T.A.M.d.; Santana, R.V.; Resende, O.; Egea, M.B. Bioingredient produced with fermentation of corn bran and “Cerrado” cashew by-product using *Rhizopus oligosporus* and forced-air oven drying: Mathematical modeling and evaluation of quality parameters. *Bioact. Carbohydr. Diet. Fibre* **2021**, *26*, 100262.
77. Leonel, M.; Freitas, T.S.d.; Mischan, M.M. Physical characteristics of extruded cassava starch. *Sci. Agric.* **2009**, *66*, 486–493.
78. Guimarães, R.M.; Ida, E.I.; Falcão, H.G.; Rezende, T.A.M.d.; Silva, J.d.S.; Alves, C.C.F.; Silva, M.A.P.d.; Egea, M.B. Evaluating technological quality of okara flours obtained by different drying processes. *LWT* **2020**, *123*, 109062.
79. Masoodi, L.; Gull, A.; Nissar, J.; Ahad, T.; Gani, A.; Rather, A.H. Combination of buckwheat and almond flour as a raw material for gluten-free bakery products. *J. Food Meas. Charact.* **2023**, *17*, 4114–4124.
80. Espinosa-Pardo, F.A.; Savoie, R.; Subra-Paternault, P.; Harscoat-Schiavo, C. Oil and protein recovery from corn germ: Extraction yield, composition and protein functionality. *Food Bioprod. Process.* **2020**, *120*, 131–142.
81. Fernandes, D.C.; Dos Santos, G.F.; Borges, M.O.; Dias, T.; Naves, M.M.V. Blend of Baru (*Dipteryx alata* Vog.) By-products as Nutritive and Healthy Food Ingredients: Chemical Composition, Functional Properties and Application in Plant-Based Burger. *Plant Foods Hum. Nutr.* **2024**, *79*, 578–585.
82. Alves-Santos, A.M.; Silva, M.M.A.; Lima, M.S.; Souza, E.L.; Naves, M.M.V. Baru (*Dipteryx alata* Vog.) agro-industrial by-products promote the growth and metabolism of probiotic strains. *J. Appl. Microbiol.* **2023**, *134*, lxad206.
83. Duarte, F.N.D.; Rodrigues, J.B.; da Costa Lima, M.; Lima, M.D.S.; Pacheco, M.T.B.; Pintado, M.M.E.; de Souza Aquino, J.; de Souza, E.L. Potential prebiotic properties of cashew apple (*Anacardium occidentale* L.) agro-industrial by-product on *Lactobacillus* species. *J. Sci. Food Agric.* **2017**, *97*, 3712–3719.
84. Wang, S.; Xiao, Y.; Tian, F.; Zhao, J.; Zhang, H.; Zhai, Q.; Chen, W. Rational use of prebiotics for gut microbiota alterations: Specific bacterial phylotypes and related mechanisms. *J. Funct. Foods* **2020**, *66*, 103838.
85. ISAPP. International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics. 2024. Prebiotic. Available online: <https://isappscience.org/for-scientists/resources/prebiotics/> (accessed on 6 April 2024).
86. Zhang, S.; Hu, H.; Wang, L.; Liu, F.; Pan, S. Preparation and prebiotic potential of pectin oligosaccharides obtained from citrus peel pectin. *Food Chem.* **2018**, *244*, 232–237.
87. Gibson, G.R.; Hutkins, R.; Sanders, M.E.; Prescott, S.L.; Reimer, R.A.; Salminen, S.J.; Scott, K.; Stanton, C.; Swanson, K.S.; Cani, P.D.; et al. Expert consensus document: The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus

statement on the definition and scope of prebiotics. *Nat. Reviews. Gastroenterol. Hepatol.* **2017**, *14*, 491–502.

88. Dávila, I.; Gullón, B.; Alonso, J.L.; Labidi, J.; Gullón, P. Vine shoots as new source for the manufacture of prebiotic oligosaccharides. *Carbohydr. Polym.* **2019**, *207*, 34–43.
89. Chen, X.; Sun, Y.; Hu, L.; Liu, S.; Yu, H.; Xing, R.e.; Li, R.; Wang, X.; Li, P. In vitro prebiotic effects of seaweed polysaccharides. *J. Oceanol. Limnol.* **2018**, *36*, 926–932.
90. Mosca, A.; Leclerc, M.; Hugot, J.P. Gut Microbiota Diversity and Human Diseases: Should We Reintroduce Key Predators in Our Ecosystem? *Front. Microbiol.* **2016**, *7*, 455.

CAPÍTULO III

ARTIGO 3

Aproveitamento Integral do Baru (*Dipteryx alata* Vog.): Potencial Nutricional e Tecnológico das Frações não Convencionais e a Sinergia de Compostos Bioativos para Aplicações Funcionais

Aproveitamento Integral do Baru (*Dipteryx alata* Vog.): Potencial Nutricional e Tecnológico das Frações não Convencionais e a Sinergia de Compostos Bioativos para Aplicações Funcionais

Tainara Leal de Sousa ¹, Andrea Mahn ², Víctor Zambrano ², Ana Carolina de Jesus Oliveira ¹, Flavio Alves da Silva ¹ and Mariana Buranelo Egea ³

¹ Departamento de Agronomia, Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia 74690-900, GO, Brasil; tainarasousa@discente.ufg.br

² Departamento de Engenharia Química, Universidade de Santiago do Chile, Avenida Libertador Bernardo O'Higgins 3363, Estación Central, Santiago 9170019, Chile; andrea.mahn@usach.cl; victor.zambrano@usach.cl

³ Instituto Federal Goiano de Educação, Ciência e Tecnologia, Campus Rio Verde, Rodovia Sul Goiana, Km 01, Caixa Postal 66, Rio Verde 75901-970, GO, Brasil; mariana.egea@ifgoiano.edu.br

RESUMO

Este estudo objetivou caracterizar as propriedades nutricionais, funcionais, minerais e os compostos fenólicos da junção de duas frações do baru que é o epicarpo e mesocarpo. A identificação desses compostos é essencial, uma vez que se trata de uma matéria prima geralmente descartada, mas que pode conter componentes benéficos à saúde. Além disso, essas frações podem apresentar maior potencial em relação a outras frações do baru, configurando-se como possíveis produtos para aplicações no desenvolvimento de alimentos funcionais. A farinha proveniente da junção do epicarpo e mesocarpo apresentou elevado teor de fibras com teores de 25,49 g/100 g, correspondendo a 101% da ingestão diária recomendada, além de teor proteico de 6,88 g/100 g e 6,53 g/100 g lipídico. Em relação ao seu perfil lipídico mostrou predominância de 66,51% de ácidos graxos insaturados, sobretudo o ácido oleico (C18:1). A composição mineral evidenciou destaque para 150 mg/100 g fósforo e 40 mg/100 g magnésio, além de ferro, manganês e zinco. A farinha de epicarpo e mesocarpo, apresentou o maior conteúdo de compostos fenólicos com teor de 2314 mg EAG/100 g e maior atividade antioxidante pelo método de DPPH de 1262 mg EACT/100 g. Conclui-se que a combinação de epicarpo e mesocarpo potencializa propriedades nutricionais e funcionais, superando as frações isoladas.

Palavras Chaves: Alimentos Funcional; propriedades bioativas; subprodutos vegetais; tecnologia de alimentos.

ABSTRACT

This study aims to characterize the nutritional, functional, mineral properties, and phenolic compounds of the combined fractions of baru (*Dipteryx alata* Vog.), specifically the epicarp and mesocarp. The identification of these compounds is essential, as they derive from a raw material that is usually discarded but may contain health-promoting components. Furthermore, these fractions may present greater potential compared to other parts of baru, thus representing promising products for applications in the development of functional foods. The flour obtained from the combination of epicarp and mesocarp showed a high fiber content of 25.49 g/100 g, corresponding to 101% of the recommended daily intake, as well as 6.88 g/100 g protein and 6.53 g/100 g lipids. Its lipid profile revealed a predominance of unsaturated fatty acids (66.51%), especially oleic acid (C18:1). The mineral composition highlighted phosphorus (150 mg/100 g) and magnesium (40 mg/100 g), in addition to relevant amounts of iron, manganese, and zinc. The epicarp–mesocarp flour also exhibited the highest phenolic content (2314 mg GAE/100 g) and the highest antioxidant activity by the DPPH method (1262 mg TE/100 g). It can be concluded that the combination of epicarp and mesocarp enhances nutritional and functional properties, surpassing the isolated fractions.

Keywords: Functional Foods; bioactive Properties; plant by-products; food technology

1. INTRODUÇÃO

Há uma necessidade urgente de recursos alimentares mais sustentáveis para alimentar a crescente população mundial, a busca por alimentos funcionais tem crescido consideravelmente nas últimas décadas, o que representa uma oportunidade para indústrias e pesquisadores projetarem produtos inovadores (Smâros et al., 2025; Silva et al., 2025). Recentemente, tem havido uma ênfase crescente na utilização sustentável de resíduos orgânicos e subprodutos gerados pela indústria alimentícia, impulsionada pela crescente conscientização ambiental e pela necessidade de uso mais eficiente de recursos (Şahin et al., 2021).

O cerrado brasileiro possui uma ampla diversidade de espécies vegetais inexploradas com alto potencial tecnológico para a indústria alimentícia, como o fruto do baru (*Dipteryx alata* Vog.), cuja a fração comestível é a amêndoa, enquanto os subprodutos agroindustriais como o endocarpo, mesocarpo e epicarpo ainda são raramente utilizados na nutrição humana (Viana et al., 2023). A castanha de baru tem sido amplamente comercializada, e sua extração de óleo atraiu atenção significativa devido ao seu status como um subproduto valioso de interesse comercial, o farelo de baru (Fernandes et al., 2025).

O epicarpo e mesocarpo, comumente conhecidos como casca e polpa do baru são descartados como resíduos sólidos durante a extração da castanha (Alves-Santos; Fernandes; Naves, 2021). É uma estratégia promissora o aproveitamento integral do fruto de baru para a valorização de subprodutos com potencial funcional, a parte de 1 kg do pericarpo de baru *in natura*, são obtidos 75% de endocarpo, 37% de mesocarpo e 12,5% de epicarpo, valores que após a secagem são reduzidos para 54,5%, 9,0% e 10% respectivamente.

Apesar da perda de umidade, as frações secas de epicarpo e mesocarpo apresentam rendimentos viáveis, a junção dessas duas frações favorece o desenvolvimento de formulações alimentares sustentáveis e reduz resíduos, agrega valor e contribui para a preservação ambiental.

Considerando a proposta de aproveitamento integral do fruto de baru, este estudo tem como objetivo avaliar o potencial funcional da farinha obtida pela combinação das frações de epicarpo e mesocarpo (PIME), investigando os efeitos da ação sinérgica entre esses componentes e avaliando o perfil nutricional, funcionalidade tecnofuncional, bem

como a atividade antioxidante e bioativa da PIME, além da identificação detalhada dos compostos fenólicos presentes em todas as frações do fruto.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material Vegetal e Preparação de Amostras

Os frutos de baru (aproximadamente 5 kg) foram coletados no Cerrado brasileiro (Caiapônia, Goiás, Brasil) no ponto de colheita indicado pelas sementes soltas, detectáveis ao chacoalhar o fruto. Os frutos foram manualmente separados em pericarpo e amêndoa de baru (BA). O pericarpo foi higienizado com hipoclorito de sódio (2 mg/L), submerso em água potável por 24 horas e, em seguida, separado em epicarpo (EPI), mesocarpo (MES) e endocarpo (END). Todas as partes foram secas em estufa com circulação de ar forçado (60 ± 2 °C) por 24 horas e posteriormente trituradas em moinho de facas (TE-650, Tecnal, Piracicaba, SP, Brasil), padronizadas para passarem em peneira $<0,71$ mm.

As amêndoas de baru cruas foram torradas a 200°C por 20 minutos para inativar os inibidores de tripsina, tornando-as adequadas para consumo humano (Sousa et al.,2024). O farelo de baru (BM), um subproduto da extração de óleo da amêndoa, foi fornecida pela empresa Flora do Cerrado (Jussara, Goiás, Brasil) e as amostras foram homogeneizadas e armazenadas (4 ± 2 °C) para análise.

2.2. Caracterização da farinha dos subprodutos e da Amêndoa do baru

2.2.1. Composição nutricional

A análise de rendimento das frações do pericarpo do baru, composto por epicarpo, mesocarpo e endocarpo. A partir de 1 kg pericarpo do baru in natura, foi obtido 0,125 g de epicarpo, 0,370 g de mesocarpo e 0,755 g de endocarpo. Após o processo de secagem, esses valores foram reduzidos para 0,100 g de epicarpo, 0,090 g de mesocarpo e 0,545 g de endocarpo.

A composição aproximada das matérias-primas foi determinada pela análise da umidade (método 934.06), cinzas (método 940.26), nitrogênio total (método 920.152), proteína (fator de conversão = 6,25) e lipídios (método 920.39) (AOAC,1995) O conteúdo de carboidratos foi estimado subtraindo os valores dos componentes mencionados de 100. O valor energético total foi estimado usando fatores de conversão de Atwater: 4 kcal/g para proteína, 4 kcal/g para carboidratos e 9 kcal/g para lipídios (Zou et al.,2007). O

método enzimático-gravimétrico determinou os conteúdos de fibra alimentar total (método 985.29) (AOAC,1995).

A determinação dos minerais foi realizada de acordo com Sousa, et al. (2019) As amostras foram secas em estufa a 105 °C, seguida de digestão ácida utilizando uma combinação de ácido nítrico (HNO₃) e ácido perclórico (HClO₄). Os minerais cálcio (Ca), magnésio (Mg), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) foram obtidas por espectroscopia de absorção atômica de duplo feixe (GBC-XPLORAA-2, Lakeside, Austrália). A quantificação de potássio (K) foi realizada por fotometria de chama (B-462, Micronal, Lakeside, Austrália), enquanto os teores de fósforo (P) e enxofre (S) foram determinados por espectrofotometria de absorção molecular (Silva, 2009).

A caracterização do perfil de ácidos graxos foi realizada conforme os procedimentos estabelecidos pelo método 996.06 (AOAC, 1995). O protocolo analítico incluiu a hidrólise da amostra previamente triturada, seguida pela extração lipídica utilizando éter dietílico de petróleo como solvente, após a evaporação dos solventes, os lipídios extraídos foram submetidos a reação de metilação, obtendo-se os ésteres metílicos dos ácidos graxos, os quais foram quantificados por cromatografia gasosa. As análises foram conduzidas em cromatógrafo (GCROM-8000, Intecrom, São Paulo, SP, Brasil) com temperatura ambiente de trabalho de 300 °C, equipado com detector de ionização de chama (GC-FDI, AGILENT, Santa Clara, CA, Estados Unidos) utilizando uma coluna DB-23 (30 m × 0,25 mm ID, J&W Scientific, Folsom, CA, EUA).

A partir da composição de ácidos graxos obtidas, foram calculados os índices de índice aterogênico (IA) (Equação (1)) e índice trombogênico (IT) (Equação (2)) de acordo com Ulbricht e Southgate (1991).

$$IA = \frac{C12:0 + C14:0 + C16:0}{MUFA + n-3 PUFA + n-6 PUFA} \quad \text{Equação 1}$$

$$IT = \frac{C12:0 + C16:0 + C18:0}{0,5 \times MUFA + 0,5 \times n-3 PUFA + 3 \times n-6 PUFA + \frac{n-3 PUFA}{n-6 PUFA}} \quad \text{Equação 2}$$

onde MUFA são os ácidos graxos monoinsaturados e PUFA os ácidos graxos poliinsaturados.

2.3. Propriedades tecnofuncionais

As propriedades funcionais de capacidade de absorção de água (CAA), solubilidade em água (SA) e capacidade de absorção de óleo (CAO) foram avaliadas com base no protocolo descrito por Okezie e Bello (1998), com adaptações. Para determinação da CAA e AS, alíquotas de 0,5 g das amostras foram homogeneizadas com 25 mL de água em tubos de Falcon, submetidas à agitação em vórtex multifuncional (K40-1020, Kasvi, São José dos Pinhais, PR, Brasil) por 1 minuto e posteriormente centrifugadas a 5300 rpm/20 min. Após a separação, o sobrenadante foi removido do tubo e o sólido úmido foi pesado para o cálculo de CAA de acordo com a Equação (3). A porção líquida previamente separada foi calculada pela Equação (3). O líquido sobrenadante previamente removido foi colocado em placa de Petri previamente pesada, levado à estufa com circulação de ar (Tecnal, modelo TE-394/1, Piracicaba, São Paulo, Brasil) e submetido à secagem a 105 °C até peso constante para evaporação da água. A massa final do líquido após a secagem foi utilizada para estimar a SA utilizando a Equação (4).

A determinação da CAO seguiu os mesmos procedimentos, substituindo a água por óleo comestível, sendo os resultados calculado utilizando a Equação (5).

$$CAA = \frac{\text{Resíduo de Evaporação (g)}}{\text{Peso da amostra (g)}} \times 100 \quad \text{Equação 3}$$

$$SA = \frac{\text{água absorvida pela amostra (g)}}{\text{Peso da amostra (g)}} \times 100 \quad \text{Equação 4}$$

$$CAO = \frac{\text{óleo absorvida pela amostra (g)}}{\text{Peso da amostra (g)}} \times 100 \quad \text{Equação 5}$$

A atividade emulsificante (AE) e a estabilidade da emulsão (EE) da farinha composta de epicarpo e mesocarpo foram determinadas com base no protocolo proposto por Yasumatsu, et al. (1972). Para a análise, alíquotas de 0,5 g da amostra foram transferidas para tubos Falcon, seguidas da adição de 5 mL de água e 5 mL de óleo de soja. A mistura foi submetida à homogeneização em agitador mecânico eletrônico (macro-Q250, Mylabor, Diadema, SP, Brasil) e posteriormente, centrifugada a 3000 rpm por 5 minutos. O resultado da AE foi quantificado por meio da Equação (6).

Para a determinação da EE, os tubos previamente utilizados foram submetidos a aquecimento em banho-maria a 80 °C por 30 min, seguidos de resfriamento em água corrente por 20 minutos e posterior centrifugação a 3000 rpm por 5 minutos. Os dados obtidos foram aplicados no cálculo da EE conforme a Equação (7). A EE foi avaliada mantendo os tubos em temperatura ambiente (23 °C ± 0,02), monitorando-se a redução do volume de espuma em intervalos de 30, 60, 90 e 120 minutos.

$$AE (\%) = \frac{\text{Camada emulsificada (mL)}}{\text{Volume total no tubo (mL)}} \times 100 \quad \text{Equação 6}$$

$$EE (\%) = \frac{\text{Camada emulsificada remanescente(mL)}}{\text{Camada emulsificada no tubo(mL)}} \times 100 \quad \text{Equação 7}$$

Para determinação da capacidade de formação de espuma (CFE) foi avaliada com base na metodologia proposta por Coffmann e Garciaj (1977). Para a análise, 1,0 g da amostra foi disperso em 50 mL de água e submetido a homogeneização por 5 minutos em agitador mecânico. Em seguida, a mistura foi transferida para uma proveta graduada de 100 mL, e o aumento do volume foi registrado. A CFE foi expressa em termos percentuais, calculada com base na diferença entre os volumes inicial e final, conforme a Equação (8).

$$CFE = \frac{\text{volume final} - \text{volume inicial}}{\text{volume inicial}} \times 100 \quad \text{Equação 8}$$

2.4 Compostos bioativos e atividade antioxidante

2.4.1 Extrato das frações do baru

A extração foi realizada de acordo com Oliveira-Alves et al. (2017); Pizarro; et al. (2012), utilizando uma solução de metanol:água (80:20, v/v). Para isso, 0,5 g das amostras foram homogeneizados com 10 mL de solução metanólica a 80%. Em seguida, a mistura foi submetida a banho-maria ultrassônico (Isolab, Isolab Laborgeräte GmbH, Wertheim, Alemanha) por 10 minutos a 8 V, agitada por 1 h e posteriormente centrifugada a 13.000 rpm por 5 min em centrífuga (MiniSpin, Eppendorf, Hamburgo, Alemanha). O sobrenadante foi removido e o volume ajustado para 5 mL com metanol a 80%. O extrato obtido foi utilizado nas análises de compostos fenólicos totais e na avaliação da atividade

antioxidante pelos métodos de poder antioxidante redutor de íons férricos (FRAP) e a atividade de eliminação de radicais livres em relação ao radical (DPPH).

2.4.2 Conteúdo fenólico total (CFT)

O teor de compostos fenólicos totais foi determinado por espectrofotometria em Espectrofotômetro UV-Vis (DU® 530, Beckman Coulter, Brea, CA, EUA), utilizando o reagente Folin-Ciocalteu, de acordo com (Faller; Fialho, 2009). Para a reação, 180 µL do extrato foram homogeneizados com 360 µL de água grau HPLC e 90 µL do reagente de Folin–Ciocalteu diluído em água (Folin:água, 50:50, v/v). Após homogeneização, a mistura foi mantida em repouso no escuro por 5 minutos. Em seguida, 450 µL de solução de carbonato de sódio (200 g/L) foram adicionados, e a reação permaneceu no escuro por mais 30 minutos. Após centrifugação a 13.000 rpm por 5 minutos, o sobrenadante foi coletado e a absorbância foi medida a 750 nm. Os resultados foram expressos como mg de equivalentes de ácido gálico (EAG) (mg EAG/ 100 g de epicarpo+mesocarpo. As análises foram realizadas em triplicata.

2.4.3 Capacidade de Redução de Íons Férricos (FRAP)

A capacidade antioxidante de redução de íons férricos foi avaliada utilizando o método FRAP (Zhou et al., 2016). O reagente FRAP foi preparado misturando-se solução de $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (20 mM), solução de TPTZ (10 mM em HCl 40 mM) e tampão acetato 0,3 M (pH 3,6) na proporção de 1:1:10 (v/v).

Para a análise, 100 µL do extrato de cada parte do baru foram misturados com 400 µL de metanol 80% (v/v) e 1 mL do reagente FRAP. Após homogeneização, as amostras foram incubadas a 37 °C por 30 minutos no escuro. A absorbância foi registrada a 593 nm, e os resultados foram expressos como mg de capacidade antioxidante equivalente de Trolox (CAET) por 100 g (mg CAET/100 g). As medições foram realizadas em triplicata.

2.4.4 Capacidade de Eliminação de Radicais Livres (DPPH)

A atividade antioxidante baseada na capacidade de eliminação de radicais livres foi determinada utilizando o radical estável DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazila) (Brand-Williams; Cuvelier; Berset, 1995). Para isso, os extratos de cada fração do baru foram preparados em seis diferentes diluições. De cada diluição, 40 µL foram misturados com 1960 µL de solução de DPPH (6×10^{-5} M em metanol).

A absorvância foi monitorada continuamente a 515 nm por 30 minutos. A concentração de DPPH restante foi calculada com base em uma curva de calibração construída previamente, e os resultados foram expressos em mg de capacidade antioxidante equivalente de Trolox (CAET) por 100 g (mg CAET/100 g). As análises foram realizadas em triplicata.

2.5 Análise de compostos fenólicos dos subprodutos e da amêndoa de baru

2.5.1 Obtenção dos Extratos

A análise foi conduzida no Laboratório de Biotecnologia de Alimentos da Universidade de Santiago do Chile (USACH). Para obtenção dos extratos dos subprodutos e da BA, pesou-se 1,0 g de cada amostra, previamente homogeneizada e, em seguida, adicionou-se 8 mL de metanol. As amostras foram agitadas em vortex por 30 s e mantidas em repouso à temperatura ambiente (25 °C) até a análise do perfil químico por PS-MS.

Para obtenção dos extratos dos subprodutos e da BA, pesou-se 1,0 g de cada amostra, que foram extraídos em 1,5 mL de metanol 70% (MeOH a 70%) a 70 °C por 30 min com mistura em vórtice a cada 5 min para facilitar a extração. As amostras foram centrifugadas (13.000 × g, 15 min, 4 °C). Os sobrenadantes foram coletados e o metanol foi completamente removido usando um evaporador rotativo Stuart RE-300 (Cole-Parmer, Staffordshire, Reino Unido) até a secura a 37 °C sob vácuo. O material seco obtido foi redissolvido em 1 mL de água ultrapura e filtrado através de filtros de PVDF de seringa de 0,22 µm (Millex[®] - GV, Merck, Darmstadt, Alemanha).

2.5.2. Quantificação HPLC-DAD

A quantificação foi conduzida em um HPLC-DAD (Shimadzu, Kyoto, Japão) fornecido com uma coluna C18 (tamanho de partícula de 5 µm, 250 × 4,6 mm) (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, EUA). As análises foram conduzidas no laboratório de Biotecnologia de Alimentos da Universidade de Santiago do Chile (USACH). A fase móvel consistiu em ácido trifluoroacético 0,1% (tampão A) e 0,1% de ácido trifluoroacético em acetonitrila (tampão B). O gradiente de eluição começou com 0% B em 0–5 min, mudando linearmente para 5,1% em 8 min, atingindo 99% B em 15 min e 0% B em 20 min. A temperatura foi ajustada em 30 °C, a vazão foi de 1 mL·min⁻¹ e o volume de injeção foi de 20 mL. Os cromatogramas foram adquiridos em diferentes comprimentos de onda: 280 nm – Ácido Gálico (Ácido 3,4,5-triidroxibenzoico- C₇H₆O₅),

330 nm, Ácido Clorogênico (Ácido 3-(3,4-dihidroxifenil)-2-hidroxi-propanoato de ácido quínico - $C_{16}H_{18}O_9$), 360 nm, Hidrato de Rutina (3,3',4',5,7-Pentahidroxi-flavona-3-rutinósido - $C_{27}H_{30}O_{16} \cdot xH_2O$) e 300 nm para Siringaldeído (3,5-Dimetoxi-4-hidroxibenzaldeído - $C_9H_{10}O_4$). A quantificação foi realizada pelo método do padrão externo comparando os resultados com uma curva padrão de ácido gálico, ácido clorogênico, hidrato de rutina e Siringaldeído. As medições foram realizadas em triplicata.

2.6 Análise Estatística

Os resultados foram expressos como média e desvio padrão e submetidos a análise de variância (ANOVA) para as amostras avaliadas neste estudo, seguida do teste de Tukey para comparação múltipla de médias, considerando-se diferenças significativas para $p < 0,05$. As análises estatísticas foram conduzidas no software Statistic versão 6.0 (Statsoft Inc.,EUA), e todas as análises foram realizadas em triplicata.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Composição nutricional

Os resultados da análise nutricional e do perfil de ácido graxo das frações do baru são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Composição proximal e de ácidos graxos das frações do fruto do baru (*Dipteryx alata* Vog.), incluindo frações do fruto de baru (*Dipteryx alata* Vog.), sendo amêndoa de baru (BA), farelo de baru (BB), epicarpo (EPI), mesocarpo (MES), farinha de epicarpo e mesocarpo (PIME) e endocarpo (END).

Composição Nutricional	BA*	BB*	EPI*	MES*	PIME	END*
Umidade (g/100g)	2,88±0,04 ^b	4,80±0,04 ^a	1,77±0,23 ^d	2,90±0,05 ^b	2,27±0,05 ^c	2,78±0,11 ^b
Cinzas (g/100g)	2,95±0,11 ^b	4,00±0,23 ^a	3,43±0,13 ^b	2,48±0,10 ^c	2,98±0,20 ^b	0,67±0,05 ^d
Proteínas (g/100g)	24,16±0,28 ^b	33,09±0,28 ^a	6,25±0,31 ^c	6,88±0,31 ^c	6,88±0,31 ^c	2,09±0,28 ^d
Lipídios (g/100g)	37,14±0,36 ^a	16,52±0,72 ^b	3,84±0,45 ^d	7,18±0,68 ^c	6,53±0,91 ^c	1,72±0,96 ^c
Fibra alimentar (g/100g)	18,22±0,93 ^c	17,60±0,87 ^c	33,36±0,77 ^b	29,32±1,29 ^c	25,49±0,42 ^d	59,34±0,18 ^a
Carboidratos (g/100g)	32,81±0,52 ^c	41,42±0,86 ^d	84,71±0,82 ^b	80,57±0,92 ^c	81,34±0,88 ^c	92,74±0,93 ^a
Valor Energético (kcal)	562,13±1,66 ^a	447,29±3,52 ^b	398,37±2,74 ^d	414,37±3,41 ^c	411,66±4,89 ^c	394,81±4,95 ^d
Gorduras Saturadas (g/100g)	17,72 ±0,01 ^c	13,12 ±0,09 ^f	40,06 ±0,01 ^a	36,36 ±0,01 ^b	33,49 ±0,01 ^c	30,54±0,01 ^{cd}
Gorduras Insaturadas Totais (g/100g)	82,28 ±0,01 ^{ab}	86,89±0,09 ^a	59,94 ±0,01 ^f	63,64±0,01 ^{dc}	66,51 ±0,01 ^{cd}	69,46±0,01 ^c
Gorduras Insaturadas Monoinsaturadas (g/100g)	51,94±0,01 ^b	54,21±0,18 ^b	53,84±0,01 ^b	58,82 ±0,01 ^a	60,14±0,01 ^a	52,78±0,01 ^b
Gorduras Insaturadas Poliinsaturadas (g/100g)	30,34 ±0,01 ^a	32,68±0,26 ^a	6,10±0,01 ^c	4,81 ±0,01 ^{cd}	6,36 ±0,01 ^c	16,68±0,01 ^b
Gorduras Trans (g/100g)	<0,1 ^a	<0,1 ^a	<0,1 ^a	<0,1 ^a	<0,1 ^a	<0,1 ^a
C15:0 (g/100g)	-	-	10,38±0,01 ^a	9,73±0,01 ^a	6,68 ±0,01 ^b	4,46±0,01 ^{bc}
C16:0 (g/100g)	8,06±0,01 ^b	7,60±0,01 ^b	22,21±0,01 ^a	22,85±0,01 ^a	21,05±0,01 ^a	20,49±0,01 ^a
C16:1 (g/100g)	-	-	8,22±0,01 ^a	10,16±0,01 ^a	9,11±0,01 ^a	3,55±0,01 ^c

C18:0 (g/100g)	4,66±0,01 ^b	5,54±0,01 ^b	7,47±0,01 ^a	3,78±0,01 ^{bc}	5,76±0,01 ^b	5,59±0,01 ^b
C18:1-cis(n9) (%)	51,94±0,01 ^{ab}	54,21±0,01 ^a	45,62±0,01 ^c	48,66±0,01 ^{bc}	51,03±0,01 ^{ab}	49,23±0,01 ^{bc}
C18:2-cis(n6) (%)	30,34±0,01 ^a	32,68±0,01 ^a	6,10±0,01 ^c	4,81±0,01 ^{cd}	6,36±0,01 ^c	16,68±0,01 ^b
IA	0,10±0,01 ^c	0,09±0,01 ^c	0,37±0,01 ^a	0,36±0,01 ^a	0,32±0,01 ^{ab}	0,29±0,01 ^b
IT	0,11±0,01 ^d	0,10±0,01 ^d	0,66±0,01 ^a	0,61±0,01 ^{ab}	0,55±0,01 ^b	0,34±0,01 ^c

* Dado já foi copilado de acordo com Sousa et al., (2024). Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). C15:0 (ácido pentadecanóico); C16:0 (ácido palmítico); C16:1 (ácido palmitoleico); C18:0 (ácido esteárico); C18:1-cis (9 n) (ácido oleico); e C18:2-cis (n6) (ácido linoleico).

O Regulamento Técnico sobre Informação Nutricional de Alimentos relata que um produto alimentício pode ser considerado fonte de proteínas quando apresenta pelo menos 6 g deste componente em uma porção de 100 g (ANVISA, 2012). Embora não apresente o maior teor, a PIME demonstra potencial para o enriquecimento proteico de diferentes formulações alimentares, por constituir uma fonte significativa de proteínas com teor de 6,88 g/100.

Esse valor encontrado de proteína na PIME é superior ao encontrado por Lorenzo et al., (2024) na farinha de banana verde (FBV) que apresentou 5,36 g/100 g. A FBV, assim como a PIME, é uma alternativa sustentável para o aproveitamento de resíduos com vida útil superior à da fruta *in natura*. Além disso, pode ser utilizada na indústria alimentícia na formulação de produtos como *muffins*, biscoitos e pães, agregando valor à fruta e promovendo benefícios ambientais e econômicos para países e comunidades produtoras.

As proteínas vegetais têm sido cada vez mais incorporadas em produtos alimentares globais, impulsionadas pela crescente demanda dos consumidores por fontes proteicas mais saudáveis, sustentáveis e de origem não animal (Tang et al., 2024). Além de atuarem como ingredientes funcionais e fortificantes em formulações alimentícias, essas proteínas também são utilizadas no desenvolvimento de novos alimentos na obtenção de peptídeos bioativos com potencial aplicação nutracêutica (Anyiam et al., 2025).

Nas últimas décadas, observa-se um crescente interesse na busca por fontes proteicas que apresentem alta qualidade nutricional, aliada à funcionalidade tecnológica e aplicações industriais, como emulsificação, solubilidade, gelificação, formação de espuma, viscosidade, capacidade de retenção de óleo e água (Langyan et al., 2022). As de origem vegetal além de serem adequadas para dietas veganas fornecem uma ampla gama de aminoácidos e são ricas em fibras, ácidos graxos poli-insaturados, oligossacarídeos e carboidratos que são diretamente absorvidas pelo organismo. Esses compostos auxiliam no tratamento e prevenção de diversas doenças como as cardiovasculares, redução do colesterol de lipoproteína de baixa densidade (LDL), obesidade e diabetes mellitus tipo II (Guasch-Ferré et al., 2019; Langyan et al., 2022).

Os maiores teores de fibra alimentar foram observados nos subprodutos END, EPI, MES e PIME com destaque para o endocarpo, que apresentou 59,34 g/100 g. Apesar de o endocarpo tenha alto teor de fibra, sua aplicação como ingrediente alimentício é

limitada devido ao sabor residual marcante, sendo ultimamente mais utilizado na produção de carvão ativado. Nesse caso, a junção das frações de epicarpo para o desenvolvimento da PIME representa uma alternativa viável e promissora para o desenvolvimento de subprodutos com potencial funcional para a indústria de alimentos.

A PIME é considerada um subproduto alimentar rico em fibras, onde uma porção de 100 g fornece cerca de 25,49 g de fibra. O resultado encontrado neste estudo é superior ao encontrado por Sharma, Yeasmen e Orsat (2024), que estudaram a farinha de okara, um subproduto obtido durante a produção de leite de soja e tofu e identificaram um teor de 17,065 g/100 g. A *European Food Safety Authority* (EFSA) recomenda o consumo de pelo menos 25 g de fibras por dia, o que pode trazer benefícios à saúde. Com base nessa recomendação a PIME é capaz de fornecer aproximadamente 101% da ingestão diária recomendada (EFSA, 2017).

A alta quantidade de fibras na PIME torna essa matéria-prima uma fonte potencial de nutrientes e com aplicação industrial, visto que fibras de leguminosas são consideradas ricas em pectina e apresentam propriedades de hidratação notáveis, como alta capacidade de retenção de água (Huang et al., 2021; Cavalcante et al., 2022). A fibra contribui para a regulação dos níveis de colesterol no sangue, auxilia na prevenção da obesidade e está associada à redução do risco de doenças cardiovasculares (Evans, 2019). O seu efeito no organismo ocorre principalmente por retardar a digestão no trato gastrointestinal, o que leva a um esvaziamento mais lento do estômago, esse processo prolonga a sensação de saciedade, ajudando a evitar o consumo excessivo de alimentos e, conseqüentemente, o ganho de peso corporal (Mazur et al., 2024).

A Organização Mundial Saúde, (OMS) destaca a importância tanto da quantidade quanto da qualidade da gordura consumida, abordando a ingestão total de gordura, de ácidos graxos saturados e de ácidos graxos trans em adultos, recomendando que a ingestão total de gordura não ultrapasse 30% da ingestão energética diária, sendo que, dentro desse limite, a maior parte das gorduras deve ser composta por ácidos graxos insaturados, enquanto a ingestão de ácidos graxos saturados deve ser limitada a menos de 10% da ingestão calórica total, e a de ácidos graxos trans a menos de 1% (World Health Organization, 2023).

Entre todas as frações estudadas, a PIME apresentou teor intermediário 6,53 g/100 g, superior ao das frações isoladas de epicarpo e endocarpo, esse resultado evidencia que a junção dos subprodutos representa uma estratégia eficaz.

O teor lipídico da PIME é inferior ao encontrado por Solanilla-Duque, Roa-Acosta e Bravo-Gómez (2025) para a farinha de quinoa, que apresentou 8,5 g/100 g. Os baixos níveis de gordura podem ser benéficos, pois garantem maior vida útil e estabilidade para os produtos, visto que todas as gorduras e alimentos que contêm gordura contêm alguns ácidos graxos insaturados e, portanto, são potencialmente suscetíveis à rancidez oxidativa (Reebe et al., 2000; Godswill, 2019).

A farinha de amêndoa, que é utilizada no desenvolvimento de novos produtos de panificação devido às suas propriedades nutricionais e sensoriais, contém 43,56 g/100 g lipídios e 18,2 g/100 g de fibra alimentar total (Burbano; Correa, 2024). A PIME, por sua vez, possui menor teor de lipídios e maior teor de fibras quando comparada à farinha de amêndoa, podendo ser utilizada como alternativa em formulações de alimentos funcionais.

O uso de farinhas alternativas como a PIME, promove transformações significativas, contribuindo para a melhoria da estrutura, sabor e estabilidade dos produtos de panificação, além de favorecer formulações com menor densidade calórica, maior teor de fibra dietética e alterações nas propriedades físico-químicas dos alimentos (Ramos, 2024).

As diferentes frações do baru *Dipteryx alata* Vog., apresentam perfis lipídico distintos, conforme discutido anteriormente por Sousa et al. (2024). Adicionalmente, a junção das frações de EPI e MES resultou na PIME, que apresentou um perfil lipídico equilibrado, com alta proporção de ácidos graxos insaturados contendo 66,51% de, dos quais 60,14% são ácidos graxos monoinsaturados, com predominância do ácido oléico (C18:1), e 6,4% poli-insaturados com destaque para o ácido linoleico (C18:2). Os AG saturados representam 33,49% da composição, incluindo principalmente os ácidos palmítico (C16:0) e esteárico (C18:0).

A farinha de PIME apresenta 6,36 g/100 g ácidos graxos poli-insaturados (PUFA) 60,14 e ácidos graxos monoinsaturados (MUFA). A redução da ingestão de gorduras saturadas e trans, associada ao aumento do consumo de gorduras insaturadas, especialmente PUFA e MUFA, contribui significativamente para a prevenção de doenças cardiovasculares, em casos de obesidade e hipercolesterolemia, recomenda-se limitar a ingestão de ácidos graxos saturados a menos de 10% do valor calórico total da dieta (Mazur et al., 2024).

Em relação aos seis tipos de ácidos graxos identificados na PIME, observou-se a predominância de 51,03% do ácido oleico (C18:1), os demais ácidos identificados com

21,05% palmítico (C16:0), 9,11% palmitoleico (C16:1), 6,68% pentadecanóico (C15:0), 6,36% linoleico (C18:2), e 5,76% esteárico (C18:0). Quando comparada á castanha do pará, que a sua composição lipídica apresenta majoritariamente 36,04 de ácido linoleico, seguido pelos ácidos oleico com 28,52 g/100 g, palmítico com 16,74 g/100 g e esteárico com 9,97 g/100 g Cardoso et al. (2017).

A PIME se destaca por apresentar maior teor de ácido oleico e concentrações mais elevadas de ácidos graxos monoinstaurados, mesmo sendo um subproduto agroindustrial. O alto teor oleico podem reduzir o risco de doença cardíaca coronária aumentando a lipoproteína de alta densidade e diminuindo os níveis de colesterol da lipoproteína de baixa densidade (Tindall et al., 2019).

Os índices de aterogenicidade (IA) e de trombogenicidade (IT) são parâmetros utilizados para avaliar a qualidade funcional da fração lipídica em alimentos. A PIME apresenta valores de IA de 0,32 e de IT 0,55, indicando um perfil lipídico favorável a saúde. Esses índices descrevem os efeitos da composição de ácidos graxos na probabilidade de aumento de algumas doenças coronárias (Summo et al. 2019).

Resultados semelhantes foram observados para a aveia da cultivar Seldon, que apresentou valores de IA de 0,27 e o IT de 0,49, conforme relatado por Capouchová et al., (2021). Entende-se que valores menores desses índices indicam uma relação mais saudável (Fuchs et al.,2019). Ambas as matérias-primas apresentam baixa capacidade aterogênica e trombogênica, evidenciando que a PIME, assim como a farinha de aveia, possui potencial funcional para ser utilizada em formulações com teor lipídico reduzido, destinadas á prevenção de doenças crônicas não transmissíveis, como as cardiovasculares.

O conteúdo mineral das amostras está demonstrado na Tabela 2, dentre os minerais avaliados a farinha apresenta um perfil mineral rico, com destaque para os altos teores de cálcio, ferro, potássio, manganês e cobre.

Tabela 2. Composição mineral do fruto de baru (*Dipteryx alata* Vog.) sendo amêndoa de baru (BA), farelo de baru (BB), epicarpo (EPI), mesocarpo (MES), farinha de epicarpo e mesocarpo (PIME) e endocarpo (END) e sua contribuição percentual para a ingestão diária recomendada (IDR calculada em uma porção de 20 g).

Fração/Nutriente	BA*	BB*	EPI*	MES*	PIME	END*	% RDI
Macronutrientes (mg/100 g)							
Fósforo	115,50±0,07 ^a	70,00±0,01 ^b	41,50±0,07 ^c	31,00±0,01 ^{cd}	150,00±0,00 ^a	11,00±0,01 ^e	0,03-100,43
Potássio	106,50±0,21 ^b	140,50±0,35 ^a	116,50±0,21 ^{ab}	81,50±0,21 ^c	114,00±0,01 ^{ab}	14,00±0,14 ^d	0,01-312,22
Cálcio	81,00±0,01 ^a	67,50±0,07 ^b	31,50±0,07 ^c	59,50±0,21 ^b	38,00±0,01 ^c	17,50±0,07 ^d	0,04-20,25
Magnésio	13,00±0,01 ^b	22,00±0,01 ^b	5,00±0,01 ^c	3,00±0,01 ^{cd}	40,00±0,00 ^a	2,0±0,01 ^d	0,01-5,50
Micronutrientes (mg/100 g)							
Ferro	38,10±0,14 ^c	61,80±0,57 ^a	47,40±0,14 ^b	28,35±0,35 ^d	23±0,02 ^e	21,20±0,57 ^e	23,56-68,67
Manganês	27,20±0,01 ^c	60,75±0,64 ^a	32,15±0,07 ^b	27,05±0,07 ^c	26±0,01 ^c	23,50±0,14 ^d	235,22-528,26
Cobre	12,60±0,14 ^b	22,40±0,01 ^a	8,50±0,01 ^c	6,10±0,01 ^d	6,00±0,04 ^d	2,65±0,07 ^e	23,04-497,78
Zinco	28,70±0,14 ^a	7,55±0,21 ^c	10,60±0,01 ^b	10,25±0,21 ^b	10±0,01 ^b	4,05±0,21 ^d	10,13-71,75

* Dado já foi copilado de acordo com Sousa et al., (2024). Médias Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$). Micrograma (μg). RDI: Ingestão diária recomendada porção de 20 g. Valores diários (%) de referência com base numa dieta de 2.000 kcal. DRI (2002/2005).

A fração de PIME, apresenta uma composição mineral equilibrada, com destaque para os teores de fósforo e 150 mg/100 g e magnésio 40 mg/100 g o maior entre todas as frações, além de quantidades relevantes de ferro, manganês e zinco. Os valores de minerais encontrados para a PIME superam os da farinha de aveia, a qual é amplamente utilizada na indústria alimentícia devido às suas propriedades funcionais. Segundo Wang et al., (2024), a composição mineral da farinha de aveia apresenta 52,3 mg/100 g cálcio, 114,5 mg/100 g magnésio, 4,47 mg/100g ferro, 3,86 mg/100 g zinco e 0,57 mg/100 g cobre. Considerando que a farinha de aveia é reconhecida pelo seu potencial funcional a PIME pode ser considerada um ingrediente funcional, com potencial para aplicação em alimentos enriquecidos, como farinhas compostas para misturas de panificação e barras nutricionais, além disso por se tratar de um subproduto, a farinha de epicarpo e mesocarpo contribui para práticas sustentáveis e para o aproveitamento integral de alimentos.

Alimentos vegetais são importantes fontes de minerais essenciais e podem ser utilizados na fortificação de outros alimentos para reduzir a desnutrição de micronutrientes, fornecendo macro e microminerais como o cálcio (Ca), fósforo (P) e flúor (F) encontrados na estrutura dos dentes, o Ca, magnésio (Mg), manganês (Mn), P, boro (B) e F que são encontrado nos ossos, o Ca e potássio (K), envolvido no controle da pressão arterial e além de minerais que atuam como catalisadores em reações metabólicas como o zinco (Zn), cobre (Cu), selênio (Se), Mg, e Mn (Vivar-Quintana, Absi, Hernández-Jiménez e Revilla, 2023).

Dentre os minerais avaliados na PIME, destacam-se, em relação a porcentagem da IDR por 20 g, o manganês 226,10%, o cobre 130,30%, o ferro 32,86% e o zinco 28,57%. Com base nos dados apresentados a farinha proveniente de epicarpo e mesocarpo destaca-se por seu alto valor em Mn e Cu, em 2023 a European Food Safety Authority (EFSA) atualizou os valores de referência para o consumo diário de cobre (Cu) e manganês (Mn) com base em novas evidências científicas sobre seus efeitos fisiológicos e limites de segurança.

Para o manganês, foi definido um limite superior tolerável de 3 mg/dia para adultos, considerando a possibilidade de efeitos neurotóxicos decorrentes da exposição prolongada a níveis elevados, (EFSA, 2023b). Já para o cobre a EFSA estabeleceu uma ingestão adequada de 1,3 mg/dia para adultos e um limite superior tolerável de 5 mg/dia para adultos, visando prevenir o acúmulo hepático e potenciais efeitos adversos (EFSA, 2023a). Com base nesses valores, a ingestão de apenas 11,5 g de PIME já atinge o limite

superior tolerável de manganês, enquanto 83,3 g atingem o limite tolerável de cobre, o que evidencia a alta densidade mineral da PIME e reforça a necessidade de sua utilização em quantidades controladas.

O zinco é essencial ao sistema imunológico, à síntese de proteínas e à defesa antioxidante, e sua deficiência compromete o crescimento, a cognição e a integridade celular, estando associado à prevenção de doenças crônicas degenerativas (Prasad; Bao, 2019). A PIME apresenta teor de 10 mg/100 g de zinco, o que corresponde a uma contribuição de 28,57% da ingestão diária recomendada em uma porção de 20 g, conforme estabelecido pela Resolução RDC nº 269/2005 da ANVISA, que preconiza uma ingestão de 7 mg/dia para adultos (BRASIL, 2005).

Ressalta-se a relevância nutricional do zinco, especialmente em populações suscetíveis a sua deficiência, como indivíduos com distúrbios gastrointestinais, incluindo doença celíaca, considerando que o zinco exerce papel fundamental na manutenção da integridade da mucosa intestinal e na função imunológica (Mystkowska; Plašuk; Szepeluk; Dmitrowicz, 2024). Devido à sua composição nutricional, a PIME pode ser utilizada em formulações alimentares, já que seu elevado teor de fibras de 25 g/100 g e os minerais de zinco, cobre, manganês ferro podem beneficiar indivíduos com distúrbios gastrointestinais, atuando de forma integrada modulação da resposta imunológica.

Em dietas restritivas como as isentas de glúten, a PIME representa uma alternativa promissora para o desenvolvimento de alimentos enriquecidos como ferro, ela apresenta teor expressivo de 23 mg/100 g fornecendo até 32,86% da ingestão diária recomendada. O ferro é um micronutriente essencial que participa do transporte e armazenamento de oxigênio e atua como cofator em reações do metabolismo energético, síntese de DNA, aminoácidos, hormônios e na resposta imunológica, sua absorção pode ser comprometida por condições como doença celíaca, Crohn e cirurgias bariátricas, exigindo suplementação nesses casos (STOVER, 2020).

Embora a PIME não seja uma fonte principal de potássio, sua inclusão em formulações alimentícias pode complementar a ingestão desse mineral, contribuindo com até 6,51% da IDR. A deficiência de potássio pode causar fadiga, câibras, fraqueza muscular, reflexos lentos, acne, pele seca e batimentos cardíacos irregulares, enquanto a sua ingestão é essencial para a contração muscular, regulação da frequência cardíaca, condução nervosa, equilíbrio eletrolítico e prevenção da hipertensão (Morais et al.,2022).

A utilização da farinha de epicarpo e mesocarpo em formulações alimentícias oferece benefícios nutricionais, por seu conteúdo de minerais com potencial funcional ao

representar uma estratégia sustentável de aproveitamento e ambientalmente responsável, se tornando um ingrediente promissor para desenvolvimento de alimentos funcionais.

3.2. Compostos Bioativos e Atividade Antioxidante

Na figura 1 apresenta os teores de compostos fenólicos totais, e atividade antioxidante pelos ensaios DPPH e FRAP, nas diferentes frações do baru. Os resultados obtidos demonstram que, entre todas as amostras avaliadas, a combinação do epicarpo e mesocarpo em uma única farinha apresentou os melhores resultados para compostos fenólicos totais e atividade antioxidante pelo método de DPPH. No método FRAP, o melhor resultado foi o farelo de baru, obteve os melhores resultados.

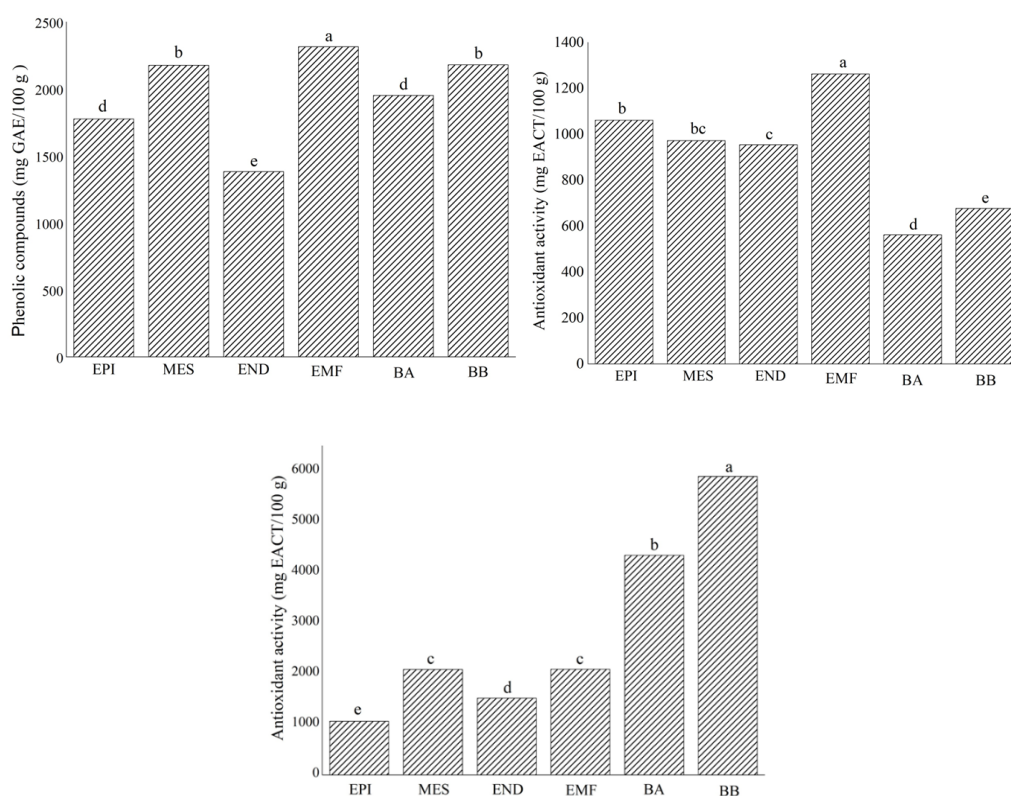


Figura 1. Compostos fenólicos totais (A) e atividade antioxidante por DPPH (B), FRAP (C) das frações do fruto de baru (*Dipteryx alata* Vog.), sendo amêndoa de baru (BA), farelo de baru (BB), epicarpo (EPI), mesocarpo (MES), farinha de epicarpo e mesocarpo (PIME) e endocarpo (END). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

De acordo com as análises realizadas no presente estudo, cujos resultados estão expressos na Figura 1A, a determinação de compostos fenólicos totais (CFT) evidenciou que a PIME apresentou o maior conteúdo, com 2314 mg EAG/100 g, houve diferença estatística das demais frações. Outras frações com teores elevados de CFT, foram o MES e BB, com 2175,47 e 2179,64 mg EAG/100 g respectivamente. A menor concentração foi observada no END, com 1382,94 mg EAG/100 g, valor aproximadamente 60% inferior ao da PIME.

Os compostos fenólicos desempenham múltiplas funcionalidades e bioatividades, como atividades antioxidantes, anti-hipertensivas e antimicrobianas, bem como inibição da carcinogênese e também são sugeridos para aplicações em alimentos como agentes ativos para controlar a oxidação lipídica e o crescimento microbiano em alimentos (Lemes et al., 2022).

Em relação à capacidade antioxidante, avaliada pelos ensaios DPPH e FRAP (Figuras 1B e 1C), observam-se diferenças significativas entre as frações. No ensaio DPPH, a PIME apresentou a maior atividade antioxidante 1262 mg EACT/100 g seguida pelas frações EPI e MES, evidenciando que a junção dessas duas frações contribui positivamente. Para o teste de FRAP, os maiores valores foram observados no BB e BA, com 5893 e 4336 mg EACT/100 g, respectivamente indicando elevado potencial redutor nessas frações nesse método.

O elevado teor de CFT e atividade antioxidante pelo método de DPPH da PIME e do MES é devido o mesocarpo do baru possuir alto teor de tanino, o que está relacionado à capacidade antioxidante da polpa, bem como ao seu sabor amargo e adstringência (Alves-Santos; Fernandes; Naves, 2021).

Ao comparar os valores encontrados na PIME, com os obtidos por Millar et al., (2019), observa-se que as farinhas de ervilha verde e amarela apresentaram teores inferiores de compostos fenólicos totais entre 121,93 e 129,85 mg EAG/100 g respectivamente e capacidade antioxidante reduzida, com valores de DPPH entre 57,66 e 60,97 mg AAE/100 g e FRAP entre 49,44 e 58,98 mg TE/100 g. A farinha de trigo, por sua vez, apresentou os menores valores nos três parâmetros analisados CFT 68,27 mg EAG/100 g, DPPH de 37,58 mg AAE/100 g e FRAP: 19,76 mg ET/100 g.

A farinha de ervilha tem sido muito utilizada na indústria alimentícia, especialmente em produtos *plant-based* devido ao seu perfil nutricional e funcionalidade. Nesse contexto, a PIME quando utilizada em conjunto, apresenta-se como uma matéria prima promissora para aplicações alimentares, por apresentar também um perfil

nutricional, funcional favorável, além de bons teores de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante. Os elevados teores de compostos fenólicos contribuem para agregar valor comercial e industrial ao fruto de baru, bem como para definir doses de intervenção em futuros estudos pré-clínicos e clínicos, bem como prolongar a vida útil de produtos alimentícios (Alves-Santos et al.,2023; Paramitasari et al.,2024).

Alguns estudos recentes relatam que o combate ao estresse oxidativo no metabolismo humano está diretamente associado ao consumo de alimentos que contenham compostos bioativos com propriedades antioxidantes (Patra; Abdullah; Pradhan, 2022). Nesse contexto, a PIME surge como uma matéria-prima promissora para a formulação de alimentos funcionais, podendo contribuir para o desenvolvimento de produtos mais estáveis e saudáveis, que não apenas conferem benefícios à saúde, como também agregam valor comercial e ampliam seu potencial de aplicação em produtos *plant-based*.

3.3. Caracterização Tecnofuncional

A Tabela 3 apresenta o índice de absorção de água (WAC), solubilidade em água (WS), capacidade de absorção de óleo (OAC), atividade emulsificante (EA), estabilidade da emulsão (ES) e capacidade de formação de espuma (FC) das frações avaliadas neste estudo.

Tabela 3. Propriedades tecnofuncionais do fruto de baru (*Dipteryx alata* Vog.) sendo das frações do fruto do baru (*Dipteryx alata* Vog.), incluindo frações do fruto de baru (*Dipteryx alata* Vog.), sendo amêndoa de baru (BA), farelo de baru (BB), epicarpo (EPI), mesocarpo (MES), farinha de epicarpo e mesocarpo (PIME) e endocarpo (END).

	BA*	BB*	EPI*	MES*	PIME	END*
CAA (g /g)	3,62±0,18 ^a	1,85±0,29 ^c	2,47±0,18 ^b	2,69±0,28 ^b	1,83±0,50 ^c	2,57±0,26 ^{ab}
ISA (g /g)	48,05±4,64 ^d	56,17±5,89 ^c	47,27±3,53 ^d	63,90±3,77 ^b	75,03±4,74 ^a	19,39±0,69 ^c
CAO (g /g)	3,28±0,49 ^a	3,17±0,20 ^a	3,18±0,29 ^a	3,58±0,52 ^a	3,34±0,08 ^a	3,66±0,16 ^a
AE (%)	71,94±0,96 ^a	66,11±0,96 ^b	27,02±2,00 ^d	68,51±1,42 ^b	38,39±4,28 ^c	37,20±0,32 ^c
EE (%)	87,69±5,82 ^a	57,13±4,70 ^d	65,73±4,57 ^c	81,14±3,10 ^b	90,96±2,92 ^a	88,47±5,70 ^a
CE (%)	8,17±0,24 ^a	4,00±0,01 ^{bc}	4,06±0,10 ^{bc}	5,56±0,34 ^b	1,92±0,07 ^c	2,38±0,69 ^d

* Dado já foi copilado de acordo com Sousa et al., (2024). Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$). Capacidade de absorção de água (CAA), Índice de solubilidade em água (ISA), Capacidade de absorção de óleo (CAO), Atividade emulsificante (AE), Estabilidade da emulsão (EE) e Capacidade espumante (CE).

Os resultados indicam que a PIME, em comparação com as demais frações, apresentou o maior índice de solubilidade em água 75,03 g/g e a maior estabilidade de emulsão 90,96%, indicando seu potencial para aplicações em sistemas aquosos e emulsificados. A amêndoa de baru apresentou a maior capacidade de absorção de água 3,62 g/g, atividade emulsificante de 71,94% e capacidade espumante de 8,17% demonstrando o perfil funcional mais equilibrado entre as interações com as fases aquosa e oleosa. Em relação a capacidade de absorção de óleo, todas as amostras apresentaram resultados próximos, variando de 3,17 a 3,66 g/g.

Em relação às propriedades tecnofuncionais, a PIME apresenta desempenho superior quando comparada a outras farinhas descritas na literatura, para a capacidade de absorção de água (CAA) de 1,83 g/g e capacidade de absorção de óleo (CAO) de 3,34 g/g, valores superiores aos relatados por Badia-Olmos et al., (2024) para farinha de quinoa, considerada funcional e sem glúten, com 1,43 g/g de CAA e 1,06 g/g de CAO. Em relação a CAA pode ser influenciada pelo teor de fibra presente na PIME que é de 25,49 g/100 g (Tabela 1), resulta em maior CAA, conforme Dhillon et al., (2025).

Propriedades tecnofuncionais como a absorção de água e de óleo, são determinantes para a textura e aceitação sensorial de alimentos variados, incluindo bolos, massas assadas, laticínios e carnes, além de melhorar a retenção de gordura, sabor e textura em produtos como carne processadas e análogos (Wang et al., 2023; Kisambra et al., 2015).

A PIME apresentou um valor de 75 g/g de solubilidade de água, superando significativamente as demais frações do fruto do baru, como a amêndoa de baru, farelo de baru, epicarpo, mesocarpo e endocarpo, que apresentaram valores variando de 19,39 a 63,90 g/g, conforme análise realizada por Sousa et al., 2024. A maior solubilidade da PIME contribui para a formação de emulsões estáveis e produtos com melhor consistência, além disso, sua menor tendência á retrogradação representa uma vantagem em produtos alimentícios como sopas e molhos, que sofrem perda de viscosidade e precipitação (Du et al., 2014; Adebowale; Lawal, 2003). Esse aumento na solubilidade facilita a emulsificação, permitindo que as proteínas se integrem melhor na interface água-óleo, o que por sua vez, aumenta a atividade de emulsificação (Segat et al., 2015).

A sinergia entre as frações de epicarpo e mesocarpo da PIME aumenta a sua solubilidade em água, apresentando duas vantagens técnicas, como, a utilização conjunta

dessas frações proporciona maior rendimento em comparação ao uso isolado de cada fração, além de oferecer propriedades funcionais superiores como maiores retenções de água. Essa característica representa uma vantagem significativa para a indústria de alimentícia, especialmente na formulação de produtos que exigem essas propriedades tecnofuncionais.

A PIME apresentou valores significativos em suas propriedades funcionais com 38,39% atividade emulsificante (AE), 90,26% de estabilidade da emulsão (EE). Comparando esses resultados com os da farinha de ervilha amarela, que apresenta AE e EE de 44,0% e 52,0% respectivamente (Setia et al., 2019). A atividade emulsificante pode ser afetada por características da proteína, como solubilidade, hidrofobicidade, massa molar, estabilidade conformacional e fatores psicoquímicos (pH, temperatura) (Tang; Ma, 2009).

Observa-se que a PIME supera a estabilidade de emulsão, devido às suas capacidades emulsificantes esses resultados indicam que pode ser utilizada na produção de alimentos sólidos e semissólidos, como hambúrgueres, salsichas e outros análogos de carne (Gouvêa et al., 2023). A baixa capacidade de formação espuma (CFE) de 1,92% da PIME pode estar associada ao baixo teor proteico de 6,88 g/100g, (Tabela 1), tensão superficial, pH e viscosidade (Chawla et al., 2017).

Com base nos resultados, a PIME constitui uma alternativa funcional eficaz para a indústria de alimentos vegetais, devido às suas boas propriedades, como capacidade de absorção de água, atividade emulsificante, estabilidade de emulsão e absorção de óleo, que promovem uma boa textura, estabilidade e consistência do produto.

3.4 Análise de compostos fenólicos dos subprodutos e da amêndoa de baru

A caracterização dos compostos fenólicos presentes nos extratos aquosos das diferentes frações do baru, conforme apresentado na tabela 5, revelou a presença significativa de ácidos fenólicos, como ácido gálico, clorogênico e seringaldeído, bem como flavonoides como a rutina, que são compostos bioativos relevantes para as propriedades antioxidantes funcionais e podem agregar na aplicação de um produto final.

Tabela 5. Compostos fenólicos detectados no extrato aquoso por HPLC – DAD do fruto de baru (*Dipteryx alata* Vog.) sendo amêndoa de baru (BA), farelo de baru (BB), epicarpo (EPI), mesocarpo (MES), farinha de epicarpo e mesocarpo (PIME) e endocarpo (END).

Amostras	PF Type	Retention Time (min)	Area	mg eq/100 g bs
EPI	Ácido gálico	16,020	102829	3,53
	Ácido sinápico	18,644	148256	5,01
	Ácido clorogênico	20,319	71742	3,51
	Ácido clorogênico	22,731	233717	11,46
	Ácido sinápico	26,931	46904	16,31
	Ácido gálico	30,094	503068	17,30
	Ácido sinápico	39,679	120691	4,03
MES	Ácido clorogênico	20,328	55321	4,79
	Ácido gálico	20,570	37376	2,84
	Rutin	24,681	22402	2,84
	Ácido clorogênico	26,220	52416	4,61
	Ácido gálico	30,082	462418	27,64
	Ácido gálico	39,648	521992	31,44
END	Ácido clorogênico	20,374	85922	8,05
	Ácido gálico	27,228	69817	4,60
PIME	Ácido clorogênico	15,499	42158	4,68
	Ácido gálico	17,255	24899	1,91
	Ácido clorogênico	18,629	222729	24,74
	Ácido clorogênico	18,644	92706	10,15
	Ácido gálico	20,789	45501	3,55
	Rutina	20,7995	25560	4,17
	Ácido clorogênico	22,7025	42534	4,69

	Rutina	26,177	24308	3,89
	Ácido gálico	30,025	324764	24,47
	Ácido clorogênico	39,601	44406	4,76
	Ácido clorogênico	18,633	130832	11,29
BA	Ácido gálico	19,419	69986	5,95
	Ácido clorogênico	21,391	254462	8,15
	Rutina	24,597	50638	7,65
	Ácido clorogênico	18,643	1340192	6,96
BB	Ácido clorogênico	19,425	167151	8,69
	Ácido gálico	21,405	1255914	4,58
	Rutina	24,638	629596	4,87

Os resultados foram expressos em mg/g e correspondem à média \pm DP (n = 3).

Os resultados obtidos evidenciaram a presença significativa de compostos fenólicos nas diferentes frações analisadas, destacando-se principalmente o ácido gálico, clorogênico, rutina e, em menor extensão, o ácido sinápico. Entre todas as frações, a PIME apresentou a maior diversidade e concentração desses quatro compostos analisados, sendo um extrato rico em compostos bioativos. É importante salientar que a sinergia entre epicarpo e mesocarpo apresenta mais compostos detectados do que as frações isoladas.

Entre todas as amostras analisadas, a PIME apresentou a maior soma de compostos fenólicos, totalizando 86.00 mg que/100 g, o que inclui altos teores de 24.74 mg equivalente de ácido clorogênico /100 g, 24.47 mg EAG /100 g e 8,06 mg ER/100 g, outros fenólicos menores, sugere uma ação sinérgica entre as frações do fruto, potencializando sua atividade antioxidante. Este resultado reforça o potencial de aproveitamento integral do fruto do baru, sobretudo de suas cascas, para aplicações funcionais e nutracêuticas.

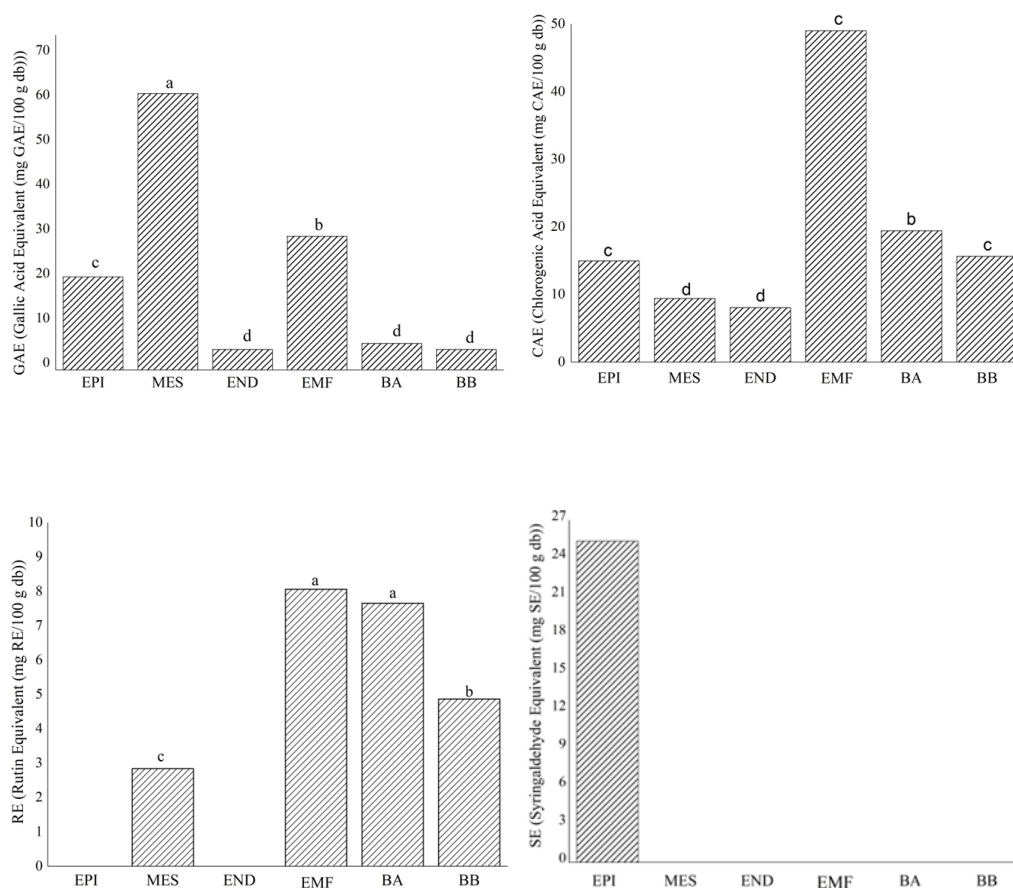


Figura 2. Compostos fenólicos (A) Ácido Gálico (B), Ácido Clorogênico (C), Rutina (D) Siringaldeído (Ácido Sinápico) das frações do fruto do baru (*Dipteryx alata* Vog.), sendo amêndoa de baru (AB), farelo de baru (FB), epicarpo (EPI), mesocarpo (MES), epicarpo e mesocarpo (PIME) e endocarpo (END). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Os ácidos gálicos e clorogênico foram os compostos mais abundantes encontrado nas amostras, com maiores teores para MES e a PIME, para gálico e clorogênico respectivamente. Em relação a avaliação dos teores de ácido gálico que também é conhecido com 3,4,5-tri-hidroxibenzoico nas frações de *Dipteryx alata*, a farinha de mesocarpo apresentou o maior conteúdo com teor de 61,92 mg EAG/100 g, seguida pelo teor de 29,93 mg EAG/100 g na farinha de PIME e 20,83 mg EAG/100 g do EPI. Este composto fenólico exibe efeitos de promoção da saúde em vários distúrbios, como diabetes, hiperlipidemia, hipertensão, síndrome metabólica e câncer (Xiang et al., 2024). É importante destacar o uso de produtos ricos em compostos fenólicos, como ácido gálico, sendo recomendável que farinhas como a do MES que contenham esse composto sejam

utilizadas pela utilizada na indústria e mais consumidas pela população, devido o seu benefício para saúde.

O antioxidante ácido quínico 3-(3,4-di-hidroxicinamoíla), também conhecido como ácido clorogênico é um importante antioxidante polifenólico natural, composto por um éster dos ácidos cafeico e quínico e está presente em diversas plantas, frutas, vegetais e ervas (Cejas; Disalvo; Frias, 2025). Entre os subprodutos estudados a PIME obteve 49,02 mg EAC/ 100 g, tendo o maior teor do que as demais amostras analisadas. Devido aos seus efeitos antioxidantes, antitumorais e antibacterianos, bem como às propriedades hepatoprotetoras e neuroprotetoras e a melhora no metabolismo lipídico, apresentando assim potencial como agentes antiobesidades o AC tem despertado muita atenção nos últimos anos (Neelakandan et al., 2022; Cho et al., 2010).

Em relação a quantidade de rutina (quercetina 3-rutinaosídeo) analisada nas frações e na BA, as amostras que obtiveram a maior concentração e com valores estaticamente iguais foi a PIME e a BA com 8,06 e 7,65 mg RE/100 g respectivamente. É possível observar na Figura 2C que houve ausência de rutina nas amostras de EPI e ENDO, a presença de rutina da PIME se deve a junção das duas frações e a contribuição desse composto no mesocarpo.

Os maiores conteúdos de rutina na PIME e BA, podem ser devidos à síntese fenólica ativa nesses tecidos, que atuam como agentes de defesa e proteção, a rutina é um glicosídeo do flavonoide quercetina que tem sido relatado como tendo um papel benéfico no controle de várias doenças, como hipertensão, arteriosclerose, diabetes e obesidade (Kianersi et al., 2020).

O siringaldeído (4-hidroxi-3,5-dimetoxibenzaldeído) é um composto polifenólico do grupo dos flavonoides, que são compostos polifenólicos de baixo peso molecular frequentemente encontrados em plantas (Lee et al., 2009; Malçok et al., 2020). O siringaldeído foi detectado exclusivamente no EPI com teor de 25 mg SE/100 g este resultado pode ser em relação a quantidade de fibras presentes nessa amostra que é de 59,34 g/100 g de acordo com Sousa et al., (2024), o siringaldeído um constituinte fenólico da parede celular de lignina das plantas (Brito-Filho et al., 2017).

A presença de fenólicos em diferentes tempos de retenção sugere diversidade estrutural e possibilidade de aplicação em encapsulamentos, filmes comestíveis ou ingredientes bioativos em alimentos funcionais. O aproveitamento tecnológico da PIME é particularmente promissor, por concentrar uma variedade expressiva de fenólicos com ação antioxidante comprovada.

4. CONCLUSÃO

O reaproveitamento de subprodutos para o desenvolvimento de produtos inovadores vai ao encontro da tendência de um mercado consumidor mais consciente, que busca ações sustentáveis, e de indústrias que buscam matérias-primas renováveis e com comprovado valor nutricional.

A farinha obtida da junção do epicarpo e mesocarpo do baru demonstra elevado potencial nutricional e funcional, destaca-se pelo aporte proteico e de fibras, e lipídico equilibrado, com predominância de ácidos graxos insaturados, sobretudo o ácido oleico. A composição mineral, com níveis expressivos de fósforo, magnésio e micronutrientes essenciais, reforça seu valor nutricional. O elevado conteúdo de compostos fenólicos e a significativa atividade antioxidante evidenciam seu potencial bioativo. Assim, a valorização dessa matéria-prima, geralmente descartada, representa uma estratégia sustentável e eficaz para ampliar o aproveitamento integral do baru e gerar produtos inovadores para a indústria alimentícia, sendo um fortificante alimentar viável para agregar valor em alimentos industrializados, a fim de superar futuros desafios de saúde, como desnutrição e insegurança alimentar.

REFERÊNCIAS

- ADEBOWALE, K. O.; LAWAL, O. S. Foaming, gelation and electrophoretic characteristics of mucuna bean (*Mucuna pruriens*) protein concentrates. *Food Chemistry*, [S.L.], v. 83, n. 2, p. 237-246, nov. 2003. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0308-8146\(03\)00086-4](http://dx.doi.org/10.1016/s0308-8146(03)00086-4).
- ALBUQUERQUE, T.M.R.; BORGES, C.W.P.; CAVALCANTI, M.T.; LIMA, M.D.S.; MAGNANI, M.; SOUZA, E.L. Potential prebiotic properties of flours from different varieties of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) roots cultivated in Northeastern Brazil. *Food Biosci.* 2020, 36, 100614.
- AMBY, D. B.; MEKUREYAW, M. F.; AKHTAR, S. S.; PANDEY, C.; ROITSCH, T. Simple and semi-high throughput determination of total phenolic, anthocyanin, flavonoid content, and total antioxidant capacity of model and crop plants for cell physiological phenotyping. *Plant Science*, [S.L.], p. 1-36, abr. 2025. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.plantsci.2025.112524>.
- ANYIAM, P. N.; PHONGTHAI, S.; GROSSMANN, L.; JUNG, Y. H.; SAI-UT, S.; ONSAARD, E.; RAWDKUEN, S. Potential plant proteins for functional food ingredients: composition, utilization and its challenges. *Nfs Journal*, [S.L.], v. 38, p. 1-17, mar. 2025. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.nfs.2025.100216>.
- AOAC. Official Methods of Analysis of AOAC International; *Association of Official Analytical Chemists*: Washington, DC, USA, 1995.
- ARNOUS, Anis; MAKRIS, Dimitris P.; KEFALAS, Panagiotis. Correlation of Pigment and Flavanol Content with Antioxidant Properties in Selected Aged Regional Wines from Greece. *Journal of Food Composition and Analysis*, [S.L.], v. 15, n. 6, p. 655-665, dez. 2002. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1006/jfca.2002.1070>.
- ALVES-SANTOS, A. M.; FERNANDES, D. C.; NAVES, M. M. V. Baru (*Dipteryx alata* Vog.) fruit as an option of nut and pulp with advantageous nutritional and functional properties: a comprehensive review. *Nfs Journal*, [S.L.], v. 24, p. 26-36, ago. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.nfs.2021.07.001>.
- BADIA-OLMOS, C.; SÁNCHEZ-GARCÍA, J.; LAGUNA, L.; ZÑIGA, E.; HAROS, C. M.; ANDRÉS, A. M.; TARREGA, A. Flours from fermented lentil and quinoa grains as ingredients with new techno-functional properties. *Food Research International*, [S.L.], v. 177, p. 1-9, fev. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113915>.
- BENZIE, Iris F.F.; STRAIN, J.J. The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of "Antioxidant Power": the frap assay. *Analytical Biochemistry*, [S.L.], v. 239, n. 1, p. 70-76, jul. 1996. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1006/abio.1996.0292>.
- BISWAL, A. K.; LENKA, C.; PANDA, P. K.; YANG, J. M.; MISRA, P. K. Investigation of the functional and thermal properties of Mahua deoiled cake flour and its protein isolate for prospective food applications. *LWT - Food Science and Technology*, [S.L.], v. 137, p. 1-7, fev. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110459>.

BONIN, A. M. F.; ÁVILA, S.; ETGETON, S. A. P.; LIMA, J. J.; SANTOS, M. P.; GRASSI, M. T.; KRÜGER, C. C. H. Ripening stage impacts nutritional components, antiglycemic potential, digestibility and antioxidant properties of grumixama (*Eugenia brasiliensis* Lam.) fruit. *Food Research International*, [S.L.], v. 178, p. 1-9, fev. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2024.113956>.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M.E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology* . 1995, 28, 25–30.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M.e.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, [S.L.], v. 28, n. 1, p. 25-30, 1995. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0023-6438\(95\)80008-5](http://dx.doi.org/10.1016/s0023-6438(95)80008-5).

BRASIL. (2012). Ministério da Saúde. ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Regulamento Técnico sobre Informação Nutricional Complementar. RDC N° 054, de 12 de novembro de 2012 (pp. 1–16). Brasília: DOU.

BRITO-FILHO, S. G.; MACIEL, J. K. S.; TELES, Y. C. F.; FERNANDES, M. M. M. S.; CHAVES, O. S.; FERREIRA, M. D. L.; FERNANDES, P. D.; FELIX, L. P.; CIRINO, I. C. S.; SIQUEIRA-JÚNIOR, J. P. Phytochemical study of *Pilosocereus pachycladus* and antibiotic-resistance modifying activity of syringaldehyde. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, [S.L.], v. 27, n. 4, p. 453-458, jul. 2017. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bjfp.2017.06.001>.

BURBANO, J. J.; CORREA, M. J. Almond flour a by-product of oil extraction: nutritional characterisation and impact on rheological properties of premixes for bakery products. *International Journal of Food Science & Technology*, [S.L.], v. 59, n. 5, p. 3126-3133, 19 mar. 2024. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1111/ijfs.17055>.

CAPOUCHOVÁ, I.; KOUŘIMSKÁ, L.; PAZDERŮ, K.; HĀVOROVÁ, P.; BOŽIK, M.; KONVALINA, P.; DVOŘÁK, P.; DVOŘÁČEK, V. Fatty acid profile of new oat cultivars grown via organic and conventional farming. *Journal of Cereal Science*, [S.L.], v. 98, p. 1-8, mar. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2021.103180>.

CARDOSO, B. R.; DUARTE, G. B. S.; REIS, B. Z.; COZZOLINO, S. M.F. Brazil nuts: nutritional composition, health benefits and safety aspects. *Food Research International*, [S.L.], v. 100, p. 9-18, out. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2017.08.036>.

CAVALCANTE, A. M. M.; MELO, A. M.; SILVA, A. V. F.; SILVA NETO, G. J.; BARBI, R. C. T.; IKEDA, M.; SILVA, G. B.; STEEL, C. J.; SILVA, O. S. M. Mesquite (*Prosopis juliflora*) grain flour: new ingredient with bioactive, nutritional and physical-chemical properties for food applications. *Future Foods*, [S.L.], v. 5, p. 1-9, jun. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fufo.2022.100114>.

CEJAS, J. del P.; DISALVO, E. A.; FRIAS, M. L. A. Effect of cholesterol on the antioxidant action of Ácido clorogênico in lipid membranes. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, [S.L.], v. 767, p. 1-11, maio 2025. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.abb.2025.110346>.

CHARLEBOIS, E.; PANTOPOULOS, K. Nutritional Aspects of Iron in Health and Disease. *Nutrients*, [S.L.], v. 15, n. 11, p. 1-15, 24 maio 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/nu15112441>.

CHAWLA, P.; BHANDARI, L.; SADH, P. K.; KAUSHIK, R. Impact of Solid-State Fermentation (*Aspergillus oryzae*) on Functional Properties and Mineral Bioavailability of Black-Eyed Pea (*Vigna unguiculata*) Seed Flour. *Cereal Chemistry*, [S.L.], v. 94, n. 3, p. 437-442, 22 fev. 2017. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1094/cchem-05-16-0128-r>.

CHENG, X.; ZHENG, J.; LIN, A.; XIA, H.; ZHANG, Z.; GAO, Q.; LV, W.; LIU, H. A review: roles of carbohydrates in human diseases through regulation of imbalanced intestinal microbiota. *Journal of Functional Foods*, [S.L.], v. 74, p. 1-8, nov. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jff.2020.104197>.

CHO, A. S.; JEON, S. M.; KIM, M. J.; YEO, J.; SEO, K. I.; CHOI, M. S.; LEE, M. K. Ácido clorogênico exhibits anti-obesity property and improves lipid metabolism in high-fat diet-induced-obese mice. *Food and Chemical Toxicology*, [S.L.], v. 48, n. 3, p. 937-943, mar. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2010.01.003>.

COFFMANN, C.W.; GARCIAJ, V.V. Functional properties and amino acid content of a protein isolate from mung bean flour. *Int. Journal Food Sci. Technol.* 1977, 12, 473–484.

CUÉLLAR-VILLARREAL, M. R., ORTEGA-HERNÁNDEZ, E., BECERRA-MORENO, A., WELTI-CHANES, J., CISNEROS-ZEVALLOS, L.; JACOBVELÁZQUEZ, D. A. (2016). Effects of ultrasound treatment and storage time on the extractability and biosynthesis of nutraceuticals in carrot (*Daucus carota*). *Postharvest Biology and Technology*, 119, 18–26. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.04.013>

DHILLON, B.; SHARMA, A.; KAUR, A.; PANDEY, V. K.; SODHI, K. S.; RUSTAGI, S.; KAUR, A.; MANOHARLAL, R.; SAIPRASAD, G.V.s. Characterization of brown rice flour, germinated soy flour and their blends: application in formulation of idlis. *Food Chemistry Advances*, [S.L.], v. 6, p. 1-9, mar. 2025. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.focha.2025.100916>.

DU, S. K.; JIANG, H.; YU, X.; JANE, J. L. Physicochemical and functional properties of whole legume flour. *Lwt - Food Science and Technology*, [S.L.], v. 55, n. 1, p. 308-313, jan. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2013.06.001>.

EFSA – EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY. *Re-evaluation of the existing health-based guidance values for copper*. EFSA Journal, Parma, v. 21, n. 6, p. 7728, 2023b. Disponível em: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2023.7728>. Acesso em: 26 março 2025.

EFSA – EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY. *Scientific opinion on the tolerable upper intake level for manganese*. EFSA Journal, Parma, v. 21, n. 11, p. 8413, 2023a. Disponível em: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2023.8413>. Acesso em: 26 março 2025a.

EFSA (European Food Safety Authority). *Dietary reference values for nutrients. Summary Report*. EFSA Supporting Publ. 2017, 14, e15121

ESPINOSA-SALAS, Santiago; GONZALEZ-ARIAS, Mauricio. Nutrition: micronutrient intake, imbalances, and interventions. In: *StatPearls [Internet]*. StatPearls Publishing, 2023.

EVANS, Charlotte Elizabeth Louise. Dietary fibre and cardiovascular health: a review of current evidence and policy. *Proceedings of The Nutrition Society*, [S.L.], v. 79, n. 1, p. 61-67, 3 jul. 2019. Cambridge University Press (CUP). <http://dx.doi.org/10.1017/s0029665119000673>.

FALLER, A.L.K.; FIALHO, E. The antioxidant capacity and polyphenol content of organic and conventional retail vegetables after domestic cooking. *Food Research International*, [S.L.], v. 42, n. 1, p. 210-215, jan. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2008.10.009>.

FUCHS, R. H. B.; RIBEIRO, R. P.; MATSUSHITA, M.; TANAMATI, A. A. C.; BONA, Ev.; SOUZA, A. H. P. Enhancement of the nutritional status of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) croquettes by adding flaxseed flour. *Lwt - Food Science and Technology*, [S.L.], v. 54, n. 2, p. 440-446, dez. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2013.07.004>.

GODSWILL, A. C. Proximate composition and functional properties of different grain flour composites for industrial applications. *International Journal of Food Sciences*, [S.L.], v. 2, n. 1, p. 43-64, 19 nov. 2019. IPR Journals and Books (International Peer Reviewed Journals and Books). <http://dx.doi.org/10.47604/ijf.1010>.

GOUVÊA, L.P.; CALDEIRA, R.; AZEVEDO, T. 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*, [S.L.], v. 137, p. 1-10, abr. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108351>.

Gross, J. (1991). *Pigments in vegetables. Pigments in vegetables*. Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2033-7>

GUASCH-FERRÉ, M.; ZONG, G.; WILLETT, W. C.; ZOCK, P. L.; WANDERS, A. J.; HU, F. B.; SUN, Q. Associations of Monounsaturated Fatty Acids From Plant and Animal Sources With Total and Cause-Specific Mortality in Two US Prospective Cohort Studies. *Circulation Research*, [S.L.], v. 124, n. 8, p. 1266-1275, 12 abr. 2019. Ovid Technologies (Wolters Kluwer Health). <http://dx.doi.org/10.1161/circresaha.118.313996>.

HUANG, JY.; LIAO, JS.; QI, JR.; JIANG, WX.; YANG, XQ. Structural and physicochemical properties of pectin-rich dietary fiber prepared from citrus peel. *Food Hydrocolloids*, [S.L.], v. 110, p. 1-8, jan. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106140>.

HUEBNER, J.; WEHLING, R. L.; HUTKINS, R. W. Functional activity of commercial prebiotics. *Int. Dairy J.* 2007, 17, 770–775.

KE, C.; ZHANG, X.; WANG, X. Association between dietary inflammatory index and all-cause mortality in patients with osteopenia or osteoporosis: a retrospective cohort

study from the nhanes 2007-2018. *Preventive Medicine Reports*, [S.L.], v. 45, p. 1-8, set. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pmedr.2024.102826>.

KETTRITZ, R.; LOFFING, J. Potassium homeostasis – Physiology and pharmacology in a clinical context. *Pharmacology & Therapeutics*, [S.L.], v. 249, p. 1-23, set. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pharmthera.2023.108489>.

KIANERSI, F.; ABDOLLAHI, M. R.; MIRZAIIE-ASL, A.; DASTAN, D.; RASHEED, F. Identification and tissue-specific expression of rutina biosynthetic pathway genes in *Capparis spinosa* elicited with salicylic acid and methyl jasmonate. *Scientific Reports*, [S.L.], v. 10, n. 1, p. 1-15, 1 jun. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-020-65815-2>.

KISAMBRA, A., MUYONGA, J. H., BYARUHANGA, Y. B., TUKAMUHABWA, P., TUMWEGAMIRE, S., GRUNEBERG, W. J. (2015). Composition and functional properties of yam bean (*Pachyrhizus* spp.) seed flour. *Food and Nutrition Sciences*, 6(8), 736–746. <https://doi.org/10.4236/fns.2015.6>

LAKSHMIPATHY, K.; BUVANESWARAN, M.; RAWSON, A.; CHIDANAND, D.V. Effect of dehulling and germination on the functional properties of grass pea (*Lathyrus sativus*) flour. *Food Chemistry*, [S.L.], v. 449, p. 1-8, ago. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.139265>.

LANGYAN, S.; YADAVA, P.; KHAN, F. N.; DAR, Z. A.; SINGH, R.; KUMAR, A. Sustaining Protein Nutrition Through Plant-Based Foods. *Frontiers In Nutrition*, [S.L.], v. 8, p. 1-20, 18 jan. 2022. Frontiers Media SA. <http://dx.doi.org/10.3389/fnut.2021.772573>.

LEE, C. Y.; SHARMA, A.; CHEONG, J. E.; NELSON, J. L. Synthesis and antioxidant properties of dendritic polyphenols. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, [S.L.], v. 19, n. 22, p. 6326-6330, nov. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bmcl.2009.09.088>.

LEMES, A. C.; EGEA, M. B.; OLIVEIRA FILHO, J. G.; GAUTÉRIO, G. V.; RIBEIRO, B. D.; COELHO, M. A. Z. Biological Approaches for Extraction of Bioactive Compounds From Agro-industrial By-products: a review. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, [S.L.], v. 9, p. 1-18, 27 jan. 2022. Frontiers Media SA. <http://dx.doi.org/10.3389/fbioe.2021.802543>.

LORENZO, M. M.; DÍAZ, A. P. B.; ROMERO, C. D.; RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ, E. M.; LOBO, M. Gloria. Physicochemical and Nutritional Characterization of Green Banana Flour from Discarded Cavendish Bananas. *Sustainability*, [S.L.], v. 16, n. 15, p. 1-15, 3 ago. 2024. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su16156647>.

MALÇOK, Ü. A.; ARAS, A. B.; ŞEHİTOĞLU, M. H.; AKMAN, T.; YÜKSEL, Y. Therapeutic effects of syringaldehyde on spinal cord ischemia in rabbits. *Saudi Medical Journal*, [S.L.], v. 41, n. 4, p. 341-350, abr. 2020. Saudi Medical Journal. <http://dx.doi.org/10.15537/smj.2020.4.24993>.

MAZUR, M.; PRZYTUŁA, A.; SZYMAŃSKA, M.; POPIOŁEK-KALISZ, J. Dietary strategies for cardiovascular disease risk factors prevention. *Current Problems in*

Cardiology, [S.L.], v. 49, n. 9, p. 1-10, set. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cpcardiol.2024.102746>.

MILLAR, K.A.; 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*, [S.L.], v. 82, p. 1-8, set. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2019.103233>.

MORAIS, R. A., TEIXEIRA, G. L., FERREIRA, S. R. S., CIFUENTES, A., & BLOCK, J. M. (2022). Nutritional composition and bioactive compounds of native brazilian fruits of the arecaceae family and its potential applications for health promotion. *Nutrients*, 14 (19), 4009. <https://doi.org/10.3390/nu14194009>

MYSTKOWSKA, Iwona; PLAŚUK, Ewa; SZEPELUK, Adam; DMITROWICZ, Aleksandra. Gluten-containing flours and gluten-free flours as a source of calcium, magnesium, iron and zinc. *Scientific Reports*, [S.L.], v. 14, n. 1, p. 1-11, 25 jun. 2024. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-024-65530-2>.

OKEZIE, B.O.; BELLO, A.B. Physicochemical and Functional Properties of Winged Bean Flour and Isolate Compared with Soy Isolate. *J. Food Sci.* 1988, 53, 450–454.

OLIVEIRA-ALVES, S. C., VENDRAMINI-COSTA, D. B., CAZARIN, C. B. B., MARÓSTICA, M. R., JR., FERREIRA, J. P. B., SILVA, A. B., PRADO, M. A.; BRONZE, M. R. (2017). Characterization of phenolic compounds in chia (*Salvia hispanica* L.) seeds, fiber flour and oil. *Food Chemistry*, 232, 295–305. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.002>.

OWHERUO, J. O.; AKPOGHELIE, P. O.; EDO, G. I.; OJULARI, A. E.; AGBO, J. J. Proximate, mineral, sensorial and microbiological properties of chin-chin produced from okra seed and wheat flour blends. *Food Chemistry Advances*, [S.L.], v. 2, p. 1-7, out. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.focha.2023.100298>.

PARAMITASARI, D.; PRAMANA, Y. S.; SUPARMAN, S.; PUTRA, O. N.; MUSA, M.; PUDJIANTO, K.; TRIWIYONO, B.; SUPRIYANTI, A.; ELISA, S.; SINGGIH, B. Valorization of Lampung Province banana peel cultivars: nutritional and functional characterizations for biscuit production and wheat flour substitution. *Journal of Food Measurement and Characterization*, [S.L.], v. 18, n. 12, p. 9906-9920, 23 out. 2024. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11694-024-02928-6>.

PARK, Yong Kun; IKEGAKI, Masaharu; ABREU, José A. da Silva; ALCICI, Nívia M. Freire. ESTUDO DA PREPARAÇÃO DOS EXTRATOS DE PRÓPOLIS E SUAS APLICAÇÕES. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, [S.L.], v. 18, n. 3, p. 313-318, ago. 1998. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0101-20611998000300011>.

PATRA, A.; ABDULLAH, S.; PRADHAN, R. C. Review on the extraction of bioactive compounds and characterization of fruit industry by-products. *Bioresources and Bioprocessing*, [S.L.], v. 9, n. 1, p. 1-25, 18 fev. 2022. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/s40643-022-00498-3>.

Peng, Y., Bie, S., Cai, S., Zhou, L., & Guo, C. (2025). Effects of high-pressure homogenization on phenolics profile, antioxidant activity, α -glucosidase inhibitory activity, and insulin resistance of peach juice during simulated gastrointestinal digestion. *Food Chemistry: X*, 102263.

PIZARRO, M. L.; BECERRA, M.; SAYAGO, A.; BELTRÁN, M.; BELTRÁN, R. Comparison of Different Extraction Methods to Determine Phenolic Compounds in Virgin Olive Oil. *Food Analytical Methods*, [S.L.], v. 6, n. 1, p. 123-132, 28 abr. 2012. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12161-012-9420-8>.

PRASAD, Ananda S.; BAO, Bin. Molecular Mechanisms of Zinc as a Pro-Antioxidant Mediator: clinical therapeutic implications. *Antioxidants*, [S.L.], v. 8, n. 6, p. 1-22, 6 jun. 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/antiox8060164>.

PULIDO, R.; BRAVO, L.; SAURA-CALIXTO, F. Antioxidant activity of dietary polyphenols as determined by a modified ferric reducing/antioxidant power assay. *J. Agric. Food Chem.* 2000, 48, 3396–3402.

RAMOS, P. R. Nutritional quality of bakery products enriched with alternative flours. *International Journal of Family & Community Medicine*, [S.L.], v. 8, n. 2, p. 49-54, 29 abr. 2024. MedCrave Group Kft.. <http://dx.doi.org/10.15406/ijfcm.2024.08.00349>.

RE, Roberta; PELLEGRINI, Nicoletta; PROTEGGENTE, Anna; PANNALA, Ananth; YANG, Min; RICE-EVANS, Catherine. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, [S.L.], v. 26, n. 9-10, p. 1231-1237, maio 1999. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0891-5849\(98\)00315-3](http://dx.doi.org/10.1016/s0891-5849(98)00315-3).

REEBE, S., GONZALEZ, V. N., AND RENGIFO, J. (2000). Research on trace elements in common beans. *Food Nutrition Bulletin*, 21, 387–391.

SETIA, R.; DAI, Z.; NICKERSON, M. T.; SOPIWNYK, E.; MALCOLMSON, L.; AI, Y. Impacts of short-term germination on the chemical compositions, technological characteristics and nutritional quality of yellow pea and faba bean flours. *Food Research International*, [S.L.], v. 122, p. 263-272, ago. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2019.04.021>.

SGANZERLA, W. G.; BELING, P. C.; FERRAREZE, J. P.; KOMATSU, R. A.; NUNES, M. R.; VEECK, A. P. L. Nutritional, physicochemical and antimicrobial properties of uvaia pulp (*Eugenia pyriformis* Cambess). *Communications In Plant Sciences*, [S.L.], p. 1-7, 2018. Communications in Plant Sciences. <http://dx.doi.org/10.26814/cps2018001>.

SGANZERLA, William Gustavo; BELING, Patrícia Carolina; FERREIRA, Ana Letícia Andrade; AZEVEDO, Mônia Stremel; FERRAREZE, Jocleita Peruzzo; KOMATSU, Roberto Akitoshi; NUNES, Michael Ramos; VEECK, Ana Paula de Lima. Geographical discrimination of uvaia (*Eugenia pyriformis* Cambess) by principal component analysis. *Journal Of The Science of Food and Agriculture*, [S.L.], v. 99, n. 15, p. 6778-6787, 30 set. 2019. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.9961>.

SHARMA, N.; YEASMEN, N.; ORSAT, V. Physicochemical, microstructural, and functional properties of Cicer arietinum okara flour—a chickpea beverage by-product. *International Journal of Food Science and Technology*, [S.L.], v. 59, n. 11, p. 8697-8707, 12 abr. 2024. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1111/ijfs.17146>.

SILVA, A. G. F.; MANTOVANI, R. A.; XAVIER, A. A. O.; TAVARES, G. M. Bioaccessibility of lutein incorporated into fat-free protein-rich matrices: relationship between microstructure and in vitro static digestion. *Food Hydrocolloids*, [S.L.], v. 169, p. 1-13, dez. 2025. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2025.111632>.

SILVA, F.C. *Manual de Análises Químicas de Solo, Plantas e Fertilizantes*, 2nd ed.; Embrapa Informação Tecnológica: Brasília, Brazil, 2009; p. 627.

SMÁROS, F.; VIDGREN, V.; RONDOU, K.; RIIHINEN, K.; MOHAMMADI, P.; DEWETTINCK, K.; VAN BOCKSTAELE, F.; KOIVURANTA, K.; SOZER, N. Microbial production of food lipids using the oleaginous yeast *Apiotrichum brassicae*. *Food Research International*, [S.L.], v. 200, p. 1-11, jan. 2025. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2024.115481>.

SINGLETON, V.L.; ROSSI, J.A. Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. *American J. Enol. Vitic.* 1965, 16, 144.

SOLANILLA-DUQUE, J. F.; ROA-ACOSTA, D. F.; BRAVO-GÓMEZ, J. E. Effect of pH and concentration on physicochemical, adsorption kinetics and rheology properties of quinoa protein: functional correlations. *Jcis Open*, [S.L.], v. 18, p. 1-17, jul. 2025. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jciso.2025.100131>.

SOUSA, M.F.D.; GUIMARÃES, R.M.; ARAÚJO, M.D.O.; BARCELOS, K.R.; CARNEIRO, N.S.; LIMA, D.S.; SANTOS, D.C.D.; BATISTA, K.D.A.; FERNANDES, K.F.; LIMA, M.C.P.M.; et al. Characterization of corn (*Zea mays* L.) bran as a new food ingredient for snack bars. *Lwt - Food Science and Technology* 2019, 101, 812–818.

STOVER, Patrick J. *Iron*. In: ROGERS, George M. (ed.). *Present Knowledge in Nutrition*. 11th ed. Washington (DC): International Life Sciences Institute, 2020. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/sites/books/NBK597352/>. Acesso em: 26 março 2025.

SUDHA, A.; SRINIVASAN, P. Bioassay-Guided Isolation and Antioxidant Evaluation of Flavonoid Compound from Aerial Parts of *Lippia nodiflora* L. *Biomed Research International*, [S.L.], v. 2014, p. 1-10, 2014. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/549836>.

SUMMO, C.; ANGELIS, D.; RICCIARDI, L.; CAPONIO, F.; LOTTI, C.; PAVAN, S.; PASQUALONE, A. Nutritional, physico-chemical and functional characterization of a global chickpea collection. *Journal of Food Composition and Analysis*, [S.L.], v. 84, p. 1-9, dez. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2019.103306>.

SURVESWARAN, S.; CAI, Y.-Z.; CORKE, H.; SUN, M. Systematic evaluation of natural phenolic antioxidants from 133 Indian medicinal plants. *Food Chem.* 2007, 102, 938–953.

SWAIN, T.; HILLIS, W. E.. The phenolic constituents of *Prunus domestica*. I. The quantitative analysis of phenolic constituents. *Journal of The Science of Food and Agriculture*, [S.L.], v. 10, n. 1, p. 63-68, jan. 1959. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.2740100110>.

TANG, C. H., & MA, C. Y. (2009). Heat-induced modifications in the functional and structural properties of vicilin-rich protein isolate from kidney (*Phaseolus vulgaris* L.) bean. *Food Chemistry*, 115(3), 859–866. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.12.104>

TANG, J.; YAO, D.; XIA, S.; CHEONG, L.; TU, M. Recent progress in plant-based proteins: from extraction and modification methods to applications in the food industry. *Food Chemistry: X*, [S.L.], v. 23, p. 1-14, out. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101540>.

TINDALL, A. M.; PETERSEN, K. S.; SKULAS-RAY, A. C.; RICHTER, C. K.; PROCTOR, D. N.; KRIS-ETHERTON, P. M. Replacing Saturated Fat With Walnuts or Vegetable Oils Improves Central Blood Pressure and Serum Lipids in Adults at Risk for Cardiovascular Disease: a randomized controlled :feeding trial. *Journal of the American Heart Association*, [S.L.], v. 8, n. 9, p. 1-18, 7 maio 2019. Ovid Technologies (Wolters Kluwer Health). <http://dx.doi.org/10.1161/jaha.118.011512>.

ULBRICHT, T. L.; SOUTHGATE, D. A. Coronary heart disease: Seven dietary factors. *Lancet* 1991, 338, 985–992.

ULLAH, S.; HUSSAIN, A.; ALI, J.; ULLAH, K.; ULLAH, A. A Simple and Rapid HPLC Method for Analysis of Vitamin-C in Local Packed Juices of Pakistan. *Middle-East J. Sci. Res.* 2012, 12, 1085–1091.

VIANA, H. N. A. C.; SGANZERLA, W. G.; CASTRO, L. E. N.; VEECK, A. P. L. Characterization of baru (*Dipteryx alata* Vog.) and application of its agro-industrial by-product in the formulation of cookies. *Journal of Agriculture and Food Research*, [S.L.], v. 12, p. 1-7, jun. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100577>.

VIVAR-QUINTANA, Ana M.; ABSI, Yamina; HERNÁNDEZ-JIMÉNEZ, Miriam; REVILLA, Isabel. Nutritional Value, Mineral Composition, Fatty Acid Profile and Bioactive Compounds of Commercial Plant-Based Gluten-Free Flours. *Applied Sciences*, [S.L.], v. 13, n. 4, p. 1-20, 10 fev. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/app13042309>.

WANG, J.; ZHOU, X.; JU, S.; CAI, R.; ROOPESH, M.s.; PAN, D.; DU, L. Influence of atmospheric pressure plasma jet on the structural, functional and digestive properties of chickpea protein isolate. *Food Research International*, [S.L.], v. 174, p. 1-11, dez. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113565>.

WANG, R.; ROUSTA, Neda; MAHBOUBI, Amir; FRISTEDT, Rikard; UNDELAND, Ingrid; SANDBERG, Ann-Sofie; TAHERZADEH, Mohammad J. In vitro protein digestibility and mineral accessibility of edible filamentous Fungi cultivated in oat flour. *Nfs Journal*, [S.L.], v. 36, p. 1-9, ago. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.nfs.2024.100189>.

World Health Organization. (2023, July 19). *WHO releases new guidelines on fat intake*. <https://www.who.int/news/item/19-07-2023-who-releases-new-guidelines-on-fat-intake>

XIANG, G.; GUO, S.; XING, N.; DU, Q.; QIN, J.; GAO, H.; ZHANG, Y.; WANG, Si. Mangiferin, a Potential Supplement to Improve Metabolic Syndrome: current status and future opportunities. **The American Journal Of Chinese Medicine**, [S.L.], v. 52, n. 02, p. 355-386, jan. 2024. World Scientific Pub Co Pte Ltd. <http://dx.doi.org/10.1142/s0192415x24500150>.

XU, K.; ALVES-SANTOS, A. M.; DIAS, T.; NAVES, M. M. V. Grumixama (*Eugenia brasiliensis Lam.*) cultivated in the Cerrado has high content of bioactive compounds and great antioxidant potential. *Ciência Rural* 2020, 50, e20190630.

YASUMATSU, K.; SAWADA, K.; MORITAKA, S.; MISAKI, M.; TODA, J.; WADA, T.; ISHII, K. Whipping and Emulsifying Properties of Soybean Products. *Agric. Biol. Chem.* 1972, 36, 719–727.

ZHOU, Linyan; CAO, Zhenzhen; BI, Jinfeng; YI, Jianyong; CHEN, Qinqin; WU, Xinye; ZHOU, Mo. Degradation kinetics of total phenolic compounds, capsaicinoids and antioxidant activity in red pepper during hot air and infrared drying process. *International Journal Of Food Science & Technology*, [S.L.], v. 51, n. 4, p. 842-853, 22 fev. 2016. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1111/ijfs.13050>.

ZOU, M.L.; MOUGHAN, P.J.; AWATI, A.; LIVESEY, G. Accuracy of the Atwater factors and related food energy conversion factors with low-fat, high-fiber diets when energy intake is reduced spontaneously. *Am. J. Clin. Nutr.* 2007, 86, 1649–1656.

CAPÍTULO IV

ARTIGO 4

Digestão gastrointestinal *in vitro* da farinha da amêndoa de baru e dos subprodutos
(*Dipteryx alata Vog.*) avaliação de compostos fenólicos por HPLC-DAD

Digestão gastrointestinal *in vitro* da farinha da amêndoa de baru e dos subprodutos
(*Dipteryx alata Vog.*) avaliação de compostos fenólicos por HPLC-DAD

Tainara Leal de Sousa ¹, Andrea Mahn ², Víctor Zambrano ² and Mariana Buranelo
Egea ³

¹ Departamento de Agronomia, Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia 74690-900, GO, Brasil; tainarasousa@discente.ufg.br

² Departamento de Engenharia Química, Universidade de Santiago do Chile, Avenida Libertador Bernardo O'Higgins 3363, Estación Central, Santiago 9170019, Chile; andrea.mahn@usach.cl; victor.zambrano@usach.cl

³ Instituto Federal Goiano de Educação, Ciência e Tecnologia, Campus Rio Verde, Rodovia Sul Goiana, Km 01, Caixa Postal 66, Rio Verde 75901-970, GO, Brasil; mariana.egea@ifgoiano.edu.br

RESUMO

Dentre os seis biomas brasileiros, o Cerrado se destaca pela diversidade de espécies com elevado potencial nutricional e valor econômico. O baru (*Dipteryx alata* Vogel) é um desses frutos, amplamente reconhecido por sua amêndoa, parte comestível e mais consumida, que apresenta alto valor nutritivo e importância comercial. Entretanto, outras frações do fruto, como o pericarpo, que é constituído por epicarpo, mesocarpo e endocarpo, além de subprodutos obtidos do processamento, como o óleo e o farelo de baru, permanecem pouco utilizadas e, em grande parte, destinadas ao descarte ou ao consumo animal. Considerando esse panorama e a necessidade de ampliar o conhecimento sobre o aproveitamento integral do fruto, o objetivo deste trabalho foi realizar a digestão gastrointestinal *in vitro* da amêndoa e dos subprodutos do baru (*Dipteryx alata* Vogel), com posterior avaliação dos compostos fenólicos liberados durante o processo. A análise foi conduzida por meio de cromatografia líquida de alta eficiência com detector de arranjo de diodos (HPLC-DAD), utilizando como marcadores o ácido gálico, ácido clorogênico, rutina hidratada e siringaldeído. De modo geral, os compostos fenólicos apresentaram maiores concentrações nas amostras sem digestão, com destaque para ácido gálico (34,82 a 152,62 mg eq/100 g bs) e clorogênico (18,75 a 76,20 mg eq/100 g bs). A digestão *in vitro* promoveu reduções progressivas, especialmente na fase intestinal, indicando instabilidade frente às condições fisiológicas. Entretanto, a farinha de PIME e o farelo de baru mantiveram elevada bioacessibilidade, confirmando-se como matrizes promissoras do ponto de vista funcional e nutracêutico, com potencial para aproveitamento integral do fruto.

Palavras-chave: Cerrado brasileiro; nutrientes; polifenóis; subprodutos agroindustriais.

ABSTRACT

Among the six Brazilian biomes, the Cerrado stands out for its diversity of species with high nutritional potential and economic value. The baru (*Dipteryx alata* Vogel) is one of these fruits, widely recognized for its edible almond, the most consumed part of the fruit, which has high nutritional value and commercial importance. However, other fractions of the fruit, such as the pericarp composed of epicarp, mesocarp, and endocarp as well as processing by-products, such as baru oil and bran, remain underexplored and are largely destined for disposal or animal consumption. Considering this context and the need to expand knowledge on the integral utilization of the fruit, the aim of this study was to perform *in vitro* gastrointestinal digestion of the almond and by-products of baru (*Dipteryx alata* Vogel), followed by evaluation of the phenolic compounds released during the process. The analysis was carried out using high-performance liquid chromatography with a diode array detector (HPLC-DAD), employing ácido gálico, ácido clorogênico, rutina hydrate, and syringaldehyde as markers. In general, phenolic compounds showed higher concentrations in the undigested samples, with emphasis on gallic and Ácido clorogênicos. The *in vitro* digestion promoted progressive reductions, especially in the intestinal phase, indicating instability under physiological conditions. However, PIME flour and baru bran maintained high bioaccessibility, confirming their potential as promising matrices from a functional and nutraceutical perspective, contributing to the integral utilization of the fruit.

Keywords: Brazilian Cerrado; nutrients; polyphenols; agro-industrial by-products.

1. INTRODUÇÃO

Ecossistemas tropicais, com ênfase particular no Cerrado brasileiro, são considerados de imensa importância ecológica devido à sua rica biodiversidade, reconhecida como a maior e mais biodiversa savana do mundo. O Cerrado abrange aproximadamente 204 milhões de hectares e abriga aproximadamente 5% de todas as espécies de plantas e animais globalmente (Carvalho; Barcia; Schmiele, 2025).

É importante utilizar frutos do Cerrado, como o baru, para agregar valor e fortalecer comunidades tradicionais, promovendo bioeconomia e preservação da biodiversidade, sendo que a amêndoa é a parte comestível e de maior valor comercial, consumida in natura ou destinada à extração de óleo com propriedades antioxidantes e hepatoprotetoras, enquanto outras frações como epicarpo, mesocarpo, endocarpo e farelo permanecem pouco exploradas, embora apresentem potencial nutricional, tecnológico e funcional, podendo ser aproveitadas como ingredientes alimentícios e reduzir impactos ambientais (Sousa et al., 2024).

O baru é um alimento que é uma combinação de diversos nutrientes e compostos bioativos com potencial funcional, o intestino é considerado um órgão responsável pelo bom funcionamento do cérebro (Bidô et al., 2023; Fernandes et al., 2025). Os compostos bioativos, abundantes nas frutas do Cerrado, têm sido associados à prevenção do estresse oxidativo e de doenças degenerativas, enfatizando suas potenciais contribuições para a promoção da saúde (Muscolo et al., 2024).

Embora os compostos bioativos da amêndoa e dos subprodutos do baru já tenham sido caracterizados, não há relatos sobre a bioacessibilidade de seus compostos fenólicos após a digestão gastrointestinal, tornando essencial ampliar o conhecimento nessa área. Ao utilizar o modelo de digestão *in vitro* INFOGEST, o estudo fornece insights únicos sobre o comportamento polifenólico em condições gastrointestinais realistas, que são relevantes para o desenvolvimento de ingredientes funcionais sustentáveis (Calvo et al., 2025).

A fim de superar a dificuldade de comparar os resultados de diferentes protocolos existentes na literatura, a rede COST INFOGEST estabeleceu um protocolo padronizado de digestão *in vitro*, Brodkorb et al., (2019), amplamente reconhecido por sua simplicidade, precisão e reprodutibilidade (Vellemans et al., 2025). Embora modelos estáticos não possam replicar completamente a digestão humana, eles continuam sendo

ferramentas valiosas para avaliar a bioacessibilidade de compostos em matrizes alimentares, demonstrando forte correlação com dados *in vivo* (Bohn et al., 2018).

Portanto, este estudo teve como objetivo identificar e quantificar compostos bioativos por meio do método de HPLC-DAD, avaliando a amêndoa e os subprodutos do baru após submetidos á digestão gastrointestinal *in vitro* em cada uma de suas fases.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material Vegetal e Preparação de Amostras

Os frutos de baru foram coletados no Cerrado brasileiro (Caiapônia, Goiás, Brasil) no ponto de colheita indicado pelas sementes soltas, detectáveis ao chacoalhar o fruto. Os frutos foram manualmente separados em pericarpo e amêndoa de baru (AB). O pericarpo foi higienizado com hipoclorito de sódio (2 mg/L), submerso em água potável por 24 horas e, em seguida, separado em epicarpo (EPI), mesocarpo (MES) e endocarpo (END). Todas as partes foram secas em estufa com circulação de ar forçado (60 ± 2 °C) por 24 horas e posteriormente trituradas em moinho de facas (TE-650, Tecnal, Piracicaba, SP, Brasil), padronizadas para passarem em peneira $<0,71$ mm.

As amêndoas de baru cruas foram torradas a 200°C por 20 minutos para inativar os inibidores de tripsina, tornando-as adequadas para consumo humano. A torta de baru (TB), um subproduto da extração de óleo da amêndoa, foi fornecida pela empresa Flora do Cerrado (Jussara, Goiás, Brasil) e as amostras foram homogeneizadas e armazenadas (4 ± 2 °C) para análise.

2.2 Digestão gastrointestinal *in vitro*

A digestão gastrointestinal *in vitro* foi conduzida segundo o protocolo de consenso INFOGEST (Brodkorb et al., 2019), reproduzindo as fases oral (α -amilase), gástrica (pepsina e HCl) e intestinal (sais biliares, pancreatina e NaHCO_3). Amostras dos subprodutos e a amêndoa de baru foram avaliadas antes e após cada fase, em triplicata, para análises do perfil fenólico e potencial antioxidante, utilizando sobrenadantes obtidos por centrifugação.

Na simulação *in vitro* da digestão de amostras sólidas, foram preparados fluidos salivares, gástricos e intestinais utilizando soluções estoque específicas, ajustadas conforme o pH característico de cada fase (oral: pH 7, gástrica: pH 3 e intestinal: pH 7). Na composição dos fluidos, empregaram-se cloreto de potássio (KCl , 37,3 g L^{-1}), fosfato monopotássico (KH_2PO_4 , 68 g L^{-1}), bicarbonato de sódio (NaHCO_3 , 84 g L^{-1}), cloreto de sódio (NaCl , 117 g L^{-1}), cloreto de magnésio hexahidratado ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 30,5 g L^{-1}), carbonato de amônio

$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, 48 g L^{-1}), ácido clorídrico (HCl , 6 mol L^{-1}) e água destilada, sendo o hidróxido de sódio (NaOH , 1 mol L^{-1}) utilizado exclusivamente para ajuste de pH.

Na fase oral, além dos sais, foi adicionado α -amilase (30 U/mg) e CaCl_2 ($25 \text{ }\mu\text{L}$) incorporado separadamente para evitar precipitação, reproduzindo as condições enzimáticas da saliva. Na fase gástrica, adicionou-se pepsina ($\geq 250 \text{ U/mg}$) e CaCl_2 ($20 \text{ }\mu\text{L}$), mantendo a acidez característica do estômago. Já na fase intestinal, foram incluídos sais biliares, pancreatina ($8 \times \text{USP}$), NaOH ($1,46 \text{ mL}$) para neutralização e CaCl_2 ($40 \text{ }\mu\text{L}$), simulando a ação combinada da bile e das enzimas pancreáticas. O CaCl_2 é adicionado separadamente aos fluidos, pois pode ocorrer precipitação; o NaOH é usado apenas para ajuste de pH (adaptado de Minekus et al., 2014).

2.2.1. Fase oral

Uma alíquota de $0,25 \text{ g}$ de subprodutos e amêndoa de baru, foi pesada em tubos de falcon 50 mL . Em seguida, $3,5 \text{ mL}$ de fluido salivar ($25 \text{ }\mu\text{L}$ de CaCl_2 e $0,975 \text{ }\mu\text{L}$ de H_2O). O pH das misturas foi ajustado para $7,0$ com NaOH 1 M . Em seguida, $0,5 \text{ mL}$ da α -amilase (75 U/mL) foi adicionado, seguido de agitação vigorosa por 2 min à temperatura ambiente ($\pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$) com vórtice. Finalmente, os tubos de ensaio foram transferidos para um banho de gelo a aproximadamente $4 \text{ }^\circ\text{C}$ para interromper a reação enzimática.

2.2.2. Fase gástrica

Após a fase oral, adicionou-se $7,5 \text{ mL}$ de fluido gástrico ($20 \text{ }\mu\text{L}$ de CaCl_2 e $0,700 \text{ }\mu\text{L}$ de H_2O) as amostras. O pH foi ajustado para $3,0$ com HCl 6 M e $1,6 \text{ mL}$ de pepsina (2000 U/mL) foi adicionado. A digestão ocorreu por 2 h a $37 \text{ }^\circ\text{C}$ sob agitação constante em um agitador de banho-maria (DUBNOFF digital NI 1232) a 150 rpm em agitador banho maria. A reação foi interrompida por resfriamento em banho de gelo a aproximadamente $4 \text{ }^\circ\text{C}$ para interromper a reação enzimática.

2.2.3. Fase intestinal

Uma alíquota de 11 mL de fluido intestinal ($40 \text{ }\mu\text{L}$ de CaCl_2 ; $2,5 \text{ mL}$ de sais biliares - $0,8 \text{ mM}$ de glicodesoxicolato de sódio, $0,45 \text{ mM}$ de hidrato de taurodesoxicolato de sódio e $0,75 \text{ mM}$ de hidrato de taurocolato de sódio; e $1,46 \text{ mL}$ de NaOH 1 M) foi adicionada aos tubos após a reação da fase gástrica. Em seguida, o pH da mistura foi ajustado para $7,0$. Em seguida, 5 mL de pancreatina (atividade equivalente a $8 \times \text{USP}$) foram adicionados. Em seguida, os tubos foram mantidos por 2 h a $37 \text{ }^\circ\text{C}$ sob agitação constante. Os tubos foram transferidos para um

banho de gelo a aproximadamente 4 °C para interromper a reação enzimática. Nesta fase e na anterior, o sobrenadante foi reservado sob refrigeração até novas análises após a conclusão da reação enzimática.

2.3 Análise de compostos fenólicos dos subprodutos e da amêndoa de baru

2.3.1 Obtenção dos Extratos

A análise foi conduzida no Laboratório de Biotecnologia de Alimentos da Universidade de Santiago do Chile (USACH). Os extratos corresponderam aos sobrenadantes obtidos da amostra controle isenta de digestão, e daqueles coletados ao término de cada etapa do processo simulado (oral, gástrico e intestinal), conforme a metodologia descrita por Morais et al. (2025).

2.3.2. Quantificação HPLC-DAD

A quantificação foi conduzida em um HPLC-DAD (Shimadzu, Kyoto, Japão) fornecido com uma coluna C18 (tamanho de partícula de 5 µm, 250 × 4,6 mm) (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, EUA). As análises foram conduzidas no laboratório de Biotecnologia de Alimentos da Universidade de Santiago do Chile (USACH). A fase móvel consistiu em ácido trifluoroacético 0,1% (tampão A) e 0,1% de ácido trifluoroacético em acetonitrila (tampão B). O gradiente de eluição começou com 0% B em 0–5 min, mudando linearmente para 5,1% em 8 min, atingindo 99% B em 15 min e 0% B em 20 min. A temperatura foi ajustada em 30 °C, a vazão foi de 1 mL·min⁻¹ e o volume de injeção foi de 20 mL. Os cromatogramas foram adquiridos em diferentes comprimentos de onda: 280 nm – Ácido Gálico (Ácido 3,4,5-triidroxibenzoico- C₇H₆O₅), 330 nm, Ácido Clorogênico (Ácido 3-(3,4-dihidroxifenil)-2-hidroxi-propanoato de ácido quínico - C₁₆H₁₈O₉), 360 nm, Hidrato de Rutina (3,3',4',5,7-Pentahidroxi-flavona-3-rutinaósido - C₂₇H₃₀O₁₆·xH₂O) e 300 nm para Siringaldeído (3,5-Dimetoxi-4-hidroxibenzaldeído - C₉H₁₀O₄). A quantificação foi realizada pelo método do padrão externo comparando os resultados com uma curva padrão de ácido gálico, ácido clorogênico, hidrato de rutina e siringaldeído. As medições foram realizadas em triplicata.

2.4 Análise Estatística

Os resultados foram expressos como média e desvio padrão e submetidos a análise de variância (ANOVA) para as amostras avaliadas neste estudo, seguida do teste de Tukey para comparação múltipla de médias, considerando-se diferenças significativas para p<0,05. As análises estatísticas foram conduzidas no software Statistic versão 6.0 (Statsoft Inc., EUA), e todas as análises foram realizadas em triplicata.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este é o primeiro estudo que aborda o perfil de compostos fenólicos durante a digestão *in vitro* simulada da cadeia integral do baru. As Tabelas 1, 2, 3 e 4 mostram o perfil de compostos fenólicos dos subprodutos e a amêndoa de baru antes e depois de cada fase de digestão, respectivamente. No geral, há informações limitadas disponíveis na literatura científica sobre a bioacessibilidade *in vitro* dessas matérias primas avaliadas, limitando a comparação de dados.

Tabela 1. Perfil fenólico sem digestão *in vitro* simulada no extrato aquoso por HPLC – DAD do fruto de baru (*Dipteryx alata* Vog.) sendo amêndoa de baru (AB), torta de baru (TB), epicarpo (EPI), mesocarpo (MES), farinha de epicarpo e mesocarpo (PIME) e endocarpo (END).

Sample		Retention	Area	mg eq/100 g
Amostra	PF Type	Time (min)		bs
sem				
digestão				
EPI	Ácido Gálico	16,530	119736	4,13
	Sinapico	18,643	199462	6,73
	Ácido Clorogênico	22,691	175397	8,62
	Sinapico	26,930	59373	2,00
	Ácido Galico	30,087	510121	17,60
MES	Ácido Gálico	18,658	193406	11,57
	Ácido Clorogênico	20,325	57210	4,87
	Ácido Clorogênico	22,375	56689	4,83
	Ácido Gálico	30,710	492212	29,44
	Ácido Gálico	30,092	462418	27,66
END	Ácido Clorogênico	26,532	85922	21,32

	Ácido Gálico	29,537	69817	53,72
	Ácido Clorogênico	18,629	42158	134497
	Ácido Clorogênico	20,295	24899	73506
	Ácido Clorogênico	22,709	222729	31114
PIME	Ácido Gálico	26,190	92706	23062
	Ácido Gálico	30,026	45501	423156
	Ácido Clorogênico	39,612	25560	29792
	Ácido Gálico	17,760	693829	41,31
AB	Ácido Clorogênico	18,645	839143	71,13
	Ácido Clorogênico	19,423	67872	5,75
	Ácido Gálico	21,384	1638619	97,57
	Rutina	24,605	281444	35,56
	Ácido Gálico	21,398	765036	28,06
TB	Rutina	24,632	183090	14,25

Tabela 2. Perfil fenólico da digestão *in vitro* simulada da fase oral no extrato aquoso por HPLC – DAD do fruto de baru (*Dipteryx alata* Vog.) sendo amêndoa de baru (AB), torta de baru (TB), epicarpo (EPI), mesocarpo (MES), farinha de epicarpo e mesocarpo (PIME) e endocarpo (END).

Amostra	PF Type	Retention Time (min)	Area	mg eq/100 g bs
Fase Oral	Ácido Clorogênico	18,610	410612	20,17
	Ácido Clorogênico	20,301	84949	4,17
	Ácido Galico	22,709	253597	8,75
EPI	Ácido Galico	30,069	755578	26,07

	Ácido Clorogênico	15,640	219324	18,68
	Ácido Clorogênico	18,593	440124	37,48
	Ácido Clorogênico	20,257	138479	11,79
MES	Ácido Clorogênico	22,658	96809	8,24
	Ácido Gálico	26,472	151439	9,06
	Sinapico	27,530	24219	1,42
	Ácido Gálico	30,041	450278	26,94
	Ácido Clorogênico	18,627	103401	8,99
END	Ácido Clorogênico	20,357	112302	9,76
	Ácido Gálico	26,530	365548	22,31
	Ácido Gálico	30,043	305593	18,65
	Ácido Gálico	5,427	394468	30,77
	Ácido Clorogênico	15,478	62593	6,95
PIME	Ácido Clorogênico	18,614	279311	31,02
	Ácido Gálico	30,026	832478	64,95
	Ácido Gálico	17,760	693829	41,31
AB	Ácido Gálico	7,930	2563186	152,62
	Ácido Clorogênico	18,008	341880	28,98
	Rutina	24,576	46956	5,93
	Ácido Clorogênico	18,635	901275	47,06
TB	Rutina	24,623	108236	8,42

Tabela 3. Perfil fenólico da digestão *in vitro* simulada da fase gástrica no extrato aquoso por HPLC – DAD do fruto de baru (*Dipteryx alata* Vog.) sendo amêndoa de baru (AB), torta de baru (TB), epicarpo (EPI), mesocarpo (MES), farinha de epicarpo e mesocarpo (PIME) e endocarpo (END).

Amostra	PF Type	Retention Time (min)	Area	mg eq/100 g bs
EPI	Ácido Gálico	7,522	46313	1,60
	Ácido Clorogênico	18,612	17678	0,87
MES	Ácido Clorogênico	15,468	177654	15,13
	Ácido Clorogênico	18,610	30669	2,61
	Ácido Clorogênico	23,675	49527	4,22
	Ácido Clorogênico	30,010	361271	30,77
END	Ácido Clorogênico	10,485	155624	13,52
	Ácido Gálico	20,799	101973	6,22
	Ácido Gálico	26,493	360182	21,99
	Ácido Gálico	30,010	254683	15,55
PIME	Ácido Clorogênico	7,499	91789	10,19
	Ácido Gálico	16,506	87611	6,83
	Ácido Clorogênico	18,595	20122	2,23
	Ácido Gálico	20,754	35183	2,74
	Ácido Clorogênico	22,640	70157	7,79
	Ácido Gálico	29,979	683365	53,31
AB	Ácido Gálico	7,919	2083431	124,05
	Ácido Clorogênico	18,610	665884	56,45
	Ácido Clorogênico	19,373	178222	15,11
	Rutina	24,583	58485	7,39
TB	Ácido Gálico	7,870	6201296	22,74
	Ácido Clorogênico	18,629	687256	35,89

Rutina	24,631	32311	2,51
--------	--------	-------	------

Tabela 4. Perfil fenólico da digestão *in vitro* simulada da fase intestinal no extrato aquoso por HPLC – DAD do fruto de baru (*Dipteryx alata* Vog.) sendo amêndoa de baru (AB), torta de baru (TB), epicarpo (EPI), mesocarpo (MES), farinha de epicarpo e mesocarpo (PIME) e endocarpo (END).

Amostra Fase Intestinal	PF Type	Retenção Tempo (min)	Area	mg eq/100 g bs
EPI	Ácido Sinapico	5,338	126483	4,27
	Ácido Clorogênico	18,575	177825	8,73
	Ácido Clorogênico	22,651	83524	4,10
	Ácido Gálico	30,023	270291	9,33
MES	Sinapico	5,337	89940	5,26
	Ácido Clorogênico	18,597	86327	7,35
	Rutina	22,686	70187	8,91
	Ácido Gálico	30,014	73185	4,38
END	Rutina	6,603	48036	6,22
	Ácido Gálico	20,741	30907	1,89
	Ácido Gálico	26,486	12467	0,76
	Ácido Gálico	30,028	58392	3,56
PIME	Ácido Clorogênico	7,492	78233	8,69
	Ácido Clorogênico	18,614	61117	6,79
	Sinapico	20,788	26633	2,03
	Ácido Gálico	30,024	261475	20,40
	Ácido Gálico	7,919	568364	33,84
	Ácido Clorogênico	18,022	74086	6,28

AB	Sinápico	29,480	18224	1,06
	Ácido Gálico	7,917	2473704	90,73
TB	Ácido Clorogênico	18,616	419232	21,89

Analisando de forma geral todas as tabelas, os fenólicos apresentaram maior concentração nas amostras sem digestão (Tabela 1), especialmente ácido gálico, ácido clorogênico, rutina e ácido sinápico. Observa-se que, com a digestão *in vitro* nas fases oral, intestinal e gástrica, ocorreu redução progressiva, sendo a fase intestinal a mais crítica, marcada pela diminuição acentuada de todos os compostos, em especial rutina e ácido clorogênico, refletindo a instabilidade frente à ação de enzimas pancreáticas, sais biliares e condições de pH.

A absorção dos compostos dietéticos liberados pela mastigação depende de suas propriedades físico-químicas, como tamanho molecular, configuração, lipofilicidade, solubilidade e pKa; antes de se tornarem biodisponíveis, precisam ser liberados da matriz alimentar e modificados no trato gastrointestinal, de modo que a digestão influencia diretamente sua estabilidade, biodisponibilidade e potenciais efeitos benéficos (Swain et al., 2024).

A flutuação significativa do conteúdo fenólico pode estar ligada à interação dos fenólicos com outros constituintes dietéticos liberados durante a digestão como ferro, outros minerais, fibra alimentar ou proteínas (Manach et al., 2004). As amostras que apresentaram melhores resultados em termos de preservação e liberação dos compostos analisados foram a farinha de epicarpo e mesocarpo (FPIME), a amêndoa de baru (AB) e farelo de baru (FB), as quais se destacam por apresentarem maior teor de proteínas, lipídios e minerais do que as demais amostras analisadas.

Assim, os resultados demonstram que, dentre as frações do baru, dois subprodutos que é a FPIME e o farelo de baru são farinhas promissoras do ponto de vista funcional, por manterem elevada bioacessibilidade de compostos fenólicos mesmo após o processo digestivo simulado. Esses achados corroboram a relevância desses subprodutos no aproveitamento alimentar e nutracêutico, ampliando o potencial de utilização integral do fruto.

Na figura 1, está expresso a soma da quantidade de compostos fenólicos, sendo eles o ácido gálico, ácido sinápico, ácido clorogênico e rutina presentes em cada fase nos subprodutos e na amêndoa de baru. Determinar como a digestão gastrointestinal afeta os compostos fenólicos e estabelecer sua bioacessibilidade é crucial para avaliar com precisão o potencial bioativo de alimentos que contêm pele prateada (Jara-Palacios et al., 2018).

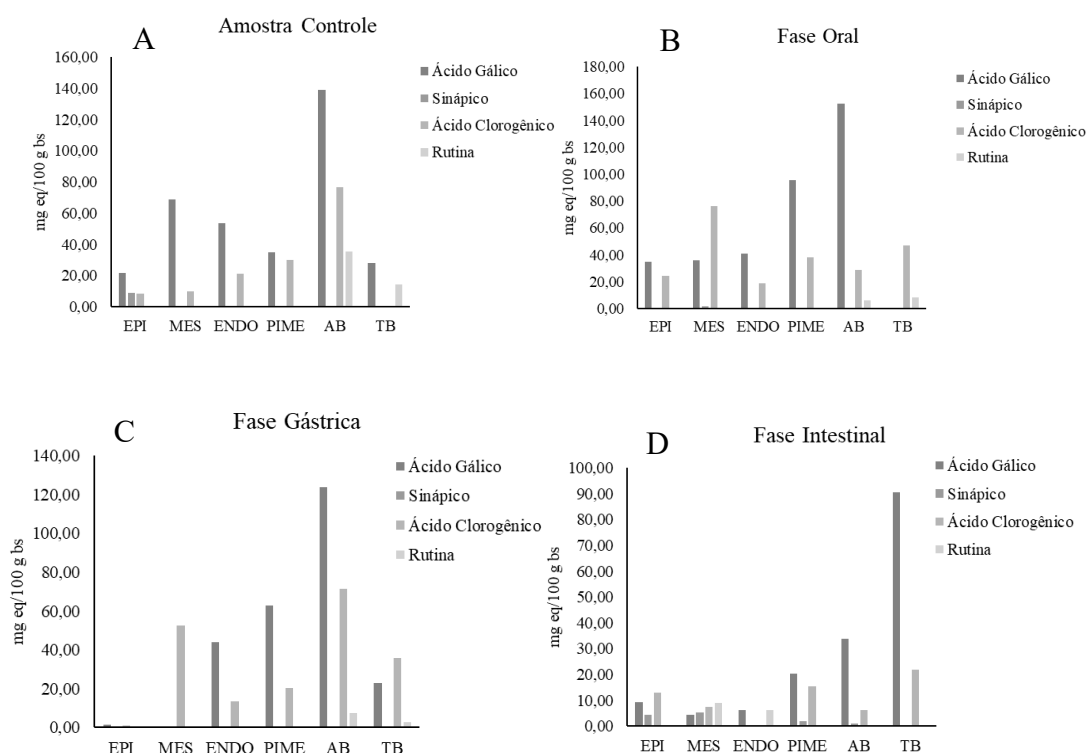


Figura 1. Perfil de digestibilidade e bioacessibilidade *in vitro* dos compostos fenólicos (Ácido Gálico, Ácido Sinápico, Ácido Clorogênico e Rutina) em diferentes frações do baru, Epicarpo (EPI), Mesocarpo (MES), Endocarpo (ENDO), Mesocarpo + Epicarpo (PIME), Amêndoa de Baru (AB) e Torta de Baru (TB). Os resultados são apresentados para a Amostra sem digestão (A) Fase Oral (B), Fase Gástrica (C) e Fase Intestinal (D) da digestão simulada. Valores expressos em mg eq/100 g base seca (bs).

A amostra controle, sem digestão e apenas extraída em água, bem como os subprodutos e a amêndoa de baru, apresentaram perfis distintos de compostos fenólicos e apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$). O ácido gálico destacou-se como o composto mais abundante, especialmente na amêndoa de baru, com teor de 138,88 mg EAG/100 g bs, e no mesocarpo, com 68,68 mg EAG/100 g bs. O ácido clorogênico apresentou contribuição relevante, com 29,87 mg EAC/100 g bs na farinha de PIME, e na amêndoa obteve teor de 76,89 mg EAC/100 g bs. O ácido sinápico foi detectado exclusivamente no epicarpo, com teor de 8,73 mg EAS/100 g bs, enquanto a rutina foi identificada apenas na amêndoa, com 35,56 mg ER/100 g bs, e na farinha de baru, com 14,25 mg ER/100 g bs. Esses resultados evidenciam que cada fração do fruto concentra compostos específicos, ressaltando a amêndoa como a principal fonte de fenólicos totais.

Os compostos fenólicos podem ser liberados da matriz alimentar na digestão do trato gastrointestinal superior por meio da solubilização direta nos fluidos intestinais em condições fisiológicas, o que é otimizado pela atividade de enzimas digestivas (Vilas-Boas et al., 2020). Esse comportamento foi observado na fase oral Figura (1B) da digestibilidade *in vitro*, quando comparada à condição sem digestão, observou-se aumento expressivo no teor de ácido gálico em diferentes matrizes. O EPI apresentou aumento de 60,22%, atingindo 34,82 EAG/100 g bs. A farinha de PIME alcançou 95,72 EAG/100 g bs, representando o maior aumento, de 175%. A amêndoa de baru (AB) apresentou elevação de 9,89%, com teor de 152,62 EAG/100 g bs. Esses resultados indicam que a mobilização do ácido gálico é favorecida especialmente no PIME, sugerindo maior liberação do composto nessa matriz durante a fase oral, possivelmente associada à ação enzimática salivar.

Para o ácido clorogênico, também foram observados aumentos relevantes. O EPI apresentou 24,34 mg EAC/100 g bs, o MES 76,20 mg EAC/100 g bs e o PIME 37,98 mg EAC/100 g bs, evidenciando que essas frações favorecem a disponibilidade inicial desse composto bioativo na digestão. A rutina, ausente no início em algumas frações, foi detectada em pequenas quantidades na AB e na farinha de TB, com valores de 6,00 e 8,42 mg ER/100 g bs, respectivamente, sugerindo mobilização precoce. O ácido sinápico surgiu discretamente no MES, com valor de 1,42 mg EAS/100 g bs, mas não foi detectado nas demais frações. Esses resultados evidenciam que a fase oral promove a liberação imediata de fenólicos solúveis, especialmente de ácido gálico e clorogênico, embora o ácido sinápico apresente instabilidade nesse estágio inicial da digestão.

Na fase gástrica da simulação gastrointestinal *in vitro* (Figura 1C), o ácido gálico apresentou relativa estabilidade, mantendo concentrações elevadas, especialmente na amêndoa de baru com teor de 124,05 mg EAG/100 g bs e 62,89 mg EAG/100 g bs na farinha de PIME, ainda que em níveis inferiores aos observados na fase sem digestão e na fase oral. O ácido clorogênico demonstrou maior liberação no mesocarpo com valores de 52,73 mg EAC/100 g bs, em comparação com as demais fases, porém apresentou redução nos teores de EPI e ENDO. A rutina foi novamente detectada em pequenas quantidades, embora em menor intensidade do que na fase oral. Esses resultados indicam que o ambiente ácido do estômago favorece a liberação do ácido gálico e a solubilização do ácido clorogênico, mas compromete a estabilidade da rutina e do ácido sinápico.

Esses resultados corroboram com os encontrados por Fernandes et al., (2025) em farelo de baru que foi observado um aumento do conteúdo fenólico total (CFT) de 477 mg EAG/100 g (amostra sem digestão) para 1226,74 mg EAG/100 g na fase gástrica, enquanto na fase

intestinal, o CFT reduziu em 25,4% em comparação à fase gástrica. Alguns autores relataram incrementos do CFT na fase gástrica. O ácido gálico mostrou efeitos protetores contra úlceras gástricas induzidas por etanol em ratos, com diminuição nos marcadores de citocinas inflamatórias, TBARS, e aumento nas atividades de antioxidantes endógenos e nas concentrações de óxido nítrico e prostaglandina (Zhou et al., 2020).

Em comparação com todas as fases, a intestinal representa o estágio mais crítico, caracterizado por redução acentuada de todos os compostos, especialmente rutina e ácido clorogênico, refletindo sua instabilidade frente à ação das enzimas pancreáticas e dos sais biliares. O ácido gálico apresentou queda expressiva em todas as frações do baru, embora ainda permanecesse detectável na AB com teor de 33,84 mg EAG/100 g bs e na farinha de PIME com 20,40 mg EAG/100 g bs. O ácido sinápico voltou a ser identificado com 4,27 mg EAS/100 g bs no EPI e com 5,26 mg EAS/100 g bs MES sugerindo formação ou liberação tardia. O ácido clorogênico manteve níveis modestos na farinha de epicarpo 12,84 mg EAC/100 g bs, mas apresentou redução no mesocarpo e no endocarpo, indicando degradação parcial no ambiente intestinal. A rutina foi detectada apenas no mesocarpo 8,91 mg ER/100 g bs e no endocarpo 6,22 mg ER/100 g bs.

Baixa recuperação de alguns compostos polifenólicos pode ser devido à formação de ligação entre algumas estruturas polifenólicas e fibras solúveis (pectina) estrutura de gel (Gunathilake et al., 2018). Esses achados sugerem que a mastigação e o contato inicial com enzimas salivares podem favorecer a solubilização de fenólicos presentes em matrizes mais oleaginosas, como a amêndoa, em comparação a estruturas mais fibrosas, como o epicarpo e o mesocarpo.

CONCLUSÃO

A avaliação da amêndoa e dos subprodutos do baru submetidos à digestão gastrointestinal *in vitro* evidenciou perfis distintos de compostos fenólicos entre as frações, com destaque para o ácido gálico como composto majoritário, seguido por contribuições relevantes de ácido clorogênico, rutina e ácido sinápico em matrizes específicas.

Foi observado que a fase oral favoreceu a mobilização inicial de fenólicos, enquanto o ambiente gástrico manteve relativa estabilidade, sobretudo para o ácido gálico. Em contrapartida, a fase intestinal representou o estágio mais crítico, caracterizado por reduções expressivas, especialmente de rutina e ácido clorogênico, demonstrando a instabilidade desses compostos frente às condições fisiológicas. Ainda assim, a amêndoa e alguns subprodutos, como a farinha de PIME e o farelo, preservaram significativa bioacessibilidade, confirmando seu potencial funcional e nutracêutico, além de reforçar a importância do aproveitamento integral do baru como recurso alimentar e estratégico para valorização de frutos do Cerrado.

REFERÊNCIAS

AOAC International. (2000). *Official Methods of Analysis of AOAC International* (16th ed.). Method 991.43. Determination of Total Dietary Fiber in Foods.

ARNOUS, Anis; MAKRIS, Dimitris P.; KEFALAS, Panagiotis. Correlation of Pigment and Flavanol Content with Antioxidant Properties in Selected Aged Regional Wines from Greece. *Journal Of Food Composition and Analysis*, [S.L.], v. 15, n. 6, p. 655-665, dez. 2002. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1006/jfca.2002.1070>.

BENZIE, Iris F.F.; STRAIN, J.J.. The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of “Antioxidant Power”: the frap assay. *Analytical Biochemistry*, [S.L.], v. 239, n. 1, p. 70-76, jul. 1996. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1006/abio.1996.0292>.

BIDÔ, R. C. A.; PEREIRA, D. E.; ALVES, M. C.; DUTRA, L. M. G.; COSTA, A. C. S.; VIERA, V. B.; ARAËJO, W. J.; LEITE, E. L.; OLIVEIRA, C. J. B.; ALVES, A. F. Mix of almond baru (*Dipteryx alata* Vog.) and goat whey modulated intestinal microbiota, improved memory and induced anxiolytic like behavior in aged rats. *Journal of Psychiatric Research*, [S.L.], v. 164, p. 98-117, ago. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpsychires.2023.05.046>.

BOHN, T.; CARRIERE, F.; DAY, L.; DEGLAIRE, A.; EGGER, L.; FREITAS, D.; GOLDING, M.; FEUNTEUN, S. L.; MACIERZANKA, A.; MENARD, O. Correlation between in vitro and in vivo data on food digestion. What can we predict with static in vitro digestion models? *Critical Reviews In Food Science And Nutrition*, [S.L.], v. 58, n. 13, p. 2239-2261, 12 set. 2017. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/10408398.2017.1315362>.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M.e.; BERSET, C.. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lwt - Food Science And Technology*, [S.L.], v. 28, n. 1, p. 25-30, 1995. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0023-6438\(95\)80008-5](http://dx.doi.org/10.1016/s0023-6438(95)80008-5).

BRODKORB, A.; EGGER, L.; ALMINGER, M.; ALVITO, P.; ASSUNÇÃO, R.; BALLANCE, S.; BOHN, T.; BOURLIEU-LACANAL, C.; BOUTROU, R.; CARRIÈRE, F. INFOGEST static in vitro simulation of gastrointestinal food digestion. *Nature Protocols*, [S.L.], v. 14, n. 4, p. 991-1014, 18 mar. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/s41596-018-0119-1>.

CALVO, L. G.; CELEIRO, M.; LORES, M.; ABRIL, A. G.; MIGUEL, T. Assessing the effect of gastrointestinal conditions and solubility on the bioaccessibility of polyphenolic compounds from a white grape marc extract. *Food Chemistry*, [S.L.], v. 480, p. 1-9, jul. 2025. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.143810>.

CARVALHO, H. J. M.; BARCIA, M. T.; SCHMIELE, M. Underexploited fruits from the Brazilian Cerrado: biodiversity, phenolic composition and biological activities. *Food Bioscience*, [S.L.], v. 66, p. 1-19, abr. 2025. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbio.2025.106269>.

FERNANDES, D. C.; CARMO NETO, J. R.; MATOS, A. O.; LIMA, M. S.; SALES-CAMPOS, H.; NAVES, M. M. V. Baru (*Dipteryx alata* Vog.) by-product following gastrointestinal digestion: bioaccessibility, antioxidant capacity and in vitro effects on

inflammatory response of phenolic compounds. *Food Research International*, [S.L.], v. 217, p. 1-11, out. 2025. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2025.116825>.

JARA-PALACIOS, M. J.; GONÇALVES, S.; HERNANZ, D.; HEREDIA, F. J.; ROMANO, A. Effects of in vitro gastrointestinal digestion on phenolic compounds and antioxidant activity of different white winemaking byproducts extracts. *Food Research International*, [S.L.], v. 109, p. 433-439, jul. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2018.04.060>.

MANACH, C., SCALBERT, A., MORAND, C., REMESY, C., & JIMENEZ, L. (2004). Polyphenols: Food sources and bioavailability. *American Journal of Clinical Nutrition*, 79(5), 727-747.

MORAIS, R. A.; POLMANN, G.; FERREIRA, S. R. S.; BLOCK, J. M. *In vitro* simulated gastrointestinal digestion and its influence on the bioaccessibility and bioactivity of phenolic compounds from Buritirana (*Mauritiella armata*) pulp, shells, and seeds. *Food Research International*, [S.L.], v. 206, p. 1-12, abr. 2025. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2025.116036>.

MUSCOLO, A.; MARIATERESA, O.; GIULIO, T.; MARIATERESA, R. (2024). Oxidative Stress: the role of antioxidant phytochemicals in the prevention and treatment of diseases. *International Journal Of Molecular Sciences*, [S.L.], v. 25, n. 6, p. 1-22, 13 mar. 2024. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ijms25063264>.

PARK, Yong Kun; IKEGAKI, Masaharu; ABREU, José A. da Silva; ALCICI, Nívia M. Freire. ESTUDO DA PREPARAÇÃO DOS EXTRATOS DE PRÓPOLIS E SUAS APLICAÇÕES. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, [S.L.], v. 18, n. 3, p. 313-318, ago. 1998. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0101-20611998000300011>.

RE, R.; PELLEGRINI, N.; PROTEGGENTE, A.; PANNALA, A.; YANG, M.; RICE-EVANS, C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology And Medicine*, [S.L.], v. 26, n. 9-10, p. 1231-1237, maio 1999. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0891-5849\(98\)00315-3](http://dx.doi.org/10.1016/s0891-5849(98)00315-3).

SGANZERLA, W. G.; BELING, P. C.; FERREIRA, A. L. A.; AZEVEDO, M. S.; FERRAREZE, J. P.; KOMATSU, R. A.; NUNES, M. R.; VEECK, A. P. L. Geographical discrimination of uvaia (*Eugenia pyriformis* Cambess) by principal component analysis. *Journal of The Science of Food And Agriculture*, [S.L.], v. 99, n. 15, p. 6778-6787, 30 set. 2019. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.9961>.

SGANZERLA, W. G.; BELING, P. C.; FERRAREZE, J. P.; KOMATSU, R. A.; NUNES, M. R.; VEECK, A. P. L. Nutritional, physicochemical and antimicrobial properties of uvaia pulp (*Eugenia pyriformis* Cambess). *Communications In Plant Sciences*, [S.L.], p. 1-7, 2018. Communications in Plant Sciences. <http://dx.doi.org/10.26814/cps2018001>.

SOUSA, T. L.; OLIVEIRA FILHO, J. G.; CABASSA, I. C. C.; LEMES, A. C.; EGEA, M. B. Unraveling the Potential of Baru (*Dipteryx alata* Vog.) Fruit Fractions as a Sustainable Food Ingredient: chemical and technological characteristics and prebiotic potential. *Sustainability*, [S.L.], v. 16, n. 24, p. 1-18, 14 dez. 2024. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su162410976>.

SWAIN, S.; BAL, L. M.; DEVI, M.; KAVITA, G.; SINHA, R. Bio-accessibility of phenols, flavonoid and antioxidant capacity of tropical leafy vegetables through in-vitro gastro-intestinal

digestion. *Food Bioscience*, [S.L.], v. 61, p. 1-10, out. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104491>.

SWAIN, T.; HILLIS, W. E. The phenolic constituents of *Prunus domestica*. I.—The quantitative analysis of phenolic constituents. *Journal of The Science Of Food And Agriculture*, [S.L.], v. 10, n. 1, p. 63-68, jan. 1959. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.2740100110>.

ULLAH, S.; HUSSAIN, A.; ALI, J.; ULLAH, K.; ULLAH, A. A Simple and Rapid HPLC Method for Analysis of Vitamin-C in Local Packed Juices of Pakistan. *Middle-East J. Sci. Res.* 2012, 12, 1085–1091.

VELLEMANS, S.; IDE, A.; DUCHATELET, M.; DUBOIS, R.; DEMOL, A.; MIGNOLET, E.; LARONDELLE, Y.; DELZENNE, N.; DEBIER, C. Bioaccessibility of pomegranate seed oil using INFOGEST in vitro digestion model. *Food Research International*, [S.L.], v. 218, p. 1-8, out. 2025. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2025.116750>.

VIANA, H. N. A. C.; SGANZERLA, W. G.; CASTRO, L. E. N.; VEECK, A. P. L. Characterization of baru (*Dipteryx alata* Vog.) and application of its agro-industrial by-product in the formulation of cookies. *Journal Of Agriculture and Food Research*, [S.L.], v. 12, p. 1-7, jun. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100577>.

VILAS-BOAS, A. A., OLIVEIRA, A., JESUS, D., RODRIGUES, C., FIGUEIRA, C., GOMES, A., PINTADO, M. (2020). Ácido clorogênicos composition and the impact of in vitro gastrointestinal digestion on espresso coffee from single-dose capsule. *Food Research International*, 134, Article 109223. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109223>

ZHOU, D.; YANG, Q.; TIAN, T.; CHANG, Y.; LI, Y.; DUAN, L. R.; LI, H.; WANG, S. W. (2020). Gastroprotective effect of Ácido gálico against ethanol-induced gastric ulcer in rats: Involvement of the Nrf2/HO-1 signaling and anti-apoptosis role. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 126, Article 110075. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2020.110075>

CAPÍTULO V**ARTIGO 4**

Baruburger, a plant-based choice produced with by-product: nutritional value and technological characteristics

Artigo publicado na revista Food Science and Technology (ISSN: 1678-457X) - Fator de impacto: 2.6

Tainara Leal de Sousa ¹ and Mariana Buranelo Egea ²

¹ Agronomy Department, Agronomy School, Federal University of Goiás (UFG), Goiânia 74690-900, GO, Brazil; tainarasousa@discente.ufg.br

² Goiano Federal Institute of Education, Science and Technology, Campus Rio Verde, Rod. Sul Goiana, Km 01, Cx Postal 66, Rio Verde 75901-970, GO, Brazil *

Correspondence: mariana.egea@ifgoiano.edu.br

Corresponding author: mariana.egea@ifgoiano.edu.br

Baruburger, a plant-based choice produced with by-product: nutritional value and technological characteristics

Abstract

The population is increasingly seeking healthier products rich in nutrients such as high-quality proteins, dietary fibers, and polyphenols, which have the potential to be used as food ingredients aimed at promoting health, environmental sustainability, and circular economy practices. To develop a meat analog, this study uses raw materials from baru by-products, such as epicarp, mesocarp, and baru meal. The study evaluates its nutritional properties, creates a nutritional table for the vegetable burger based on the labeling information of the ingredients used in the formulation process, and assesses cooking yield, diameter, thickness reduction, and color to characterize the product. The results for the nutritional table indicated that formulation F6 (40% FTB + 40% FPIME) contained protein 12.87 g/80 g, dietary fiber 13.79 g/80 g, and a low fat content 5.44 g/80 g. Formulation F4 showed the lowest cooking loss (7.36%), a diameter reduction of 0.78%, and a thickness reduction of 0.87%. Regarding the color analysis, formulations F3, F5, F6, F7, F8, and F10, which contained higher amounts of baru by-products, had a^* values ranging from 9.11 to 9.33, indicating that these vegetable burgers tended to have a more reddish-brown color. Baru by-products represent an important vegetable raw material with the potential to benefit from its entire value chain, promoting sustainable products with high nutritional quality.

Keywords: sustainable food, alternative proteins, nutritional quality, nutritional table.

1 Introduction

The world population is increasing, as is the demand for food. One possible strategy to achieve this transition is the formulation of foods with alternative protein sources, such as edible insects, algae, or plant (Appiani et al., 2023).

Meat analogue products, which can be defined as food products formulated to imitate meat in nutrients, texture, flavor, and appearance, appear to be the best solution for introducing alternative proteins into human dietary choices (Kumar et al., 2017; Nam et al., 2024; Zhang et al., 2023). Plant-based meat analogues are generally formulated with different ingredients and additives in addition to vegetable protein to achieve acceptable sensory properties (Ariz et al., 2024). A typical plant-based meat analogue is generally composed of 50–80% water, 4–25% protein, 2–30% carbohydrates, 0–15% lipids, and 0–15% additives, including binding agents, seasonings, flavorings, salt, and pigments (Chen et al., 2023; Chen et al., 2022).

Plant-based foods formulated as substitutes for animal products are one of the growing sectors among alternative food sources, covering a diverse range of products obtained from botanical sources, such as legumes, for example, chickpeas, which are the third most cultivated legume in the world; seeds and nuts, for example, cottonseed, sesame seed, sunflower seed, pumpkin seed, grape seed, and hazelnut; pseudocereals and cereals, for example, quinoa or oats, and mushrooms (Tachie et al., 2023).

In addition to these plant sources, agroindustry by-products can also be used in plant-based products, such as by-products of baru (*Dipteryx alata* Vog.), a fruit native to the Cerrado biome, which generate different fractions during almond production and oil extraction: epicarp, mesocarp, endocarp, and baru meal (Egea et al., 2023). These fractions are rich in proteins, fibers, and fatty acids, have great technological potential, and can be used as raw material in developing plant analogues (Sousa et al., 2024).

Burgers are one of the most popular meat products worldwide (Tabarestani et al., 2024). Several plant-based versions have been found on the market. The plant-based food market has expanded beyond traditional options like veggie burgers and tofu, now offering various products that mimic animal foods. Rapid expansion raises questions about nutritional value and health benefits (Locatelli et al., 2024). Thus, this work aims to develop a meat analogue using chickpeas and baru by-products to explore alternative and sustainable sources for producing plant-based products.

2. Materials and methods

2.1 Raw material acquisition

The baru fruit was collected in the Brazilian Cerrado (Caiaponia, Goiás, Brazil). The fruits were manually separated into pericarp and baru almond (BA). The pericarp was sanitized with sodium hypochlorite P.A (2 mg/L), then submerged in autoclaved water for 24 hours, and then separated into epicarp+mesocarp (EPME) and endocarp (EN). After separation, the EPME was dried in an oven with forced air circulation (60 ± 2 °C) for 24 hours. Baru meal (BM), a by-product of almond oil extraction, was provided by Flora do Cerrado (Jussara, Goiás, Brazil). Chickpeas and other ingredients were purchased from a company in Rio Verde, Goiás, Brazil.

Chickpea preparation was carried out according to Stantiall et al. (2018) . Briefly, the grains were soaked in running water for 16 hours, after which the grains were drained and washed three times with running water to remove bitter compounds such as phytic acid and tannins (Alsalman et al., 2020). After washing, a 3:1 weight ratio (water: hydrated grain) was cooked using a pressure cooker for 20 minutes. Then, the water and cooked chickpeas were transferred to a glass bowl and left in the refrigerator at 5°C for 24 hours. Then, the aquafaba was separated from the cooked grains using a sieve, and the grains were homogenized using a blender for 20 minutes.

2.2 Baruburger preparation

The burgers were produced according to the formulations described in Table 1 on the same day. The simplex-centroid design for mixtures of three components with three interior points (Table 1) was used to study the effects of interactions between ingredients on the sensory quality of the product. The studied variables were the concentration of chickpeas, baru meal, and epicarp+mesocarp. Each variable's maximum level (component proportion = 1) was 80% (related to the total burger base), with the remaining 20% composed of oat flour for all formulations. The response variables were the nutritional value and technological characteristics of the burger.

The other ingredients of the burger were calculated as a percentage of the mass: 5 mL of baru oil, 1% of salt, 0.33% of onion/garlic, 0.17% of paprika/dehydrated salt, 0.07% of smoke powder, and 0.03% of cumin.

Table 1. Codified and decoded variables and response (nutritional value) of plant-based burger formulations containing chickpeas (CP), baru meal (BM), and epicarp+mesocarp (EPME)

Formulations	Coded variable			Decoded variable			100 g portion							
	CP	BM	EPME	CP	BM	EPME	CB (g)	TS (g)	PTN (g)	TF (g)	SF (g)	DF (g)	Sodium (mg)	EV (kcal)
F1	1.00	0.00	0.00	80	0	0	50.87	2.24	8.90	0.05	0.00	7.60	397.00	200.45
F2	0.00	1.00	0.00	0	80	0	47.93	0.80	28.25	13.26	10.50	15.60	391.40	424.68
F3	0.00	0.00	1.00	0	0	80	79.87	0.80	7.28	0.41	0.00	21.91	391.40	396.18
F4	0.50	0.50	0.00	40	40	0	46.08	1.52	18.58	6.75	5.25	11.60	394.20	312.56
F5	0.50	0.00	0.50	40	0	40	58.13	1.52	8.09	0.32	0.00	14.76	394.20	298.31
F6	0.00	0.50	0.50	0	40	40	60.58	0.80	17.77	6.83	5.25	18.76	391.40	410.43
F7	0.33	0.33	0.33	26.67	26.67	26.67	52.05	1.28	14.81	4.63	3.50	15.04	393.27	340.47
F8	0.67	0.17	0.17	40	20	20	49.81	1.52	13.33	3.53	3.00	13.18	394.00	305.44
F9	0.17	0.67	0.17	20	40	20	53.33	1.60	18.17	6.79	5.25	15.18	392.80	361.50
F10	0.17	0.17	0.67	20	20	40	57.06	1.60	12.93	3.58	2.62	16.76	392.80	354.37

Carbohydrates (CB); Total sugars (TS); Proteins (PTN); Total fats (TF); Saturated fat (SF); Trans fat (TF); Dietary Fiber (DF); and Energy value (EV).

The first step was to add water to the BM and EPME flours. To prepare the samples, 100 g of each flour was mixed with 200 mL of distilled water. The samples were left to rest (overnight) for 12 to 24 hours, allowing the flours to hydrate and fully absorb the water.

After weighing all the ingredients, they were manually homogenized and kept to rest for 30 minutes under refrigeration (6 °C) to improve consistency. Subsequently, they were molded into eighty-gram portions by the Normative Instruction of the National Health Surveillance Agency No. 75, of October 8, 2020 (Brasil, 2020), in a circular shape, 2 cm thick, using parchment paper. They were packaged in polyethylene bags and stored under freezing (-14 °C).

The samples were cooked on a previously heated electric griddle (approximately 160°C), and the pieces were cooked by heat transfer through direct contact of the hot griddle on both sides. Using a spatula, the burgers were released after 30 seconds of cooking to prevent them from sticking to the griddle and were turned every 30 seconds to avoid excessive surface crust formation. Cooking was carried out until the samples' internal temperature (cold point) reached 72°C (temperature measured with a digital thermometer).

2.2 Nutritional value of burgers

The nutritional value of the products was calculated based on the Technical Regulation on Labeling of Packaged Foods (Brasil, 2002), the Technical Regulation on Portions of Packaged Foods for Nutritional Labeling Purposes (BRASIL, 1998), and the Technical Regulation on Nutritional Labeling of Packaged Foods (Brasil, 2003).

The calculations were based on the values obtained in the Nutritional Composition Table of the ingredients used in the production process. Data from the Brazilian Food Composition Table (TACO, 2011) were used as a reference source for the foods' nutritional information.

2.3 Technological properties

The burgers' performance during cooking (yield, diameter reduction, and shrinkage) was evaluated. The yield during cooking was determined by measuring the weight of the vegetable analogues before and after cooking and calculating using Equation 1.

$$\text{Yield (\%)} = \frac{\text{Weight of cooked sample}}{\text{Weight of raw sample}} \times 100 \quad (1)$$

The percentages of reduction in diameter and thickness of the product were measured using a digital caliper, and the results were calculated using Equations 2 and 3, respectively. For the reduction in diameter (RD) analysis, the burger was cooked on an electric griddle (150 °C) until the internal temperature of the burger reached 75 °C. To determine the RD, the burger diameter before (DB) and after cooking (DA) will be evaluated (Eq. 2) (Dreeling et al., 2000; Ramadhan et al., 2011).

$$\text{Reduction in diameter (\%)} = \frac{(DB-DA)}{DB} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{Reducton in thickness (\%)} = \frac{\text{Thickness (raw-cooked)} + \text{Diameter (raw-cooked)}}{\text{Raw sample diameter}} \times 100 \quad (3)$$

Color analysis was performed on raw and grilled samples using a colorimeter (CR41, Konica Minolta, Tóquio, Japão). Results were obtained from the average of 9 replicates outside the samples. Values were expressed as L*, C*, and h among the burgers.

2.4 Statistical Analysis

All analyses were performed in triplicate. Data were expressed as mean and standard deviation and subjected to analysis of variance (ANOVA) for treatments (samples evaluated in

this study), followed by the application of Tukey's test using Statistica 6.0 software (StatSoft Inc., USA). Differences were considered significant when $p < 0.05$.

The Scheffé canonic equation (Equation 1) was used to model the experimental data:

$$Y = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \beta_{123} X_1 X_2 X_3 \quad (5)$$

where Y is the studied response, β_1 , β_2 , β_3 , β_{12} , β_{13} , β_{23} and β_{123} are the regression parameters, and X1, X2, and X3 are the levels of ingredients in the blends. Positive values for binary coefficients, β_{ij} , indicate synergistic effects, while negative values represent antagonism.

Triangular contour plots were generated from the polynomial equations for each property using the software Statistica 6.0 for Windows (StatSoft Inc., Tulsa, OK, US). The results obtained were evaluated using the response surface methodology and screened using the desirability tool with the highest levels of each response variable.

3 Results and discussion

3.1 Nutritional value of burgers

Table 1 presents the nutritional information for the plant-based analogues for a 100g serving. Some formulations showed higher nutrient values than others. Table 2 shows the mathematical modeling performed with the response variables, R^2 , R_{adj} , and the p-value. All dependent variables positively influenced the nutritional value of the formulations (positive effect).

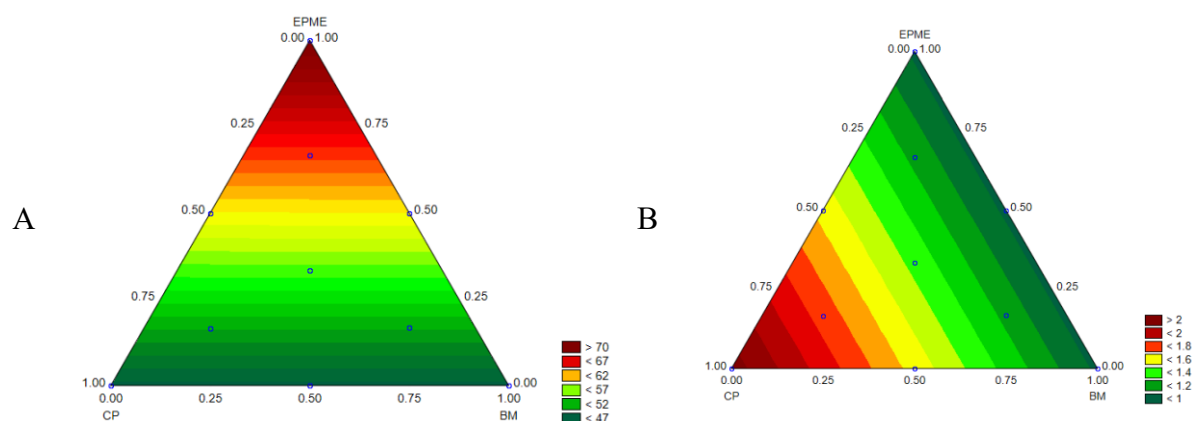
Table 2. Mathematical modeling of the response variables studied in the plant-based burger formulations containing chickpeas (CP), baru meal (BM), and epicarp+mesocarp (EPME)

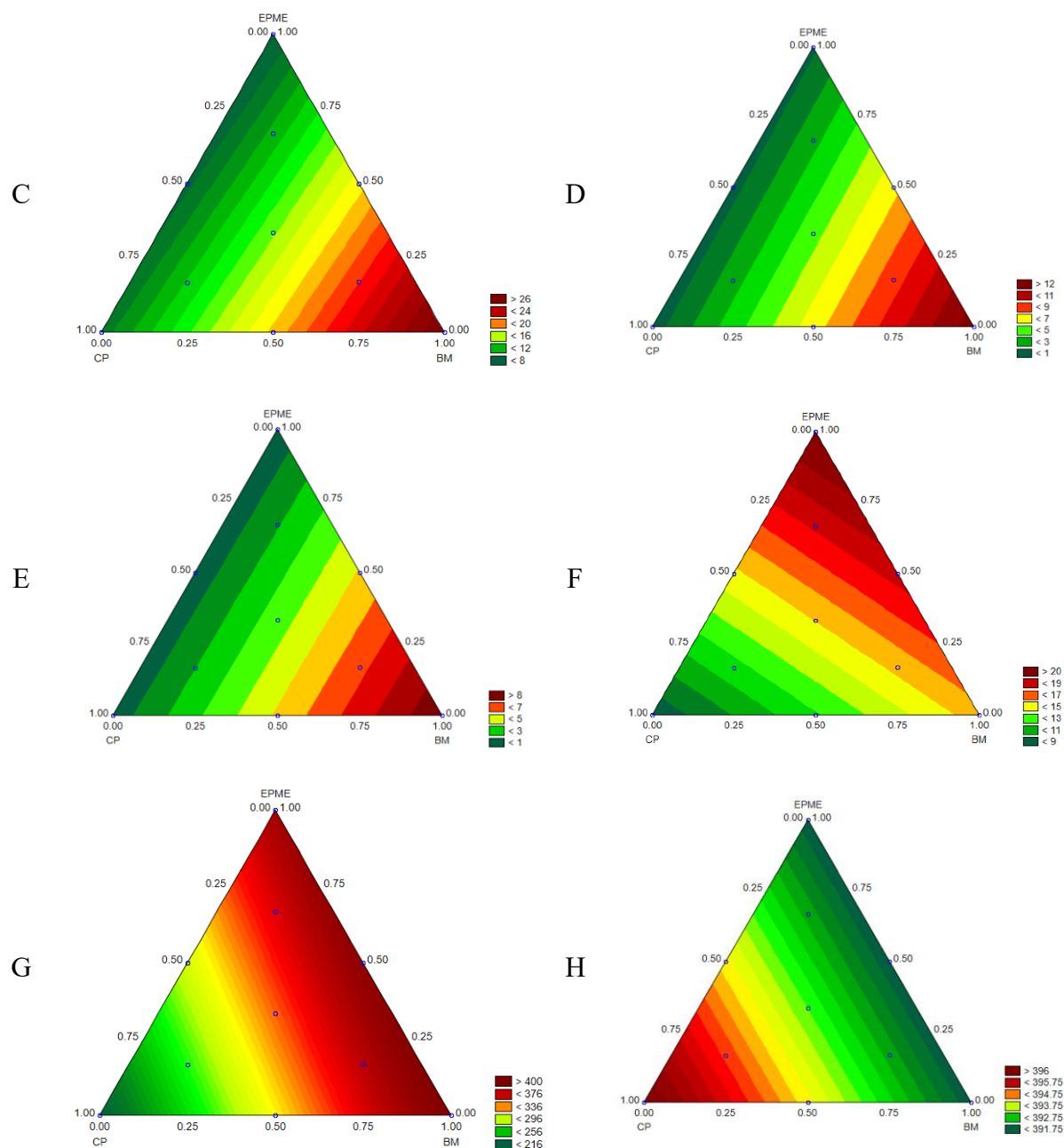
Variables	R ² (%)	Radj (%)	p value
$Carbohydrates = 46.71CP + 46.72BM + 73.27EPME$	83.47	78.75	<0.00
$Total\ sugars = 2.14CP + 0.98BM + 0.98EPME$	71.89	63.86	0.01
$Protein = 9.39CP + 27.13BM + 7.91EPME$	96.03	94.90	<0.00
$Total\ fat = 0.50CP + 12.56BM * +0.78EPME$	95.98	94.83	<0.00
$Saturated\ fat = 0.41CP + 9.91BM * +0.28EPME$	95.33	94.00	<0.00
$Dietary\ fiber = 8.22CP + 15.55BM + 21.34EPME$	96.01	94.86	<0.00
$Energy = 212.15CP + 417.62BM + 391.47EPME$	96.00	94.86	<0.00
$Sodium = 396.62CP + 391.56BM + 391.56EPME$	94.69	93.17	<0.00

*only significant effect

The carbohydrate content ranged from 46.08 (F4) to 79.87 (F3) g/100 g, while the total sugar value ranged from 0.80 (F2, F3, and F6) to 2.2 (F1). As demonstrated by mathematical modeling, EPME was the variable that most influenced carbohydrate values (almost twice as much as CP and BM) (Table 2). This may have occurred because the total carbohydrate value (g/100g) is 81.34 for EPME, 41.42 for BM (Sousa et al., 2024), and 57.00 for CP.

Figure 1. Contour plot of carbohydrate (A), total sugar (B), protein (C), total fat (D) and saturated fat (E), dietary fiber (F), energy value (G), and sodium (H) in the plant-based burger formulations containing chickpeas (CP), baru meal (BM), and epicarp+mesocarp (EPME)





The protein content of the formulations ranged from 7.28 (F3) to 28.25 (F2) g/100 g. All of them can be considered “rich in protein”, which is any food that contains a minimum composition of 6 g of protein, according to RDC No. 54, of November 12, 2012 (Brasil, 2012). F2 (80% of BM) presented the highest value of protein and total and saturated fats, resulting in the highest caloric value, and this was demonstrated by mathematical modeling, where the effect of BM was 2.9 times greater than CP and 3.4 times greater than EPME (Table 2, Figure

1). As expected, BM is an ingredient that can contribute to increasing protein value (Egea et al., 2023) since it contains, on average, 33 g of protein/100 g (Sousa et al., 2024). In the study by Botella-Martinez et al. (2022), textured soy and peanut flour burgers demonstrated lower protein content (18.59 g/100 g).

The fat source used is also significant, both technologically and from a sensory, nutritional, and health perspective (Badar et al., 2021). The total fat content in the burger formulations developed ranged from 0.05 (F1) to 13.26 (F2) g/100 g, with a total saturated fat content of 0.00 (F1) to 10.50 (F2) g/100 g. None of the developed formulations contained trans-fat. Low-fat food products should contain no more than 10% fat, and very-low-fat products should contain less than 5% fat (Choe et al., 2013). F1, F3, F5, F7, F8, and F10 can be classified as very-low-fat food products, while F4, F6, and F9 can be classified as low-fat.

Due to their composition, vegetable oils such as sunflower, canola, palm, and coconut have been appreciated in food products (Badar et al., 2021; Domínguez et al., 2024). In this formulation, baru oil was added to play an important role from a technological, sensory, nutritional, and health perspective (considering its fatty acid profile) (Sousa et al., 2024).

Although, in general, vegetable oil can be an ingredient that contributes to total fat content, in the present study, the most significant contributor still appears to have been BM, which in previous studies reported 16.52 g/100 g of lipids (Sousa et al., 2024). Furthermore, the effect of BM on total fat, indicated by mathematical modeling, was more than 15 times greater than that of the other ingredients (Table 2, Figure 1). The same behavior was demonstrated for saturated fat content. The results found for the total fat content of F2 were close to what had been reported by Kothuri et al. (2024) for textured pea protein burgers (10.35 g/100 g).

The fat content of foods is the most significant contributor to their caloric value. As with total fat and saturated fat content, the BM ingredient demonstrated a greater effect in mathematical modeling than the other ingredients (CP and EPME). In this study, the caloric

value of burgers ranged from 200.35 (F1) to 424.68 kcal/100 g (F2). Notably, F1 had the lowest total and saturated fat content, and F2 had the highest.

Plant-based protein meat analogues can be designed to be healthy; their enrichment with dietary fiber and plant-based amino acids can provide these plant-based burgers with enhanced sensory and nutritional profiles not found in the original meat burgers (Peñaranda et al., 2023). Dietary fiber content ranged from 7.6 (F1) to 21.91 g/100 g (F3), and all formulations can be considered “high in dietary fiber” by containing more than 6 g of fiber according to RDC No. 54, of November 12, 2012 (Brasil, 2012).

Normative Instruction No. 75/2020 establishes that for a food to be considered high in total dietary fiber, it must contain at least 20% of the recommended daily value (RDV) of this nutrient, per reference serving, being 25 g for adults aged 19 years or older and 38 g for adolescents aged 9 to 18 years (Brasil, 2020). The burger formulations in the present study contain 28.72 to 74.52% total dietary fiber, which can be considered high. Dietary fiber levels can reduce formulation costs and improve the technological properties of meat products, such as cooking performance, emulsion stability, rheological parameters, palatability, and texture (Mehta et al., 2015).

Regarding fiber content, EPME appears to be the ingredient that contributes most to this content, since the formulation containing 80% of this ingredient presented the highest value of this macronutrient. Through mathematical modeling, it was possible to observe that the effect of EPME was two and 1.4 times greater than CP and BM, respectively, corroborating the hypothesis that increasing this ingredient is much more positive for dietary fiber content than the other ingredients (Table 2, Figure 1). This result corroborates the dietary fiber values reported for the epicarp (33.36 g/100 g) and mesocarp (29.32 g/100 g) by Sousa et al. (2024). The values found in the present study were higher than those reported for pea-based burgers (7.99 g/100 g) (Luz et al., 2024).

High sodium intake contributes to high blood pressure and a higher risk of cardiovascular disease, stroke, and coronary heart disease in adults. Therefore, the World Health Organization (WHO) recommends a sodium intake of less than 2g/day, equivalent to 5g/day of salt (WHO, 2012). The amount of sodium found in plant-based burgers ranged from 391.40 to 397.00 mg, indicating that by consuming 100g of this product, an adult would be ingesting approximately 19.57% to 19.85% of the maximum recommended daily sodium intake.

Of all the formulations, those containing some baru ingredient are the most likely to influence the variation in sodium levels, as indicated by the greater effect for BM and EPME in the mathematical modeling (Table 2, Figure 1).

Commercial soy concentrate burgers from Plant Plus Foods contain 430 mg of sodium per 80 g, higher than those in the formulations developed in this study. Salt plays multiple roles, including enhancing flavor, intensifying flavor profiles, and contributing to savory notes typical of meat. It also helps modulate texture by increasing protein solubility and moisture retention, thus improving the juiciness and tenderness of meat analogs (Singh & Sit, 2025).

Iodine is essential in the development, growth, and normal functioning of the body and the central nervous system (Lage et al., 2015). According to the World Health Organization (WHO), the recommended amount of iodine for adults is 150 micrograms (μg) per day (WHO, 2008). All burger analog formulations had an iodine content of 25 μg , which corresponds to approximately 16.67% of the recommended daily iodine intake.

3.2 Technological properties

As with meat products, macronutrient content in meat analogs also affects the system's ability to bind water and fat and, therefore, is responsible for cooking loss and dimensional changes (shrinkage and thickness) in the cooked product (Botella-Martinez et al., 2022).

Table 3 presents the cooking yield, cooking loss, and diameter and thickness reduction for plant-based analogs. None of these response variables presented a significant mathematical model.

Table 3. Technological properties of plant-based burger formulations containing chickpeas (CP), baru meal (BM), and epicarp+mesocarp (EPME)

Formulations	Cooking yield (%)	Cooking loss (%)	Diameter reduction (%)	Thickness reduction (%)
F1	83.94±1.37 ^d	16.06±1.37 ^{ab}	8.53±1.19 ^b	10.05±0.22 ^c
F2	88.31±0.84 ^b	11.69±0.84 ^C	32.71±0.51 ^a	32.68±0.29 ^a
F3	83.79±0.35 ^d	16.21±0.35 ^{ab}	2.14±2.03 ^c	2.76±0.16 ^d
F4	92.64±0.44 ^a	7.36±0.44 ^d	0.78±0.40 ^d	0.87±0.19 ^{ef}
F5	84.35±0.78 ^{cd}	15.65±0.78 ^b	1.67±1.24 ^{cd}	2.96±0.43 ^d
F6	86.47±0.77 ^c	13.53±0.77 ^c	1.87±0.13 ^{cd}	3.09±0.35 ^d
F7	82.04±1.14 ^{de}	17.96±1.14 ^a	2.28±0.22 ^c	1.32±0.20 ^e
F8	84.44±1.30 ^{cd}	15.56±1.30 ^b	2.99±1.41 ^c	16.12±0.12 ^b
F9	86.04±0.26 ^c	13.96±0.26 ^c	1.02±0.20 ^{cd}	0.56±0.17 ^{ef}
F10	81.27±0.06 ^e	18.73±0.06 ^a	1.40±0.62 ^{cd}	1.11±0.51 ^e

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Several factors, including pH, water-holding capacity, cooking method and type, and lipid content, can affect cooking loss (Vaskoska et al., 2020). Cooking yield values ranged from 81.27 (F10) to 92.64 (F4)%.

The lower volume loss in F4 may be related to combining ingredients with greater technological functionality and the higher protein content of 18.58 g/100 g (Table 1). On the

other hand, F10, which had the lowest yield, had the lowest protein content of 12.93 g/100 g, which may have contributed to less structural network formation during cooking, favoring greater moisture loss. The low cooking loss observed in the formulated burgers may indicate their ability to retain fluids containing water, minerals, proteins, and fat (Vu et al., 2022).

The vegetable analogues presented an average cooking loss of 7.36 (F4) to 18.73 (F10)% (Table 3). Since this value is calculated from the yield, not surprisingly, the same behavior was observed for this property. Pinero et al. (2008) claimed that adding soluble oat fiber to low-fat beef burgers improved moisture retention. This behavior may indicate why F4 had the lowest cooking loss: due to its higher protein and fiber content (Table 2). Conversely, F10 demonstrated the highest cooking loss and the lowest fiber and protein content (Table 2). Even so, the cooking loss values found in the present study were lower than those highlighted by Trujillo-Mayol et al. (2021) for soy burgers (24.77%).

The values found for diameter reduction in the formulations ranged from 0.78 (F4) to 32.71 (F10) %, while for thickness reduction, they were from 0.56 (F4) to 32.68 (F10) %, in line with the values of the other parameters. This may be because greater losses during cooking lead to lower emulsion stability of meat analogues, with consequent loss of resilience, which decreases the speed and strength of recovery from emulsion deformation with the three-dimensional internal structure of the proteins, causing shrinkage of the products (Cornet, 2021).

Consumers consider color the initial marker of food quality when purchasing (Wojtasik-Kalinowska et al., 2022). Table 5 shows the instrumental color results for each vegetable burger formulation, and significant differences were found between the formulations.

Table 3. Colorimetric parameters of plant-based burger formulations containing chickpeas (CP), baru meal (BM), and epicarp+mesocarp (EPME)

Formulation	Raw burger	Cooked burger
-------------	------------	---------------

	L*	C	h	L*	C	h
F1	64,95±3,42 ^a	27,93±0,49 ^a	79,69±0,41 ^a	37,48±3,29 ^a	23,75±2,92 ^a	73,20±0,43 ^a
F2	40,72±1,16 ^b	13,84±1,85 ^b	68,02±1,78 ^b	38,10±1,94 ^a	16,90±1,24 ^b	68,74±2,76 ^a
F3	34,12±1,55 ^c	18,63±2,77 ^b	56,50±4,24 ^c	28,02±1,67 ^b	20,93±1,80 ^b	56,87±1,68 ^b
F4	54,52±2,27 ^a	17,69±1,63 ^b	72,08±0,99 ^a	30,08±0,98 ^b	18,81±0,97 ^b	70,96±1,05 ^a
F5	43,88±1,22 ^b	22,06±0,85 ^a	62,04±0,98 ^b	27,09±1,02 ^b	23,00±0,79 ^a	58,98±1,18 ^b
F6	32,25±2,43 ^c	17,79±2,36 ^b	55,77±2,84 ^c	26,71±0,87 ^b	20,47±0,45 ^b	60,79±1,82 ^b
F7	41,98±4,93 ^b	21,25±1,65 ^a	62,67±1,73 ^b	32,72±1,57 ^a	20,34±0,80 ^b	59,70±2,02 ^b
F8	44,27±1,49 ^b	20,86±1,26 ^a	64,02±2,10 ^b	26,88±1,88 ^b	17,36±0,91 ^b	58,76±1,55 ^b
F9	41,13±2,36 ^b	15,69±0,99 ^b	61,65±1,12 ^b	32,17±1,68 ^a	20,47±0,45 ^b	60,79±1,82 ^b
F10	37,26±3,32 ^c	19,64±1,98 ^b	59,82±1,91 ^c	30,31±1,20 ^b	19,53±1,00 ^b	56,25±1,59 ^b

Means followed by the same letter in the line do not differ statistically by the Tukey test ($p < 0.05$).

Regarding raw burgers, luminosity (L^*) values closer to 100 indicate higher luminosity, while those closer to 0 indicate a surface with lower luminosity. In this study, F1 presented the highest L^* value (64.95), significantly different from the other formulations, while F3 (34.12) and F6 (32.25) presented lower L^* values. The other formulations presented intermediate values.

EPME and BM ingredients are darker, which may resemble the reddish color typical of traditional burgers. Furthermore, the adequate red color must be stable at the burgers' pH value and not degrade or brown when heated (Botella-Martinez et al., 2022). This fact explains the behavior of formulations F3 and F6, with lower luminosity (L^*) and color saturation (C), due to the combination of 40% FTB + 40% FPIME. After baking, all burgers became darker, as demonstrated by the decrease in the luminosity parameter. In general, color is highly dependent on the nature and moisture content of the raw materials and the reactions produced during the

baking process, such as protein denaturation, pigment degradation, and Maillard reactions (Zhou et al., 2022), and surface water evaporation (Egea et al., 2012).

Chroma values remained virtually the same after baking, as did the hue angle of the burger formulations, which varied from red to yellow. This indicates stability in the saturation and hue of the burgers during heat treatment.

4 Conclusion

The results of this study indicate that baru by-products can be used in formulations as ingredients to improve nutritional value and technological properties. Of all the formulations evaluated, F6 (40% FTB + 40% FPIME) presented excellent protein and dietary fiber contents, as well as low fat content, demonstrating that the nutrients present add nutritional value to the developed plant-based analogue.

Regarding the results presented for the cooking yield, diameter, and thickness analyses of formulations F2 (80% FTB) and F4 (40% GB + 40% FTB), this result may be related to the amount of protein present in the samples, as these two formulations presented higher levels. The color analyses performed on the samples showed that the formulations with a higher by-product content in their composition presented a more reddish-brown coloration, an essential characteristic for attracting consumers when purchasing the product, indicating that the raw materials analyzed have great nutritional, technological, and economic potentials.

Conflict of Interest: None to declare.

Acknowledgements: The authors thank CAPES, FINEP, CNPq, FAPEG, IF Goiano, and UFG for financial support.

References

- Alsaman, F. B., Tulbek, M., Nickerson, M., & Ramaswamy, H. S. (2020). Evaluation and optimization of functional and antinutritional properties of aquafaba. *Legume Science*, 2(2), e30.
- Appiani, M., Cattaneo, C., & Laureati, M. (2023). Sensory properties and consumer acceptance of plant-based meat, dairy, fish and eggs analogs: A systematic review. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7, 1268068.
- Ariz, I., Ansorena, D., & Astiasaran, I. (2024). In vitro digestion of beef and vegan burgers cooked by microwave technology: Effects on protein and lipid fractions. *Food Research International*, 186, 114376.
- Badar, I. H., Liu, H., Chen, Q., Xia, X., & Kong, B. (2021). Future trends of processed meat products concerning perceived healthiness: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(5), 4739-4778.
- Botella-Martinez, C., Viuda-Martos, M., Fernández-López, J. A., Perez-Alvarez, J. A., & Fernandez-Lopez, J. (2022). Development of plant-based burgers using gelled emulsions as fat source and beetroot juice as colorant: Effects on chemical, physicochemical, appearance and sensory characteristics. *LWT*, 172, 114193.
- [Record #4033 is using a reference type undefined in this output style.]
- Brasil. (2002). *Agência Nacional da Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução RDC nº 259, de 20 de setembro de 2002. Aprova o Regulamento Técnico sobre Rotulagem de Alimentos Embalado*. Retrieved 9 July from
- Brasil. (2003). *Agência Nacional da Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução-RDC Nº 360, de 23 de dezembro de 2003. Aprova o Regulamento Técnico sobre Rotulagem Nutricional de Alimentos Embalados, tornando obrigatória a rotulagem nutricional*. Retrieved 9 July from
- [Record #8185 is using a reference type undefined in this output style.]
- Brasil, D. C. d. A. (2012). Resolução da Diretoria Colegiada-RDC nº 54, de 12 de novembro de 2012. *Dispõe sobre o Regulamento Técnico sobre Informação Nutricional Complementar. Diário Oficial da União. Brasília, DF(219)*.
- Chen, Q., Chen, Z., Zhang, J., Wang, Q., & Wang, Y. (2023). Application of lipids and their potential replacers in plant-based meat analogs. *Trends in Food Science & Technology*, 138, 645-654.
- Chen, Y. P., Feng, X., Blank, I., & Liu, Y. (2022). Strategies to improve meat-like properties of meat analogs meeting consumers' expectations. *Biomaterials*, 287, 121648.
- Choe, J.-H., Kim, H.-Y., Lee, J.-M., Kim, Y.-J., & Kim, C.-J. (2013). Quality of frankfurter-type sausages with added pig skin and wheat fiber mixture as fat replacers. *Meat science*, 93(4), 849-854.

- Cornet, S. H. (2021). *Water binding and water release by plant-based meat analogues* [Wageningen University and Research].
- Domínguez, R., Lorenzo, J. M., Pateiro, M., Munekata, P. E., Alves dos Santos, B., Basso Pinton, M., Cichoski, A. J., & Bastianello Campagnol, P. C. (2024). Main animal fat replacers for the manufacture of healthy processed meat products. *Critical reviews in food science and nutrition*, 64(9), 2513-2532.
- Dreeling, N., Allen, P., & Butler, F. (2000). Effect of cooking method on sensory and instrumental texture attributes of low-fat beefburgers. *LWT-Food Science and Technology*, 33(3), 234-238.
- Egea, M., Borsato, D., Silva, R., & Yamashita, F. (2012). Osmo-dehydrated functional product containing fructo-oligosaccharides: physical, chemical and sensorial characteristics. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 55(6), 927-936.
- Egea, M. B., de Oliveira Filho, J. G., Campos, S. B., & Lemes, A. C. (2023). The potential of baru (*Dipteryx alata* Vog.) and its fractions for the alternative protein market. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7, 1148291.
- Kothuri, V., Keum, D. H., Lee, H. J., Han, J. H., & Han, S. G. (2024). Emulsion gels with chia flour enhance quality of plant-based meat analogs by reducing fat and improving texture. *LWT*, 214, 117140.
- Kumar, P., Chatli, M., Mehta, N., Singh, P., Malav, O., & Verma, A. K. (2017). Meat analogues: Health promising sustainable meat substitutes. *Critical reviews in food science and nutrition*, 57(5), 923-932.
- Lage, N. N., Nimer, M., Pereira, R. A., Silva, M. E., & da Silva, C. A. M. (2015). Avaliação da adequação do teor de iodo em amostras de sal refinado e de sal grosso comercializado em Ouro Preto-MG, Brasil. *DEMETRA: Alimentação, Nutrição & Saúde*, 10(1), 99-108.
- Locatelli, N. T., Chen, G. F. N., Batista, M. F., Furlan, J. M., Wagner, R., Bandoni, D. H., & de Rosso, V. V. (2024). Nutrition classification schemes for plant-based meat analogues: Drivers to assess nutritional quality and identity profile. *Current Research in Food Science*, 9, 100796.
- Luz, G. M., Orlando, E. A., Rebellato, A. P., Greiner, R., & Pallone, J. A. L. (2024). Essential minerals and anti-nutritional compounds in plant-based burgers using the infogest in vitro digestion protocol. *Journal of Food Composition and Analysis*, 135, 106574.
- Mehta, N., Ahlawat, S., Sharma, D., & Dabur, R. (2015). Novel trends in development of dietary fiber rich meat products—a critical review. *Journal of food science and technology*, 52(2), 633-647.
- Nam, J.-K., Lee, J. Y., & Jang, H. W. (2024). Quality characteristics and volatile compounds of plant-based patties supplemented with biji powder. *Food Chemistry: X*, 23, 101576.

- Peñaranda, I., Garrido, M. D., García-Segovia, P., Martínez-Monzó, J., & Igual, M. (2023). Enriched pea protein texturing: physicochemical characteristics and application as a substitute for meat in hamburgers. *Foods*, *12*(6), 1303.
- Pinero, M., Parra, K., Huerta-Leidenz, N., De Moreno, L. A., Ferrer, M., Araujo, S., & Barboza, Y. (2008). Effect of oat's soluble fibre (β -glucan) as a fat replacer on physical, chemical, microbiological and sensory properties of low-fat beef patties. *Meat science*, *80*(3), 675-680.
- Ramadhan, K., Huda, N., & Ahmad, R. (2011). Physicochemical characteristics and sensory properties of selected Malaysian commercial chicken burgers. *International Food Research Journal*, *18*(4).
- Singh, A., & Sit, N. (2025). Optimization of ingredient composition for meat analogue prepared from Manila tamarind protein isolate by freeze texturization. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, *39*, 101095.
- Sousa, T. L. d., Filho, J. G. d. O., Cabassa, I. d. C. C., Lemes, A. C., & Egea, M. B. (2024). Unraveling the Potential of Baru (*Dipteryx alata* Vog.) Fruit Fractions as a Sustainable Food Ingredient: Chemical and Technological Characteristics and Prebiotic Potential. *Sustainability*, *16*(24), 10976.
- Stantiall, S. E., Dale, K. J., Calizo, F. S., & Serventi, L. (2018). Application of pulses cooking water as functional ingredients: The foaming and gelling abilities. *European Food Research and Technology*, *244*(1), 97-104.
- Tabarestani, H. S., Mahoonak, A. S., & Ghorbani, M. (2024). Formulating low-fat beef burger with fenugreek seed gum: Impact on texture, chemistry, and sensory characteristics. *Food and Humanity*, *2*, 100260.
- Tachie, C., Nwachukwu, I. D., & Aryee, A. N. (2023). Trends and innovations in the formulation of plant-based foods. *Food production, processing and nutrition*, *5*(1), 16.
- TACO. (2011). *Tabela brasileira de composição de alimentos*. NEPA-UNICAMP.
- Trujillo-Mayol, I., Sobral, M. M. C., Viegas, O., Cunha, S. C., Alarcon-Enos, J., Pinho, O., & Ferreira, I. M. (2021). Incorporation of avocado peel extract to reduce cooking-induced hazards in beef and soy burgers: A clean label ingredient. *Food Research International*, *147*, 110434.
- Vaskoska, R., Ha, M., Naqvi, Z. B., White, J. D., & Warner, R. D. (2020). Muscle, ageing and temperature influence the changes in texture, cooking loss and shrinkage of cooked beef. *Foods*, *9*(9), 1289.
- Vu, G., Zhou, H., & McClements, D. J. (2022). Impact of cooking method on properties of beef and plant-based burgers: Appearance, texture, thermal properties, and shrinkage. *Journal of Agriculture and Food Research*, *9*, 100355.

- WHO. (2008). *World Health Organization. Regional Office for the Eastern Mediterranean. Elimination of Iodine Deficiency disorders: a manual for health workers* (Vol. 35). World Health Organization.
- WHO. (2012). Guidelines Approved by the Guidelines Review Committee. Guideline: sodium intake for adults and children. *Geneva: World Health Organization*.
- Wojtasik-Kalinowska, I., Marcinkowska-Lesiak, M., Onopiuk, A., Szpicer, A., Wierzbicka, A., & Poltorak, A. (2022). The effect of *Solanum lycopersicum* L. extract on quality and flavor stability of ready to eat meat products. *Animal Science Papers & Reports*, 40(4).
- Zhang, Z., Zang, M., Zhang, K., Wang, S., Li, D., & Li, X. (2023). Effect of two types of thermal processing methods on the aroma and taste profiles of three commercial plant-based beef analogues and beef by GC-MS, E-nose, E-tongue, and sensory evaluation. *Food Control*, 146, 109551.
- Zhou, H., Vu, G., Gong, X., & McClements, D. J. (2022). Comparison of the cooking behaviors of meat and plant-based meat analogues: Appearance, texture, and fluid holding properties. *ACS Food Science & Technology*, 2(5), 844-851.