Food Science Today 5:1 (2026)
ISSN 2965-1190

RESEARCH ARTICLE

FOOD SCIENCE TODAY

Desenvolvimento de farinha à base da fruta-pão (*Artocarpus altilis*) enriquecida com fécula da mandioca (*Manihot esculenta*) e farinha de amendoim torrado (*Arachis hypogaea* L)

Development of flour based on breadfruit *(Artocarpus altilis)* enriched with cassava starch *(Manihot esculenta*) and roasted peanut flour (*Arachis hypogaea* L)

Armando Mateus Moiana [a,*], Chaid Acácio António Mussalafo [a], Inocêncio Collor de Melo Horácio [a], Jausse Elias Camunacossa [a]

[a] Departamento de Ciências Alimentares, Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Licungo, 2400, Cidade de Quelimane, Província da Zambézia, Moçambique.

Resumo

A fruta-pão (*Artocarpus altilis*) é uma fruta tropical cultivada em diversas regiões do mundo. Em Quelimane, na Província da Zambézia, Moçambique, há grande abundância deste alimento, apesar da sua sazonalidade. Ela é rica em carbohidratos e fibras, todavia, apresenta algumas deficiências nutricionais, tais como proteínas e lipídeos. Embora o processamento e enriquecimento possam melhorar o seu valor nutricional, ainda são escassos estudos sobre o desenvolvimento de formulações enriquecidas à base de fruta-pão utilizando ingredientes como fécula de mandioca e farinha de amendoim torrado, particularmente no contexto moçambicano. Este estudo visou desenvolver farinha de fruta-pão enriquecida com fécula de mandioca e farinha de amendoim torrado e avaliar as suas características nutricionais. Foram elaboradas sete formulações (F0–F6), contendo diferentes proporções dos ingredientes, e determinados o teor de proteína, fibra, cálcio, fósforo e ferro por métodos laboratoriais padronizados. Os dados foram submetidos à análise estatística por ANOVA e teste de Tukey ($p < 0,05$). Os resultados mostraram que o teor de proteína variou de 1,77% (F0) a 7,64% (F1), evidenciando aumento expressivo nas formulações enriquecidas. O conteúdo de fibras oscilou entre 4,82% (F6) a 10,02% (F0); o de cálcio, de 23,10 mg/100 g (F4) a 29,04 mg/100 g (F1); o de fósforo, de 149 mg/100 g (F2) a 522 mg/100 g (F0); e o de ferro, de 3,33 mg/100 g (F0) a 16,67 mg/100 g (F5). As formulações enriquecidas apresentaram melhoria significativa do valor nutricional, destacando-se a formulação F1, pelo maior teor proteico, e a F5, pelo maior teor de ferro. Os resultados demonstram que a incorporação de farinha de amendoim torrado e fécula de mandioca à farinha de fruta-pão constitui uma estratégia promissora para o enriquecimento nutricional, contribuindo para o aumento dos teores de proteína e ferro e para a valorização de matérias-primas locais na promoção da segurança alimentar e nutricional.

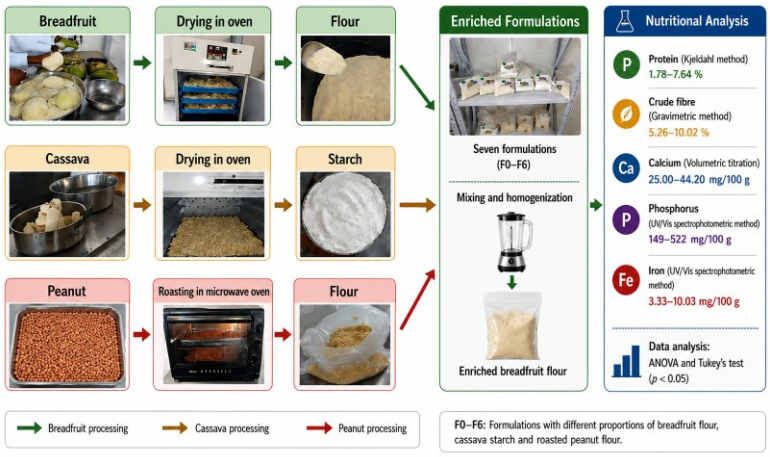
Palavras-chave: Fruta-pão. Amendoim. Mandioca. Farinha composta. Enriquecimento. Valor nutricional.

Abstract

Breadfruit (*Artocarpus altilis*) is a tropical fruit cultivated in several regions of the world. In Quelimane, Zambézia Province, Mozambique, this food is abundant despite its seasonal availability. It is rich in carbohydrates and dietary fiber; however, it has certain nutritional limitations, particularly its low protein and lipid contents. Although processing and fortification can improve its nutritional value, studies on the development of fortified breadfruit flour formulations using ingredients such as cassava starch and roasted peanut flour remain scarce, especially in the Mozambican context. This study aimed to develop breadfruit flour fortified with cassava starch and roasted peanut flour and to evaluate its nutritional characteristics. Seven formulations (F0–F6), containing different proportions of the ingredients, were prepared, and their protein, dietary fiber, calcium, phosphorus, and iron contents were determined using standardized laboratory methods. The data were analyzed by analysis of variance (ANOVA) followed by Tukey's test ($p < 0.05$). The results showed that the protein content ranged from 1.77% (F0) to 7.64% (F1), indicating a marked increase in the fortified formulations. Dietary fiber content ranged from 4.82% (F6) to 10.02% (F0); calcium from 23.10 mg/100 g (F4) to 29.04 mg/100 g (F1); phosphorus from 149 mg/100 g (F2) to 522 mg/100 g (F0); and iron from 3.33 mg/100 g (F0) to 16.67 mg/100 g (F5). The fortified formulations showed a significant improvement in nutritional value, with formulation F1 standing out for its highest protein content and F5 for its highest iron content. These findings demonstrate that the incorporation of roasted peanut flour and cassava starch into breadfruit flour is a promising strategy for nutritional fortification, contributing to increased protein and iron contents while promoting the use of locally available raw materials to enhance food and nutrition security.

Keywords: Breadfruit. Peanut. Cassava. Compound flour. Enrichment. Nutritional value.

Graphical Abstract



*Corresponding author: Armando M. Moiana. Email Address: carmandomateus@gmail.com
Submitted: 21 March 2026; Accepted: 28 July 2026; Published: 31 July 2026.
© The Author(s) 2026. Open Access (CC BY 4.0).

ROYALDATASET

1. Introdução

A busca por soluções alimentares sustentáveis, nutritivas e economicamente acessíveis tem impulsionado a investigação de matérias-primas autóctones, com ênfase no desenvolvimento de farinhas compostas capazes de elevar o valor nutricional de formulações de base (Kaur et al., 2025). Nesse contexto, a fruta-pão (*Artocarpus altilis*) destaca-se como uma matriz alimentar tropical rica em carboidratos e fibras. Além de seu perfil nutricional, a espécie apresenta um elevado potencial tecnológico para elaboração de farinhas gluten-free, configurando-se como uma alternativa promissora para a fortificação dietética em países em desenvolvimento (Bezerra et al., 2017). Essa versatilidade torna a fruta-pão uma excelente base amilácea para a formulação de farinhas enriquecidas com outras matrizes alimentares, promovendo a sinergia funcional e nutricional necessária para o desenvolvimento de novos produtos (Mehta et al., 2023).

A fécula de mandioca (*Manihot esculenta*) é um ingrediente amplamente disponível em regiões tropicais, destacando-se por seu alto teor de amido e propriedades de gelatinização que favorecem a textura de produtos farináceos. Apesar de seu baixo conteúdo proteico, é amplamente utilizada na formulação de farinhas compostas em sinergia com matrizes ricas em proteínas e micronutrientes (Chisenga et al., 2019). De modo similar, o amendoim torrado (*Arachis hypogaea L*), apresenta um perfil nutricional rico em proteínas, lipídios insaturados, fibras e minerais, configurando-se como um complemento funcional ideal para o enriquecimento de farinhas à base de raízes e frutos (Santos et al., 2021).

A disponibilidade de matérias-primas agrícolas na província da Zambézia, especialmente no distrito de Quelimane, revela um elevado potencial para o desenvolvimento agroindustrial, destacando-se a fruta-pão, a mandioca e o amendoim, culturas produzidas predominantemente pela agricultura familiar (mais de 97%) e essenciais para a segurança alimentar e a economia rural. A mandioca assume particular relevância, com uma produção nacional estimada em 7,6 milhões de toneladas, das quais cerca de 1,89 milhão são provenientes da Zambézia, constituindo uma importante fonte de matéria-prima para a produção de farinha e fécula. A fruta-pão apresenta disponibilidade expressiva em Quelimane, com produtividade média de aproximadamente 48 kg por árvore/ano, destacando-se o seu potencial para transformação em farinha como alternativa à importação de trigo. O amendoim, por sua vez, combina elevado valor nutricional, contendo cerca de 50% de lipídios e entre 22% e 30% de proteínas, com uma produção nacional de cerca de 173.936 toneladas, das quais aproximadamente 9.403 toneladas são produzidas na Zambézia. Apesar da abundância dessas culturas e da posição estratégica de Quelimane como centro de recepção e escoamento, persistem limitações associadas à sazonalidade da produção, à dispersão dos produtores e à insuficiência de infraestruturas de armazenamento, processamento e transporte, fatores que restringem a integração dessas matérias-primas em cadeias de valor estruturadas e limitam a agregação de valor e o aproveitamento do seu potencial agroindustrial e nutricional (MADER, 2024). Paralelamente, a dependência de farinhas importadas, como a de trigo, impõem um desafio para a segurança alimentar e eleva o custo de produtos essenciais no mercado local e nacional (Adebowale et al., 2025; Moçambique, 2025).

Diante desse cenário, identifica-se uma lacuna tecnológica no aproveitamento integrado desses recursos. A formulação de farinhas compostas à base de fruta-pão, enriquecidas com fécula de mandioca e amendoim torrado, surge como uma estratégia para mitigar as deficiências de proteína, fibras e micronutrientes na dieta local, além de diversificar os produtos alimentares disponíveis no mercado (Martinelli & Cavalli, 2019). No entanto, a incorporação de farinha de amendoim torrado e fécula de mandioca poderia melhorar o perfil nutricional da farinha de fruta-pão, aumentando principalmente os teores de proteína e minerais.

A literatura corrobora que tais misturas otimizam significativamente o perfil de macronutrientes e propriedades funcionais de produtos alimentícios (Sarinho et al., 2021). Acresce que ainda são escassos estudos sobre o desenvolvimento de formulações enriquecidas à base de fruta-pão utilizando ingredientes locais, como fécula de mandioca e farinha de amendoim torrado, particularmente no contexto moçambicano. Por conseguinte, a presente pesquisa fomenta o desenvolvimento rural e a agricultura familiar, criando oportunidade de geração de renda ao mesmo tempo em que atua diretamente nos desafios da segurança alimentar (Silva et al., 2023). Do ponto de vista científico, o estudo contribui para o entendimento das interações físico-químicas e nutricionais entre farinha de fruta-pão, fécula de mandioca e farinha de amendoim torrado (Sarinho et al., 2021). Em consequência, esta pesquisa teve como objetivo geral desenvolver uma farinha composta à base de fruta-pão, fécula de mandioca e farinha de amendoim torrado no distrito de Quelimane, e caracterizar o produto final quanto aos teores de proteína, fibra e minerais (fósforo, ferro e cálcio).

2. Material e Métodos

2.1. Local do estudo

A pesquisa foi desenvolvida na unidade de processamento de alimentos do IFPELAC - Centro de Formação Profissional de Quelimane. O desenho de formulações e mistura das farinhas produzidas para o seu enriquecimento fez-se no laboratório de processamento de alimentos da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Licungo em Quelimane. As análises físico-químicas do teor de proteína e as análises de fibra, fosforo, ferro e cálcio foram conduzidas no laboratório do Instituto de Investigação Agrária de Moçambique (IIAM) e no Laboratório Nacional de Higiene de Águas e Alimentos (LNHAA) respectivamente, ambas na cidade de Maputo. Após o processamento, as amostras de farinha foram acondicionadas em embalagens herméticas de polietileno de alta densidade, com vedação térmica, protegidas da luz e do oxigénio. O estudo teve a duração de 6 meses, de julho a dezembro de 2025.

2.2. Obtenção da matéria-prima

A fruta-pão (*Artocarpus altilis*) foi adquirida na localidade de Maquivale, distrito de Quelimane, sendo colhida no estádio maturo-firme, condição ideal para processamento em farinha. Este estádio caracteriza-se por frutos ainda verdes ou verde-claros, de textura firme, presença de látex parcialmente seco na casca e ausência de amolecimento típico de frutos sobremaduros.

A mandioca (*Manihot esculenta*) foi obtida em centros comerciais da cidade de Quelimane, proveniente de produção local, sendo selecionada no estádio de maturação fisiológica entre 10 e 14 meses após o plantio. As raízes apresentavam casca firme aderida à polpa branca homogénea e sinais externos de maturação, como ligeiras fissuras no solo ao redor da planta, indicador de desenvolvimento radicular completo e elevado teor de amido.

O amendoim (*Arachis hypogaea L.*) foi adquirido no estádio de maturação completa, correspondente a um ciclo produtivo de aproximadamente 130 a 150 dias. A seleção foi realizada com base na análise visual das vagens, assegurando que mais de 70% apresentavam coloração interna escura (tons marrom a preto no mesocarpo), indicador de plena maturidade fisiológica e elevado teor lipídico, adequado para processamento em farinha e extração de óleo.

Todas as matérias primas adquiridas foram transportadas em sacos plásticos apropriados para a unidade de processamento de alimentos do IFPELAC em Quelimane. O ácido acético e embalagens foram adquiridos nos diversos supermercados localizados na Cidade Quelimane. As imagens dos padrões de matéria-prima estão ilustradas na **Fig. 1**.



Fig. 1. : Matéria prima (fruta pão, mandioca e amendoim) usadas para a produção da enriquecida.

2.3. Desenho experimental

Para a elaboração de farinhas e fécula, tomou-se em consideração as três matérias primas essências que foram usados para a produção dos seus derivados, codificados em FFP (Farinha da Fruta-Pão), FM (Fécula de Mandioca) e FAT (Farinha de Amendoim Torrado). As formulações (**Tabela 1**) foram codificadas de F0, F1, F2, F3, F4, F5 e F6 e usou-se 1000 g como base de cálculo para fazer a mistura entre os produtos obtidos. A escolha dos pontos de mistura apresentados (F1 a F6) baseou-se numa abordagem empírica de substituição progressiva entre a farinha de fécula de mandioca (FM) e a farinha de amendoim torrado (FAT), mantendo constante a quantidade de farinha de fruta-pão (FFP). Do ponto de vista empírico, optou-se por variar FM e FAT de forma inversamente proporcional, garantindo sempre a soma constante para completar a base de 1000g. Embora não tenha sido aplicado um delineamento formal de misturas, essa distribuição pode ser interpretada como uma amostragem discreta de uma curva de substituição simples, permitindo avaliar tendências e identificar regiões de interesse (ótimos locais ou mudanças de comportamento).

Tabela 1 Formulações das farinhas de fruta-pão enriquecidas usando base de cálculo de 1000 g

Formulação	F0		F1		F2		F3		F4		F5		F6	
FFP	1000 g	(100%)	600 g	(60%)	600 g	(60%)	600 g	(60%)	600g	(60%)	600g	(60%)	600g	(60%)
FM	0g	(0%)	120 g	(12%)	180 g	(18%)	200 g	(20%)	300g	(30%)	280g	(28%)	220g	(22%)
FAT	0g	(0%)	280 g	(28%)	220 g	(22%)	200 g	(20%)	100g	(10%)	120g	(12%)	180g	(18%)

FFP=Farinha da Fruta Pão; FM= Fécula da Mandioca; FAT=Farinha de Amendoim Torrado

2.2. Produção da farinha de fruta-pão

As frutas foram selecionadas manualmente, lavadas com água corrente, seguido de descasque manual usando facas inoxidáveis, deixando apenas a polpa. Em seguida, a fruta-pão descascada foi imersa em solução de ácido acético a 1% (v/v), numa proporção de 1:3 (m/v), durante 10 minutos para reduzir o escurecimento enzimático, preservar as características sensoriais e contribuir para a redução da carga microbiana. Depois, a fruta foi cortada em pedaços uniformes, dispostos em bandejas e levadas à estufa a 48 ºC por 48 h. Posteriormente, o material seco foi submetido ao processo de moagem e peneiramento (80 mesh, ≈180 µm), para a obtenção da farinha de fruta-pão. Por fim, a farinha foi acondicionada em embalagens herméticas e protegidas da luz, umidade e calor, e armazenada em local seco e fresco para análise posterior.

2.2. Produção da fécula da mandioca

As raízes de mandioca seguiram o mesmo processo de lavagem, descasque e imersão em solução de ácido acético a 1% (v/v) indicadas para a fruta-pão. Em seguida, a mandioca foi cortada em pedaços que foram triturados e ralados. Seguidamente, a massa obtida foi misturada com água e deixada em repouso. Posteriormente o material foi filtrado para remover fibras, resíduos sólidos e impurezas. Na sequência, a fécula decantada foi submetida a sucessivos enxágues com água limpa, visando à remoção de impurezas solúveis e resíduos indesejáveis, e então foi espalhada em superfícies limpas e submetida à secagem natural à temperatura ambiente (~25 °C). Posteriormente a fécula passou por secagem em estufa a 48º C por 48 h. Após a secagem, o material foi moído, caracterizando a fécula em pó, seguida de peneiramento (80 mesh ≈180 µm) e acondicionamento em embalagens apropriadas para análise posterior.

2.2. Produção da farinha de amendoim torrado

Os amendoins crus foram submetidos à torra em forno micro-ondas com potência de 800 W, durante 5 minutos, com interrupções a cada 1 minuto para homogeneização do aquecimento. Ao final do processo, a temperatura dos grãos

atingiu aproximadamente 140–150 °C, faixa adequada para promover reações de Maillard responsáveis pelo desenvolvimento de aroma, sabor e coloração característicos, bem como para redução da umidade. Após a torra, os amendoins foram resfriados rapidamente, removeu-se a película e moeu-se, transformando-os em partículas finas. Seguidamente a farinha foi peneirada e acondicionada em embalagens herméticas para análises posteriores.

2.2. Enriquecimento da farinha da fruta pão

As formulações desenvolvidas diferiram quanto às proporções dos ingredientes conforme apresentado na Tabela 1, e foram misturadas com auxílio de um liquidificador de 700 W de potência e rotação de 3600 rpm. Posteriormente as farinhas enriquecidas foram acondicionadas em embalagens herméticas para análise.

2.7 Análise nutricional

2.7.1 Preparo das amostras

O estudo foi conduzido utilizando sete formulações experimentais (F0 a F6), consideradas como unidades experimentais independentes. Cada formulação foi produzida em lote único homogêneo, a partir do qual foram retiradas amostras para as análises laboratoriais. As determinações físico-químicas e minerais foram realizadas em triplicata analítica, correspondendo a três medições independentes da mesma amostra previamente homogeneizada. Não foram realizadas repetições biológicas independentes dos lotes/formulações. Antes das análises, as amostras foram trituradas, homogeneizadas e acondicionadas em recipientes herméticos. Para as determinações minerais, as amostras foram previamente secas em estufa de circulação de ar a 60 °C até massa constante e posteriormente moídas em moinho analítico.

2.7.2 Determinação de teor de proteína

O teor de proteínas foi determinado pelo método de Kjeldahl (978.04) (AOAC, 2005). Amostras previamente homogeneizadas (≈0,5 g) foram digeridas com ácido sulfúrico e catalisador, seguidas de destilação alcalina e titulação com ácido clorídrico. O teor de proteína bruta foi calculado a partir do nitrogênio total, utilizando-se o fator de conversão 6,25, e os resultados foram expressos em percentagem.

2.7.3 Determinação de fibra bruta

O teor de fibra bruta foi determinado pelo método gravimétrico 962.09, baseado em digestão sequencial ácida e alcalina da amostra (AOAC, 2005). Aproximadamente 1,0 g de amostra seca e homogeneizada foi submetido à digestão com 100 mL de solução de ácido sulfúrico a 1,25% (v/v), sob aquecimento até ebulição por 30 min. Após filtração e lavagem com água destilada quente, o resíduo foi submetido à digestão alcalina utilizando 100 mL de solução de hidróxido de sódio a 1,25% (m/v), também por 30 min sob aquecimento. O material foi novamente filtrado, lavado até neutralidade e seco em estufa a 105 °C até peso constante. O teor de fibra bruta, expresso em percentagem em massa (% m/m), foi calculado gravimetricamente com base na diferença entre a massa inicial da amostra e a massa do resíduo seco final.

2.7.4 Determinação de fosforo

O teor de fósforo foi determinado por espectrofotometria de absorção molecular na região UV/Vis (995.11), baseada na formação do complexo fosfomolibdênico reduzido (“azul de molibdênio”) (AOAC, 2005). Aproximadamente 1,0 g de amostra foi submetido à digestão ácido-oxidativa utilizando mistura nítrico-perclórica (HNO_3:$HClO_4$, 3:1 v/v) sob aquecimento controlado até obtenção de solução límpida. Após resfriamento, o digestato foi transferido para balão volumétrico de 50 mL e o volume completado com água destilada. Uma alíquota do extrato mineral foi reagida com solução de molibdato de amônio e agente redutor à base de ácido ascórbico, permanecendo em repouso por 20 min para desenvolvimento da coloração azul. A absorbância foi determinada em espectrofotômetro UV/Vis a 880 nm. A quantificação foi realizada por curva analítica construída com soluções padrão de fosfato monopotássico (KH_2PO_4) em concentrações conhecidas. O coeficiente de determinação (R^2) da curva analítica foi superior a 0,99. Os resultados foram expressos em mg/100 g de amostra.

2.7.5 Determinação do ferro

O teor de ferro foi determinado por espectrofotometria UV/Vis (944.02), baseada na formação do complexo ferroso com 1,10-fenantrolina (AOAC, 2005). Para a mineralização, aproximadamente 1,0 g da amostra foi submetido à digestão ácido-oxidativa com mistura nítrico-perclórica (HNO_3:$HClO_4$, 3:1 v/v) sob aquecimento até completa digestão da matéria orgânica. Após resfriamento e diluição em balão volumétrico, uma alíquota da solução foi tratada com hidroxilamina para redução do ferro à forma Fe^{2+}, seguida da adição de solução de 1,10-fenantrolina e solução tampão acetato (pH 4,5). Após 15 min para estabilização da coloração alaranjada-avermelhada, a absorbância foi medida a 510 nm em espectrofotômetro UV/Vis. A concentração de ferro foi determinada por curva analítica preparada com soluções padrão de sulfato ferroso em concentrações conhecidas, apresentando coeficiente de determinação (R^2) superior a 0,99. Os resultados expressos em mg/100 g de amostra.

2.7.6 Determinação de cálcio

O teor de cálcio foi determinado pelo método titulométrico complexométrico com EDTA (944.03) (AOAC, 2005). Aproximadamente 1,0 g da amostra foi submetido à digestão ácido-oxidativa utilizando mistura nítrico-perclórica (HNO_3:$HClO_4$, 3:1 v/v) sob aquecimento até completa mineralização. Após resfriamento e diluição do extrato mineral, uma alíquota foi ajustada para pH 10 com solução tampão amônia/cloreto de amônio. Em seguida, procedeu-se à titulação com solução padrão de EDTA 0,01 mol L^{-1} utilizando murexida como indicador metalocrômico. O ponto final da titulação foi identificado pela mudança de coloração de rosa para violeta. A concentração de cálcio foi calculada com base no volume de EDTA consumido, na molaridade da solução titulante e na massa da amostra analisada. Os resultados foram expressos em mg/100 g de amostra.

2.8 Analise de dados

A análise estatística foi realizada no software R (versão 4.2.1). Inicialmente, foram verificados os pressupostos da análise de variância (ANOVA), nomeadamente a normalidade dos resíduos e a homogeneidade das variâncias. A normalidade dos resíduos foi avaliada pelo teste de Shapiro–Wilk. A homocedasticidade foi verificada pelo teste de Levene centrado na mediana (modificação de Brown–Forsythe). Sempre que identificadas diferenças significativas, as médias foram

comparadas pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5% (α = 0,05). Os resultados foram expressos como média ± desvio padrão.

3. Resultados e Discussão

Os resultados demonstraram que as diferentes proporções de farinha de fruta-pão, fécula de mandioca e farinha de amendoim torrado influenciaram significativamente o perfil nutricional das formulações, evidenciando diferenças entre as formulações (F0–F6) para a maioria dos parâmetros analisados. Observou-se melhoria nutricional nas formulações enriquecidas, com aumento dos teores de proteína e ferro em relação à formulação controle (contendo somente farinha de fruta-pão). Em contrapartida, os teores de fibra apresentaram redução gradual à medida que ocorreu a substituição parcial da farinha de fruta-pão por fécula de mandioca, ingrediente caracterizado por elevada concentração de amido e reduzido conteúdo de fibra alimentar. Para os minerais cálcio e fósforo observaram-se diferenças significativas entre as formulações, evidenciando que a proporção entre as matérias-primas influenciou igualmente a composição mineral das misturas como ilustra a **Tabela 2**.

Tabela 2 Teores de nutrientes e minerais em farinhas de fruta-pão enriquecidas com fécula de mandioca e farinha de amendoim torrado

Formulações	Proteína (%)	Fibra (%)	Cálcio (mg/100 g)	Fósforo (mg/100 g)	Ferro (mg/100 g)
F0	1,775 ± 0,005 ^{g}	10,020 ± 0,010 ^{a}	25,01 ± 0,010 ^{e}	522 ± 1,00 ^{a}	3,330 ± 0,000 ^{d}
F1	7,637 ± 0,002 ^{a}	7,443 ± 0,015 ^{b}	29,04 ± 0,010 ^{a}	328 ± 0,00 ^{e}	10,030 ± 0,010 ^{b}
F2	5,337 ± 0,001 ^{b}	6,950 ± 0,010 ^{c}	27,06 ± 0,010 ^{b}	149 ± 1,73 ^{g}	10,023 ± 0,006 ^{b}
F3	4,662 ± 0,003 ^{c}	6,823 ± 0,006 ^{d}	26,40 ± 0,100 ^{c}	270 ± 1,00 ^{f}	10,033 ± 0,012 ^{b}
F4	3,787 ± 0,007 ^{d}	6,627 ± 0,012 ^{e}	23,10 ± 0,100 ^{g}	338 ± 1,00 ^{d}	10,023 ± 0,006 ^{b}
F5	2,214 ± 0,001 ^{e}	6,150 ± 0,010 ^{f}	23,76 ± 0,020 ^{f}	483 ± 0,00 ^{b}	16,672 ± 0,001 ^{a}
F6	1,862 ± 0,002 ^{f}	4,823 ± 0,015 ^{g}	25,74 ± 0,010 ^{d}	426 ± 0,00 ^{c}	6,672 ± 0,001 ^{c}

3.1 Proteína

O teor de proteína apresentou diferenças altamente significativas entre as formulações ($p < 0,001$), demonstrando que a composição das misturas influenciou diretamente o conteúdo proteico das farinhas formuladas. O teste de comparação de médias de Tukey ($p < 0,05$) revelou que todas as formulações diferiram estatisticamente entre si, formando sete grupos distintos. A formulação F1 apresentou o maior teor de proteína (7,637%), enquanto a formulação controle (F0), composta exclusivamente por farinha de fruta-pão, apresentou o menor valor (1,775%). As diferenças observadas entre as médias são consistentes com as proporções dos ingredientes utilizados nas formulações, embora a ausência de repetições independentes dos lotes limite a inferência estatística e a generalização dos resultados.

O elevado teor de proteína na formulação F1 está diretamente relacionado à elevada proporção de farinha de amendoim torrado (28%), e à menor quantidade de fécula de mandioca (12%). O amendoim é reconhecido como uma excelente fonte vegetal de proteínas (25–30%), além de conter aminoácidos essenciais, o que justifica o incremento observado (Arya et al., 2016; Santos et al., 2021). Por outro lado, a fécula de mandioca apresenta composição predominantemente amilácea e baixo teor proteico (Chisenga et al., 2019). Assim, o aumento da farinha de amendoim torrado promoveu enriquecimento proteico da formulação, enquanto a menor proporção de fécula de mandioca reduziu o efeito de diluição nutricional. Nas formulações subsequentes (F2–F6), observou-se redução gradual do teor de proteína, acompanhando a diminuição proporcional da farinha de amendoim torrado e/ou o aumento relativo da fécula de mandioca, confirmando o efeito diluidor exercido por esse ingrediente sobre a concentração proteica final.

Estudos com farinhas compostas à base de frutas tropicais enriquecidas com leguminosas reportaram teores proteicos entre 6 e 10%, confirmando a eficiência do amendoim como ingrediente fortificante (Arya et al., 2016; Lewandowicz et al., 2025; Tan et al., 2020; Zhao et al., 2023). Considerando valores de referência de 6–8% de proteína para alimentos enriquecidos, a formulação F1 atende plenamente esse critério, evidenciando seu potencial nutricional (Richter et al., 2019; Xipsiti, 2024).

3.2 Fibra

O teor de fibras variou de 4,823% (F6) a 10,020% (F0), sendo a formulação controle (F0) a que apresentou o maior teor. A análise de variância indicou efeito altamente significativo das formulações sobre o teor de fibra ($p < 0,001$), evidenciando diferenças entre as médias das formulações.

A elevada concentração de fibra em F0 é atribuída à utilização exclusiva da farinha de fruta-pão, ingrediente naturalmente mais rico em fibra alimentar (Mehta et al., 2023). Por outro lado, o aumento da participação da fécula de mandioca nas demais formulações contribuiu para a redução do teor fibroso, uma vez que este ingrediente possui baixo conteúdo de fibra (Chisenga et al., 2019). O menor teor de fibra na formulação F6 reforça o efeito de diluição associado à composição amilácea da fécula de mandioca. Apesar da redução relativa nas formulações enriquecidas, todas mantiveram valores superiores a 4%, classificados como bons níveis de fibra alimentar. Recomenda-se ingestão mínima de 25 g/dia de fibras para adultos, e farinhas com teores acima de 6% contribuem significativamente para atingir essa recomendação (Daley & Shreenath, 2025).

Além disso, Jahreis et al. (2016), ao avaliarem farinhas de leguminosas como fontes de proteína e fibra alimentar, verificaram que a soja e o tremoço apresentaram cerca de 35 g de proteína por 100 g, enquanto a farinha de tremoço apresentou aproximadamente 35 g/100 g de fibra. Os autores destacam ainda o potencial da substituição parcial (10–20%) da farinha de cereais por farinhas de leguminosas na produção de pães, bolos e outros produtos de panificação, visando melhorar a qualidade nutricional. De forma complementar, o Portal de Conhecimento sobre Promoção da Saúde recomenda ingestão mínima de 25 g/dia de fibras para adultos (Health Promotion and Disease Prevention Knowledge Gateway, 2023; McKeown et al., 2022).

3.3 Cálcio

Os teores de cálcio variaram de 23,10 a 29,04 mg/100 g entre as formulações, sendo o maior valor observado em F1 e o menor em F4. O maior teor de cálcio em F1 pode estar relacionado à maior participação da farinha de amendoim torrado, enquanto os menores teores podem ser atribuídos ao efeito de diluição da fécula de mandioca, ingrediente com baixo conteúdo mineral. Entretanto, como cada formulação foi produzida em lote único e as análises foram realizadas em triplicata analítica, os resultados refletem a precisão das determinações e representam apenas os lotes avaliados, devendo sua generalização para outros lotes ser interpretada com cautela.

Moreira et al., (2024) num estudo sobre a obtenção e caracterização físico-química de farinha e amido de fruta-pão (*Artocarpus altilis*) acharam 2910 ± 40 mg/100 g de cinzas, que reflete o conteúdo mineral deste fruto. Por outro lado, Salgado et al. (2022) num estudo sobre adição de farinha de casca de guavira em pão, encontram 2000 mg/100 g de cinzas na composição físico-química da farinha de casca de guavira. Apesar disso, estudos recentes indicam que o cálcio em farinhas vegetais é geralmente baixo, especialmente quando não há inclusão de ingredientes fortificados ou folhas verdes, conforme indicado por Shlisky et al. (2022). Os autores afirmam ainda que, para FAO e OMS, a ingestão diária recomendada de cálcio para adultos é de 1000 mg/dia, indicando que essas farinhas devem ser complementadas com outras fontes alimentares ricas nesse mineral.

A Direção Nacional de Saúde, Seção de Nutrição da República de Moçambique (1992), afirma que, em 100 g da parte comestível de algumas farinhas, é possível encontrar os seguintes valores de cálcio (Ca): na farinha de trigo, 16 mg; na farinha de milho, 9 mg; na farinha de mapira, 20 mg; e na farinha de mandioca, 55 mg.

3.4 Fósforo

O teor de fósforo variou significativamente entre as formulações, com destaque para F0 (522 mg/100 g), seguida de F5 (483 mg/100 g) e F6 (426 mg/100 g). Pelo teste de Tukey, todas as formulações diferiram significativamente ($p < 0,001$) entre si, sendo F0 a formulação com maior teor de fósforo e F2 a que apresentou o menor valor.

A redução inicial observada em F1–F3 está associada à substituição parcial da farinha de fruta-pão por fécula de mandioca, que possui baixo teor mineral. Em contrapartida, os elevados teores observados em F0, F5 e F6 sugerem contribuição relevante tanto da farinha de fruta-pão quanto da farinha de amendoim torrado para o conteúdo de fósforo das formulações. A redução observada, especialmente em F2 (149 mg/100 g), pode estar associada ao maior efeito de diluição promovido pela fécula de mandioca, que possui reduzido conteúdo mineral.

O fósforo é um mineral essencial para o metabolismo energético e a formação óssea. A EFSA recomenda ingestão diária de 700 mg/dia para adultos (EFSA, 2015).

3.5 Ferro

O ferro apresentou aumento expressivo nas formulações enriquecidas, com destaque para F5 (16,672 mg/100 g), seguida por F1–F4 (≈10,0 mg/100 g). A formulação controle (F0) apresentou o menor teor (3,330 mg/100 g). A análise de variância revelou efeito altamente significativo das formulações sobre o teor de ferro ($p < 0,001$). Embora F1 tenha apresentado maior teor proteico devido à maior concentração de farinha de amendoim torrado (28%), F5 apresentou uma combinação composicional mais favorável à concentração de ferro, mesmo contendo menor proporção de farinha de amendoim torrado (12%). Esse incremento está diretamente associado à presença do amendoim, reconhecido como boa fonte de ferro não-heme. Outrossim, esse comportamento sugere possível interação entre os ingredientes da matriz alimentar, além de variações na concentração mineral relativa decorrentes do balanço entre farinha de fruta-pão, fécula de mandioca e farinha de amendoim torrado. Adicionalmente, a menor diluição mineral em F5 pode ter favorecido maior concentração final de ferro na formulação. Em contraste, F6 apresentou menor teor de ferro (6,672 mg/100 g), possivelmente em função da maior influência diluidora da fécula de mandioca sobre a composição mineral total.

No entanto, Jahreis et al. (2016), no estudo sobre farinhas de leguminosas como fontes nutricionalmente importantes de proteína e fibra alimentar, relataram que a maioria dessas farinhas constitui boa fonte de magnésio, ferro e zinco, bem como de vitamina E, vitaminas do complexo B e carotenoides. Além dos seus benefícios nutricionais e fisiológicos, as farinhas de leguminosas apresentam menor custo do que os extratos. A Ingestão Diária Recomendada (IDR) de ferro para homens adultos e mulheres na pós-menopausa é de 8 mg/dia, enquanto para mulheres na pré-menopausa é de 18 mg/dia. A ingestão dietética mediana de ferro é de aproximadamente 16 a 18 mg/dia para homens e de 12 mg/dia para mulheres. O Limite Superior de Ingestão Tolerável (LSIT) para adultos é de 45 mg/dia, valor estabelecido com base no desconforto gastrointestinal como principal efeito adverso. Assim, uma porção de 100 g da formulação F5 pode suprir grande parte da necessidade diária desse mineral (Institute of Medicine (US) Panel on Micronutrients, 2001; OMS, 2013).

No contexto moçambicano, o consumo de alimentos fortificados com ferro é imprescindível. A fortificação de alimentos com micronutrientes é regulamentada pelo Decreto n.º 47/2025, de 10 de dezembro, que Aprova o Regulamento de Fortificação de Alimentos com Micronutrientes Industrialmente Processados e revoga o Decreto n.º 9/2016, de 18 de abril (Moçambique, 2025). Este instrumento legal estabelece a obrigatoriedade da fortificação de determinados géneros alimentícios amplamente consumidos como estratégia de saúde pública para a prevenção de deficiências nutricionais.

As especificações técnicas encontram-se definidas nas Normas Moçambicanas aplicáveis, destacando-se a NM5 para a farinha de milho e a NM7 para a farinha de trigo. Nos termos do referido regulamento, é obrigatória a fortificação da farinha de trigo, farinha de milho, óleo alimentar, açúcar e sal destinados ao consumo humano e animal, quer sejam produzidos localmente, comercializados ou importados, desde que em conformidade com as normas em vigor. A obrigatoriedade não se aplica à farinha de milho produzida por moageiras de pequena escala destinadas à moagem para consumo familiar. O regulamento estabelece ainda que a farinha de trigo deve conter Ferro, na proporção mínima de 20 mg por kg e máximo 107 mg por kg e farinha de milho deve conter Ferro, na proporção mínima de 33 mg por kg e máxima de 117 mg por kg, visando reduzir a prevalência de anemia e outras deficiências de micronutrientes, sobretudo em grupos vulneráveis (Moçambique, 2025).

Dessa forma, os resultados evidenciam que o perfil nutricional das formulações foi diretamente dependente das proporções utilizadas de farinha de fruta-pão, fécula de mandioca e farinha de amendoim torrado, demonstrando o efeito de enriquecimento nutricional promovido pelo amendoim e o efeito de diluição associado à fécula de mandioca.

4. Conclusão

O desenvolvimento da farinha de fruta-pão enriquecida com fécula de mandioca e farinha de amendoim torrado resultou em produtos com perfil nutricional significativamente melhorado, especialmente no que se refere aos teores de proteína e ferro. A formulação F1 (contendo 60% de farinha de fruta-pão, 12% de fécula de mandioca e 28% de farinha de amendoim torrado) destacou-se como a mais rica em proteína, enquanto F5 (contendo 40% de farinha de fruta-pão, 48% de fécula de mandioca e 12% de farinha de amendoim torrado) apresentou

o maior teor de ferro, demonstrando o papel fundamental da farinha de amendoim como ingrediente fortificante. A farinha de fruta-pão mostrou-se excelente fonte de fibra e fósforo, enquanto a fécula de mandioca contribuiu para ajustes tecnológicos sem comprometer totalmente a qualidade nutricional. De forma geral, as formulações desenvolvidas constituem alternativas viáveis, sustentáveis e nutricionalmente adequadas para populações com acesso limitado a alimentos industrializados, contribuindo para a segurança alimentar, valorização de recursos locais e redução da dependência de farinhas importadas.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao projeto Mozinkub financiado pela embaixada da Franca pelo pela concessão de bolsas de pesquisa. Pois foi através deste benefício que foi possível a realização desta pesquisa.

Contribuições dos Autores

A.M.M., C.A.A.M., J.E.C.: Curadoria de Dados, Redação - Preparação do Rascunho Original; A.M.M., C.A.A.M., I.C.M.H., J.E.C.: Supervisão; A.M.M, C.A.A.M., I.C.M.H, J.E.C.: Redação - Revisão e Edição, Supervisão, Administração de Projetos. Todos os autores leram e aprovaram o manuscrito final.

Disponibilidade de dados e materiais

Os dados serão disponibilizados mediante solicitação razoável.

Conflitos de interesse

Os autores declaram que não têm interesses conflitantes.

Financiamento

Esta pesquisa foi financiada pela Incubadora de Empresas da Universidade Licungo no âmbito do Projecto Mozinkub da embaixada da França.

Referências

Adebowale, O. J., Adeyanju, A. A., Mokhele, T., & Bamidele, O. P. (2025). Chemical composition of composite flour from okara powder and whole wheat flour and the sensory evaluation of the biscuits made from the composite flour. *Food Science & Nutrition*, *13*(6). https://doi.org/10.1002/fsn3.70450

AOAC. (2005). *Official Methods of Analysis of AOAC International* (18, Ed.). AOAC International.

Arya, S. S., Salve, A. R., & Chauhan, S. (2016). Peanuts as functional food: a review. *Journal of Food Science and Technology*, *53*(1), 31–41. https://doi.org/10.1007/s13197-015-2007-9

Bezerra, E. D. A., Feitoza, J. V. F., & Cavalcanti, M. T. (2017). Biometria e características físico-químicas da fruta-pão (*Artocarpus altilis*). *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, *12*(1), 100. https://doi.org/10.18378/rvads.v12i1.5027

Chisenga, S. M., Workneh, T. S., Bultosa, G., & Alimi, B. A. (2019). Progress in research and applications of cassava flour and starch: a review. *Journal of Food Science and Technology*, *56*(6), 2799–2813. https://doi.org/10.1007/s13197-019-03814-6

Daley, S. F., & Shreenath, A. P. (2025). The role of dietary fiber in health promotion and disease prevention: A practical guide for clinicians. [Updated 2025 Dec 1]. In *StatPearls [Internet]*. StatPearls Publishing. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK559033/

EFSA. (2015). Scientific opinion on dietary reference values for phosphorus. *EFSA Journal*, *13*(7). https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.4185

Health Promotion and Disease Prevention Knowledge Gateway. (2023). *Knowledge for Policy*. Dietary recommendations for dietary fibre intake. Disponível em: https://knowledge4policy.ec.europa.eu/health-promotion-knowledge-gateway/dietary-fibre-recommendations-2_en

Institute of Medicine (US) Panel on Micronutrients. (2001). 9, Iron. In *Dietary reference intakes for vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium, and zinc* (9). National Academies Press (US). https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK222309/

Jahreis, G., Brese, M., Leiterer, M., Schäfer, U., & Böhm, V. (2016). Legume flours: Nutritionally important sources of protein and dietary fiber. *Ernahrungs Umschau*, *63*(2). https://doi.org/https://doi.org/10.4455/eu.2016.007

Kaur, S. P., Sagar, N. A., & Rani, N. (2025). Alternative proteins: innovations in sources, processing, and consumption. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, *9*. https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1641712

Lewandowicz, J., Le Thanh-Blicharz, J., Jankowska, P., & Lewandowicz, G. (2025). Functionality of alternative flours as additives enriching bread with proteins. *Agriculture*, *15*(8), 851. https://doi.org/10.3390/agriculture15080851

MADER, M. (2024). *Inquérito Agrário Integrado - 2023*. Ministério da Agricultura e Desenvolvimento Rural [Moçambique], Direcção de Planificação e Políticas (DPP). Disponível em: https://www.agricultura.gov.mz/wp-content/uploads/2024/09/Inquerito-Agrario-Integrado-IAI-2023.pdf

Martinelli, S. S., & Cavalli, S. B. (2019). Alimentação saudável e sustentável: uma revisão narrativa sobre desafios e perspectivas. *Ciência & Saúde Coletiva*, *24*(11), 4251–4262. https://doi.org/10.1590/1413-812320182411.30572017

McKeown, N. M., Fahey, G. C., Slavin, J., & van der Kamp, J.-W. (2022). Fibre intake for optimal health: how can healthcare professionals support people to reach dietary recommendations? *BMJ*, *378*, e054370. https://doi.org/10.1136/bmj-2020-054370

Mehta, K. A., Quek, Y. C. R., & Henry, C. J. (2023). Breadfruit (*Artocarpus altilis*): Processing, nutritional quality, and food applications. *Frontiers in Nutrition*, *10*. https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1156155

Moçambique. (2025a). Ministério da Economia. *Diploma Ministerial n.o 132/2025 de 31 de dezembro, que designa o ICM, IP como agente do Estado com mandato para conduzir o processo de importação de cereais (Arroz e Trigo)*. Boletim da República de Moçambique, Imprensa Nacional de Moçambique.

Moçambique. (2025b). *Decreto n.º 47/2025, de 10 de dezembro, que Aprova o Regulamento de Fortificação de Alimentos com Micronutrientes Industrialmente Processados e revoga o Decreto n.º 9/2016, de 18 de abril*. Boletim da República de Moçambique, Imprensa Nacional de Moçambique.

Moçambique. (1992). Ministério da Saúde. *Tabela de Composição de Alimentos*.

Moreira, D. K. T., Silva, L. F., Silva, A. P. R. e, Martins, L. H. da S., & Oliveira, J. A. R. de. (2024). Obtenção e caracterização físico-química de farinha e amido de fruta-pão (*Artocarpus altilis*). *Brazilian Journal of Development*, *10*(1), 1857–1877. https://doi.org/10.34117/bjdv10n1-114

OMS. (2013). *Diretriz: Suplementação diária de ferro e ácido fólico em gestantes*. Organização Mundial da Saúde. Disponível em: http://189.28.128.100/dab/docs/portaldab/documentos/guia_gestantes.pdf

Richter, M., Baerlocher, K., Bauer, J. M., Elmadfa, I., Heseker, H., Leschik-Bonnet, E., Stangl, G., Volkert, D., & Stehle, P. (2019). Revised reference values for the intake of protein. *Annals of Nutrition and Metabolism*, *74*(3), 242–250. https://doi.org/10.1159/000499374

Salgado, C. de S., Alexandre, A. C. N. P., Amaral, L. A. do, Sarmento, U. C., Nabeshima, E. H., Novello, D., & Santos, E. F. dos. (2022). Adição de farinha de casca de guavira em pão: características físico-químicas e sensoriais. *Brazilian Journal of Food Technology*, *25*. https://doi.org/10.1590/1981-6723.17021

Santos, A. A. C. dos, Oliveira, A. J. de, Oliveira, T. C. de, Cruz, A. K. N. da, & Almici, M. da S. (2021). A cultura do *Arachis hypogaea* L.: Uma revisão. *Research, Society and Development*, *10*(2), e24910212719. https://doi.org/10.33448/rsd-v10i2.12719

Sarinho, A. M. M., Cavalcanti, M. da S., & Oliveira, I. M. de. (2021). Aproveitamento integral dos alimentos: Sustentabilidade e utilização de farinhas modificadas. *RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar*, *2*(10), e210763. https://doi.org/10.47820/recima21.v2i10.763

Shlisky, J., Mandlik, R., Askari, S., Abrams, S., Belizan, J. M., Bourassa, M. W., Cormick, G., Driller-Colangelo, A., Gomes, F., Khadilkar, A., Owino, V., Pettifor, J. M., Rana, Z. H., Roth, D. E., & Weaver, C. (2022). Calcium deficiency worldwide: prevalence of inadequate intakes and associated health outcomes. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1512*(1), 10–28. https://doi.org/10.1111/nyas.14758

Silva, V. M. de A., Santos, N. C., & Ribeiro, V. H. D. A. (2023). *Processamento de alimentos: Pesquisas e inovações para novos produtos*. Agron Food Academy. https://doi.org/10.53934/202311

Tan, X. L., Azam-Ali, S., Goh, E. Von, Mustafa, M., Chai, H. H., Ho, W. K., Mayes, S., Mabhaudhi, T., Azam-Ali, S., & Massawe, F. (2020). Bambara groundnut: An underutilized leguminous crop for global food security and nutrition. *Frontiers in Nutrition*, *7*. https://doi.org/10.3389/fnut.2020.601496

Xipsiti, M. (2024). Protein quality evaluation: FAO perspective. *Frontiers in Nutrition*, *11*. https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1446879

Zhao, T., Ying, P., Zhang, Y., Chen, H., & Yang, X. (2023). Research advances in the high-value utilization of peanut meal resources and its hydrolysates: A review. *Molecules*, *28*(19), 6862. https://doi.org/10.3390/molecules28196862