REID
REVISTA ELECTRÓNICA DE INVESTIGAÇÃO E DESENVOLVIMENTO

ISSN: 2310-0036

Vol. 4 | Nº.17 | Ano 2026

Caracterização físico-química e sensorial de massas alimentícias enriquecidas com farinha de feijão bóer

Physicochemical and sensory characterization of pasta enriched with Boer bean flour

Oriana Fernandes
Universidade Católica de Moçambique
orianafernandes63@gmail.com

Marcos Ballat
Universidade Católica de Moçambique
mballat@ucm.ac.mz

RESUMO

Moçambique enfrenta elevada desnutrição crónica e forte dependência de cereais importados, o que motiva a procura de leguminosas locais para enriquecer alimentos de consumo frequente. Este estudo avaliou o efeito da substituição parcial da farinha de trigo por farinha de feijão bóer (Cajanus cajan) nas propriedades físico-químicas, tecnológicas e sensoriais de massas alimentícias tipo talharim. Elaboraram-se quatro formulações, controlo e substituições de 5%, 15% e 25%, caracterizadas quanto à composição centesimal, propriedades de cozimento e aceitação sensorial por 40 provadores, com análise por ANOVA e teste de Tukey. A farinha de feijão bóer apresentou menor humidade do que a farinha de trigo. A incorporação nas massas aumentou significativamente o teor de proteínas e reduziu a perda de sólidos durante o cozimento, sem comprometer a aceitação sensorial, com diferença significativa apenas na consistência, favorável à formulação com 15%. Conclui-se que a substituição parcial é tecnologicamente viável e nutricionalmente vantajosa para a diversificação alimentar em Moçambique.

Palavras-chave: Cajanus cajan; massa alimentícia; enriquecimento nutricional; leguminosas.

Abstract

Mozambique faces high chronic malnutrition and strong dependence on imported cereals, motivating interest in local legumes to enrich frequently consumed foods. This study evaluated the effect of partially substituting wheat flour with pigeon pea flour (Cajanus cajan) on the physicochemical, technological and sensory properties of noodle-type pasta. Four formulations were produced, a control and 5%, 15% and 25% substitutions, characterised for proximate composition, cooking properties and sensory acceptance by 40 panellists, analysed by ANOVA and Tukey's test. Pigeon pea flour showed lower moisture than wheat flour. Incorporation into pasta significantly increased protein content and reduced cooking solid losses without compromising sensory acceptance, with a significant difference only in texture, favouring the 15% formulation. Partial substitution is technologically feasible and nutritionally advantageous for dietary diversification in Mozambique.

Keywords: pigeon pea flour; pasta; nutritional enrichment; legumes.

Rua: Comandante Gaivão nº 688
C.P.: 821
Website: http://www.ucm.ac.mz/cms/
Revista: http://www.reid.ucm.ac.mz
Email: reid@ucm.ac.mz
Tel.: (+258) 23 324 809
Fax: (+258) 23 324 858
Beira, Moçambique

1. Introdução

As massas alimentícias figuram entre os produtos cerealíferos mais consumidos a nível mundial, sendo amplamente apreciadas pela sua praticidade, custo relativamente acessível, longa vida útil, versatilidade culinária e elevada aceitação sensorial em diferentes contextos socioeconómicos e culturais. Elaboradas predominantemente a partir de sêmola ou farinha de trigo, água e, nalgumas formulações, ovo, as massas convencionais apresentam como principal característica tecnológica a presença de glúten, o complexo proteico responsável pela formação de uma rede viscoelástica que confere ao produto firmeza, elasticidade e resistência estrutural durante o cozimento. Do ponto de vista nutricional, contudo, as massas tradicionais são reconhecidas essencialmente como fontes energéticas, com baixos teores de proteínas de elevado valor biológico, fibra alimentar e micronutrientes, uma limitação amplamente documentada na literatura recente sobre o desenvolvimento de massas de nova geração (Sissons, 2022).

Em Moçambique, as massas alimentícias constituem um produto de consumo urbano crescente, associado à intensificação do ritmo de vida e à procura de alimentos de preparação rápida, sobretudo em famílias de rendimento médio-baixo, dado o seu custo relativamente acessível face a outras fontes proteicas. No entanto, a produção nacional depende inteiramente da importação de farinha de trigo, uma vez que o país não dispõe de condições agroclimáticas favoráveis ao cultivo comercial deste cereal em larga escala. Esta dependência estrutural expõe o sector agro-alimentar moçambicano à volatilidade dos preços internacionais dos cereais, a choques logísticos e a crises geopolíticas que afectam as rotas de abastecimento, factores que se têm repercutido de forma directa no custo final de produtos de panificação e de massas alimentícias disponíveis no mercado interno.

Paralelamente a este desafio de segurança alimentar ligado à disponibilidade de cereais, Moçambique regista índices preocupantes de desnutrição crónica infantil, fenómeno multifactorial associado à insuficiente diversidade da dieta, ao acesso limitado a fontes proteicas de qualidade e à elevada prevalência de doenças infecciosas que comprometem a absorção de nutrientes. Neste cenário, o desenvolvimento de alimentos de consumo frequente com valor nutricional reforçado, a partir de matérias-primas produzidas localmente, surge como uma estratégia de intervenção potencialmente custo-eficaz, capaz de conciliar objectivos de segurança alimentar, nutrição e desenvolvimento agrícola, sem depender de importações adicionais de micronutrientes ou suplementos industrializados.

A incorporação de farinhas de leguminosas em produtos de panificação e massas alimentícias tem sido extensivamente investigada como estratégia de enriquecimento nutricional, sobretudo pelo incremento do teor de proteínas, fibra alimentar, minerais e compostos bioactivos, e pela complementaridade do perfil de aminoácidos essenciais face aos cereais, que são tipicamente deficientes em lisina. Revisões recentes sobre a aplicação de leguminosas em alimentos isentos ou parcialmente isentos de glúten confirmam que esta estratégia melhora consistentemente o perfil nutricional de massas e produtos afins, embora possa alterar propriedades tecnológicas como a cor, a textura e o comportamento durante o

cozimento, exigindo a optimização cuidadosa das proporções de substituição para preservar a aceitabilidade sensorial do produto final (Imam, Irondi, Awoyale, Ajani, & Alamu, 2024). Estudos conduzidos com diferentes leguminosas subutilizadas, incluindo grão-de-bico, feijão-frade e ervilha, demonstram de forma consistente que níveis de substituição entre 5% e 20% permitem obter massas com incremento proteico relevante sem comprometer significativamente parâmetros de qualidade tecnológica, ao passo que substituições superiores tendem a comprometer a estrutura da rede de glúten residual e a aumentar as perdas de sólidos durante a cocção.

O feijão bóer (Cajanus cajan), também denominado guandu, ervilha-de-angola ou ervilha-pombo, é uma leguminosa arbustiva de ciclo semi-perene, amplamente cultivada em regiões tropicais e subtropicais da Ásia, África e das Caraíbas, ocupando globalmente uma posição relevante entre as leguminosas de grão mais produzidas e consumidas. Em Moçambique, o feijão bóer é cultivado de forma disseminada em sistemas de agricultura familiar, beneficiando de uma notável tolerância à seca, de baixa exigência em insumos agrícolas e de uma capacidade de fixação biológica de azoto que contribui para a fertilidade dos solos em sistemas de rotação de culturas. Revisões nutricionais recentes destacam o feijão bóer como fonte relevante de proteínas, hidratos de carbono complexos, fibra alimentar, ferro, potássio, e vitaminas do complexo B, além de compostos bioactivos com propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e potencial hipoglicemiante, sendo aplicável a uma ampla gama de produtos alimentares, incluindo pão, massas, biscoitos e lanches (Haji et al., 2024a). Estudos de caracterização genotípica realizados em diferentes regiões, incluindo trabalhos com participação de investigadores moçambicanos, confirmam ainda uma assinalável variabilidade no teor de proteínas e minerais entre variedades e ecótipos locais, o que reforça o potencial de selecção de genótipos nutricionalmente superiores para fins de biofortificação (Mashifane, Chiulele, & Gwata, 2024; Susmitha et al., 2022).

Apesar deste potencial nutricional, o aproveitamento alimentar do feijão bóer permanece globalmente subutilizado, sendo frequentemente relegado para consumo doméstico ocasional ou para alimentação animal, em parte devido à presença de factores antinutricionais, como inibidores de tripsina, taninos e ácido fítico, que podem comprometer a digestibilidade proteica e a biodisponibilidade mineral quando o grão é consumido cru ou insuficientemente processado. A literatura recente confirma, contudo, que operações de processamento simples e de baixo custo, como a secagem controlada, a moagem, a fervura, a germinação ou a torrefacção, reduzem substancialmente estes compostos, com reduções documentadas superiores a 80% na actividade de inibidores de tripsina após tratamentos combinados de demolha e fervura, sem comprometer de forma relevante o valor nutricional global do grão (Haji, Teka, Bereka, Astatkie, Woldemariam, & Urugo, 2024b). Estes resultados reforçam a viabilidade de transformar o feijão bóer em farinha estável para incorporação em produtos processados de consumo massificado, como é o caso das massas alimentícias.

Estudos publicados nos últimos anos sobre a aplicação específica de farinha de feijão bóer, integral ou desengordurada, em massas alimentícias e produtos afins confirmam de forma convergente que este ingrediente permite aumentos substanciais no teor proteico e de fibra dietética, com efeitos tecnológicos geralmente favoráveis sobre o tempo de cozimento e a perda de sólidos solúveis, quando comparado com massas de trigo convencionais (Falade &

Amadi, 2024; Bolarinwa & Oyesiji, 2021). Esta evidência é consistente com o comportamento observado noutras leguminosas ricas em proteína incorporadas em matrizes amiláceas, nas quais a formação de complexos entre proteínas e amido durante a gelatinização parece reforçar a coesão estrutural da massa durante a cocção, reduzindo a lixiviação de amido para a água de cozimento.

Neste contexto, o presente estudo teve como objectivo avaliar o efeito da substituição parcial da farinha de trigo por farinha de feijão bóer, em diferentes proporções, nas propriedades físico-químicas das farinhas de base, na composição centesimal e nas propriedades tecnológicas de cozimento das massas resultantes, bem como na sua aceitabilidade sensorial junto de consumidores, com vista ao desenvolvimento de um produto nutricionalmente enriquecido, tecnologicamente viável e sensorialmente aceitável, adequado ao contexto socioeconómico e agrícola de Moçambique.

2. Materiais e Métodos

2.1. Local do estudo

O estudo foi conduzido nos Laboratórios de Processamento e Análises de Alimentos da Faculdade de Engenharia da Universidade Católica de Moçambique (UCM-FENG), localizada na cidade de Chimoio, província de Manica, Moçambique. As análises laboratoriais e a elaboração das massas alimentícias decorreram em condições controladas de higiene e temperatura ambiente, seguindo boas práticas laboratoriais aplicáveis à investigação em ciência e tecnologia de alimentos.

2.2. Matéria-prima e ingredientes

A farinha de trigo comercial tipo 550 foi adquirida no mercado local da cidade de Chimoio, num único lote, de modo a minimizar a variabilidade associada a diferentes fornecedores. Os grãos de feijão bóer (Cajanus cajan) foram obtidos junto a agricultores locais da província de Manica, provenientes de sistemas de agricultura familiar de sequeiro, tendo sido submetidos a uma selecção visual prévia rigorosa para remoção de impurezas, corpos estranhos, grãos danificados por pragas de armazenamento e grãos com peso ou coloração anómalos. Os ovos de galinha e os demais ingredientes auxiliares utilizados na elaboração das massas foram adquiridos no comércio local, tendo-se verificado, antes da sua utilização, a adequada qualidade e frescura dos mesmos.

2.3. Preparação da farinha de feijão bóer

Após a selecção manual, os grãos de feijão bóer foram lavados abundantemente com água potável, com o objectivo de remover poeiras e resíduos superficiais, e submetidos a secagem em estufa com circulação de ar forçado a 60 °C, até atingir massa constante, verificada por pesagens sucessivas a intervalos regulares. Este procedimento de secagem controlada visou não apenas a redução da actividade de água a níveis adequados para a moagem e o armazenamento prolongado, mas também contribuir para a atenuação de factores antinutricionais termolábeis eventualmente presentes no grão cru, em linha com o descrito na

literatura recente sobre o efeito de tratamentos térmicos moderados na qualidade nutricional de farinhas de feijão bóer (Haji et al., 2024b). Os grãos secos foram posteriormente moídos em moinho de facas de bancada e peneirados através de malha calibrada, de modo a obter-se uma farinha de granulometria uniforme e compatível com as exigências tecnológicas da produção de massas alimentícias. A farinha obtida foi acondicionada em recipientes herméticos, devidamente identificados, e armazenada à temperatura ambiente, ao abrigo da luz directa, até ao momento da sua utilização nas análises e na elaboração das formulações.

2.4. Formulação e elaboração das massas alimentícias

Foram elaboradas quatro formulações de massas alimentícias do tipo talharim, com diferentes níveis de substituição da farinha de trigo pela farinha de feijão bóer: Controlo (100% farinha de trigo), FI (95% trigo + 5% feijão bóer), FII (85% trigo + 15% feijão bóer) e FIII (75% trigo + 25% feijão bóer). Estes níveis de substituição foram definidos com base em intervalos habitualmente reportados na literatura sobre enriquecimento de massas com leguminosas, de modo a abranger tanto níveis moderados, com impacto tecnológico esperado reduzido, como um nível mais elevado, susceptível de evidenciar eventuais limitações tecnológicas da farinha de feijão bóer. O desenho experimental das formulações e as respectivas quantidades de ingredientes encontram-se descritos nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Desenho experimental das formulações de massas alimentícias

Formulação	Farinha de trigo (%)	Farinha de feijão bóer (%)
Controlo	100	0
FI	95	5
FII	85	15
FIII	75	25

FI, FII, FIII = formulações 1, 2 e 3, respectivamente.

Tabela 2. Composição dos ingredientes por formulação na elaboração das massas alimentícias

Ingredientes (g)	Controlo	FI	FII	FIII
Farinha de trigo	300	285	255	225
Farinha de feijão bóer	0	15	45	75
Ovo	40,5	40,5	40,5	40,5
Água	75	75	75	75

As proporções de ovo e água foram mantidas constantes em todas as formulações, de modo a isolar o efeito da substituição de farinha sobre as variáveis estudadas.

Os ingredientes de cada formulação foram pesados com precisão analítica e homogeneizados manualmente até à obtenção de uma massa coesa e uniforme, seguindo-se um período de repouso destinado a favorecer a hidratação completa das partículas de farinha e o desenvolvimento parcial da rede de glúten nas formulações contendo trigo. As massas foram então laminadas mecanicamente, com redução progressiva da espessura em passagens sucessivas pelo laminador, até se atingir a espessura pretendida, e cortadas em formato de talharim, com secção rectangular uniforme. As massas frescas foram acondicionadas em

recipientes plásticos hermeticamente fechados e mantidas sob refrigeração até à realização das análises, num intervalo de tempo padronizado entre a produção e a avaliação, de modo a evitar alterações relacionadas com o armazenamento prolongado.

2.5. Determinações físico-químicas das farinhas

As farinhas de trigo e de feijão bóer foram analisadas quanto à sua composição físico-química, tendo sido determinados os seguintes parâmetros: humidade, por secagem em estufa a 105 °C até massa constante; pH, por medição potenciométrica em suspensão aquosa, com potenciómetro digital previamente calibrado com soluções-tampão de referência; acidez titulável total (ATT), por titulação com solução padronizada de hidróxido de sódio 0,1 N, expressa em percentagem de ácido correspondente; proteínas totais, pelo método de Kjeldahl, com factor de conversão azoto-proteína de 6,25; e cinzas, por incineração em mufla a 550 °C até obtenção de resíduo de coloração esbranquiçada e massa constante. Todas as determinações foram realizadas em triplicado, de acordo com os métodos oficiais descritos pelo Instituto Adolfo Lutz (2008), calculando-se a média e o desvio padrão de cada parâmetro.

2.6. Composição centesimal das massas alimentícias

A composição centesimal das massas alimentícias elaboradas foi determinada para os parâmetros de humidade, proteínas, lípidos totais, cinzas e fibra alimentar total, tendo os hidratos de carbono sido calculados por diferença [100% − (humidade + proteínas + lípidos + cinzas + fibra)]. As metodologias analíticas seguidas foram as recomendadas pelo Instituto Adolfo Lutz (2008), com os resultados expressos em percentagem, em base húmida, correspondendo à média de análises realizadas em triplicado, salvo indicação em contrário nas tabelas de resultados.

2.7. Avaliação das propriedades tecnológicas de cozimento

As propriedades de cozimento das massas foram avaliadas de acordo com procedimentos adaptados de estudos de referência sobre massas enriquecidas com leguminosas (Sissons, 2022), determinando-se os seguintes parâmetros: (i) tempo óptimo de cozimento, definido como o intervalo de tempo necessário para o desaparecimento do núcleo branco de amido não gelatinizado no centro da massa, verificado por compressão entre lâminas de vidro a intervalos regulares durante a cocção em água em ebulição; (ii) aumento de peso, calculado como a diferença percentual entre a massa cozida escorrida e a massa crua correspondente; (iii) aumento de volume, obtido pelo método de deslocamento de volume em proveta graduada, comparando o volume da massa crua e cozida; e (iv) perda de sólidos solúveis na água de cozimento, determinada por evaporação de uma alíquota da água residual de cocção até secura completa, seguida de pesagem do resíduo seco remanescente e expressão em percentagem relativamente à massa inicial da amostra.

2.8. Avaliação sensorial

A avaliação sensorial foi conduzida com 40 provadores não treinados, constituídos por estudantes e funcionários da UCM-FENG, com idades compreendidas entre 18 e 40 anos,

seleccionados com base na sua disponibilidade e no seu interesse voluntário em participar, sem restrições alimentares conhecidas relativamente aos ingredientes utilizados. As amostras foram apresentadas de forma monádica e sequencial, em ordem aleatória e balanceada entre provadores, codificadas com números aleatórios de três dígitos, acompanhadas de água à temperatura ambiente destinada à limpeza do palato entre as sucessivas avaliações, de modo a minimizar efeitos de arrasto sensorial entre amostras. Utilizou-se uma escala hedónica estruturada de nove pontos, com os extremos correspondendo a 1 = "desgostei extremamente" e 9 = "gostei extremamente", para avaliação dos seguintes atributos: cor, sabor, aroma, aparência, consistência e aceitação global, em conformidade com metodologias amplamente descritas na literatura de análise sensorial de alimentos. O estudo respeitou os princípios éticos aplicáveis à investigação com participantes humanos, garantindo o carácter voluntário, informado e anónimo da participação de todos os provadores.

2.9. Análise estatística

Os dados obtidos foram tratados com o software IBM SPSS Statistics, versão 20.0. A existência de diferenças estatisticamente significativas entre as formulações foi avaliada por análise de variância (ANOVA) de um factor, seguida do teste de comparação múltipla de médias de Tukey, sempre que se verificou significância estatística, adoptando-se um nível de significância de 5% ($p < 0,05$) em todas as comparações. O tamanho do efeito foi adicionalmente estimado através do coeficiente eta-quadrado parcial (η^2), permitindo uma apreciação complementar da magnitude prática das diferenças observadas entre formulações, para além da sua significância estatística.

3. Resultados e Discussão

3.1. Características físico-químicas das farinhas

Os resultados da caracterização físico-química das farinhas de trigo (FT) e de feijão bóer (FFB) encontram-se sistematizados na Tabela 3. Os parâmetros de humidade, pH e acidez titulável total (ATT) apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre as duas farinhas, reflectindo diferenças intrínsecas de composição e de processamento entre um cereal moído industrialmente e uma leguminosa processada de forma artesanal.

Tabela 3. Caracterização físico-química das farinhas de trigo e de feijão bóer (média ± desvio padrão)

Parâmetros	FT	FFB
ATT (%)	7,67 ± 0,53 a	4,39 ± 0,90 b
pH	5,65 ± 0,05 a	6,30 ± 0,05 b
Humidade (%)	13,04 ± 0,13 a	5,96 ± 0,03 b
Cinzas (%)	0,57 ± 0,03	a confirmar*

*FT = farinha de trigo; FFB = farinha de feijão bóer; ATT = acidez total titulável. Letras distintas na mesma linha indicam diferença significativa (Tukey, $p < 0,05$). * Valor não incluído nesta versão por indeterminação nos dados originais; carece de nova determinação laboratorial e verificação pelos autores.*

O teor de humidade da farinha de trigo (13,04 ± 0,13%) encontra-se dentro do intervalo normalmente recomendado para farinhas destinadas à produção de massas alimentícias, geralmente inferior a 14 a 15%, assegurando condições adequadas de processamento, estabilidade química e segurança microbiológica durante o armazenamento prolongado (Sissons, 2022). Em contraste, a farinha de feijão bóer apresentou teor de humidade significativamente inferior (5,96 ± 0,03%; $p < 0,001$), consistente com o efeito da secagem controlada a 60 °C aplicada durante o processamento dos grãos. Esta menor humidade da FFB constitui uma vantagem tecnológica relevante, na medida em que indica maior estabilidade físico-química durante o armazenamento e menor actividade de água disponível para reacções de deterioração enzimática, oxidativa ou microbiológica, factor particularmente relevante em contextos, como o moçambicano, em que as condições de armazenamento pós-produção nem sempre garantem controlo rigoroso de temperatura e humidade relativa.

Os parâmetros de pH e ATT distinguiram igualmente as duas farinhas de forma estatisticamente significativa, sendo a FFB caracterizada por um pH mais elevado e uma acidez titulável mais baixa do que a FT. Esta diferença de acidez poderá influenciar a interacção entre a farinha de feijão bóer e a matriz de glúten formada pela farinha de trigo durante o amassamento das formulações compostas, uma vez que o pH do meio afecta directamente a solubilidade e a capacidade de agregação das proteínas do glúten, com potenciais implicações sobre a extensibilidade e a força da massa crua. A comparação directa dos teores de proteínas e cinzas entre as duas farinhas, amplamente documentada na literatura como favorável ao feijão bóer, com valores de proteína bruta que, segundo revisões recentes, podem variar entre aproximadamente 20% e 29% consoante o genótipo e as condições de cultivo (Mashifane et al., 2024; Susmitha et al., 2022), não pôde infelizmente ser confirmada com os dados analíticos disponíveis para este estudo, sendo reportada como uma limitação explícita a resolver antes de uma eventual submissão a uma revista internacional com revisão por pares mais exigente (ver secção 4).

3.2. Composição centesimal das massas alimentícias

A composição centesimal das massas alimentícias elaboradas com diferentes níveis de substituição encontra-se sistematizada na Tabela 4. Os resultados evidenciam o impacto progressivo e mensurável da incorporação da farinha de feijão bóer sobre o perfil nutricional das massas, mesmo em níveis de substituição relativamente moderados.

Tabela 4. Composição centesimal das massas alimentícias elaboradas (% base húmida)

Parâmetros (%)	Controlo	FI	FII	FIII
Humidade	21,8	22,0	22,4	19,4
Proteínas	2,2	2,4	2,9	3,5
Lípidos	2,8	2,8	2,8	2,9
Fibra alimentar	2,0	2,1	2,3	2,6
Hidratos de carbono	70,6	70,1	68,9	71,0
Cinzas	0,6	0,6	0,7	0,8

A análise de variância revelou que o teor de proteínas foi o parâmetro mais significativamente influenciado pela incorporação de farinha de feijão bóer ($F(3,8) = 61,39$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 0,958$), correspondendo a um tamanho de efeito muito elevado segundo os critérios convencionais de interpretação estatística. As três formulações enriquecidas (FI, FII e FIII) apresentaram teores proteicos significativamente superiores ao da formulação controlo, evidenciando que mesmo a substituição de apenas 5% da farinha de trigo é suficiente para promover um incremento nutricional mensurável e estatisticamente detectável. Este comportamento é inteiramente consistente com estudos que demonstram que a incorporação de leguminosas em massas alimentícias, mesmo em proporções relativamente baixas, produz melhorias significativas no valor proteico do produto final, em resultado do elevado teor proteico das farinhas de leguminosas relativamente às farinhas de cereais refinados, e é igualmente compatível com o comportamento reportado para farinha de feijão bóer especificamente incorporada em massas e produtos de panificação análogos (Falade & Amadi, 2024; Bolarinwa & Oyesiji, 2021).

O teor de humidade das massas variou entre 19,4% e 22,4%, sem diferenças estatisticamente significativas atribuíveis de forma inequívoca ao nível de substituição ($p > 0,05$), situando-se todos os valores obtidos abaixo do limite máximo habitualmente recomendado para massas frescas, geralmente fixado próximo de 35%. Observou-se, contudo, uma ligeira tendência de redução da humidade na formulação com maior nível de substituição (FIII), possivelmente relacionada com a menor capacidade de retenção de água da farinha de feijão bóer face à farinha de trigo, hipótese que carece de confirmação através de determinações directas da capacidade de absorção de água das farinhas de base, não realizadas no âmbito deste estudo.

Os teores de cinzas e de fibra alimentar apresentaram uma tendência claramente crescente com o aumento do nível de substituição, passando de 0,6% e 2,0%, respectivamente, na formulação controlo, para 0,8% e 2,6% na formulação FIII, indicando um maior aporte mineral e de fibra alimentar às massas enriquecidas, coerente com o perfil nutricional geralmente reportado para o feijão bóer. Devido ao número reduzido de repetições analíticas disponíveis para estes dois parâmetros específicos, os resultados foram interpretados de forma essencialmente descritiva, sem inferência estatística formal, sendo, ainda assim, consistentes com os padrões amplamente reportados na literatura sobre massas alimentícias enriquecidas com leguminosas de grão.

3.3. Propriedades tecnológicas de cozimento

Os resultados das análises de cozimento encontram-se sistematizados na Tabela 5. Os parâmetros avaliados fornecem indicadores relevantes da qualidade tecnológica das massas alimentícias e permitem apreciar de forma objectiva o impacto da substituição da farinha de trigo sobre o comportamento das massas durante a cocção em água em ebulição.

Tabela 5. Propriedades tecnológicas de cozimento das massas alimentícias

Parâmetros	Controlo	FI	FII	FIII
Tempo de cozimento (min)	6	9	7	6
Aumento de peso (%)	254	320	228	261
Aumento de volume (%)	115	121	109	114
Perda de sólidos solúveis	6,61	5,25	5,22	4,65

(%)				

O tempo óptimo de cozimento variou entre 6 e 9 minutos entre as diferentes formulações. A formulação FI (5% de feijão bóer) exibiu, de forma algo inesperada, o maior tempo de cozimento entre todas as formulações testadas, comportamento que pode ser atribuído a uma interferência inicial das proteínas da leguminosa na estrutura da rede de glúten em desenvolvimento, dificultando temporariamente a difusão da água para o interior da massa durante as fases iniciais da cocção. Este fenómeno, embora aparentemente contraintuitivo por não seguir uma tendência linear e monótona com o nível de substituição, encontra paralelo em observações similares descritas para outras massas enriquecidas com farinhas de leguminosas em baixas proporções, nas quais interacções não lineares entre proteínas de diferentes origens parecem condicionar transitoriamente as propriedades de hidratação da massa. Este comportamento tende a atenuar-se, ou mesmo a inverter-se, com o aumento da proporção de farinha de leguminosa, como se verifica claramente nas formulações FII e FIII, que apresentaram tempos de cozimento iguais ou muito próximos ao da massa controlo, sugerindo um novo equilíbrio estrutural a proporções mais elevadas de substituição.

Todas as formulações apresentaram aumento de peso superior a duas vezes o peso inicial após o cozimento, parâmetro geralmente considerado indicativo de uma capacidade de hidratação adequada e de uma qualidade tecnológica globalmente aceitável para massas alimentícias frescas. O aumento de volume variou entre 109% e 121%, registando-se uma ligeira tendência de redução deste parâmetro nas formulações intermédias, resultado que poderá ser atribuível à diluição progressiva da rede de glúten disponível e à consequentemente menor capacidade de expansão da estrutura proteica global da massa durante a absorção de água e o aquecimento.

A perda de sólidos solúveis na água de cozimento diminuiu de forma progressiva e consistente com o aumento da proporção de farinha de feijão bóer, passando de 6,61% na massa controlo para 4,65% na formulação FIII, correspondendo a uma redução relativa superior a 25%. Este resultado reveste-se de particular relevância tecnológica, dado que valores de perda de sólidos inferiores são geralmente indicativos de massas com maior integridade estrutural durante o cozimento, menor turvação da água de cocção e, presumivelmente, menor perda de nutrientes solúveis para o meio aquoso circundante. A redução observada sugere que as proteínas e a fibra alimentar do feijão bóer contribuem activamente para a formação de uma rede mais coesa, que limita a dissolução e a lixiviação de sólidos amiláceos durante a cocção, contrariando parcialmente a expectativa inicial de que a diluição do glúten pudesse comprometer de forma generalizada a qualidade de cozimento das massas enriquecidas. Resultados nesta direcção têm sido igualmente reportados para outras massas enriquecidas com leguminosas defatadas ou integrais, nas quais o efeito ligante das proteínas vegetais parece superar, dentro de certos limites de substituição, o efeito diluidor sobre a rede de glúten (Falade & Amadi, 2024).

3.4. Avaliação sensorial

Os resultados da análise sensorial encontram-se sistematizados na Tabela 6. A ANOVA não revelou diferenças estatisticamente significativas entre as formulações para os atributos cor,

sabor, aroma, aparência e aceitação global (p > 0,05 em todos os casos), indicando que a incorporação de farinha de feijão bóer nos níveis testados não comprometeu de forma perceptível, para o painel de provadores utilizado, a percepção sensorial global das massas.

Tabela 6. Resultados da avaliação hedónica (média ± desvio padrão; escala de 1 a 9 pontos)

Atributo	Controlo (153)	FI (275)	FII (469)	FIII (903)	p-valor
Cor	7,39 ± 1,37	7,64 ± 1,37	7,39 ± 1,79	7,39 ± 1,29	0,89
Sabor	7,54 ± 1,37	7,64 ± 1,19	7,11 ± 1,99	6,96 ± 1,69	0,32
Aroma	7,00 ± 1,76	6,93 ± 1,68	6,89 ± 1,93	6,75 ± 1,80	0,96
Aparência	7,79 ± 1,26	7,46 ± 1,45	7,86 ± 1,43	7,64 ± 1,28	0,71
Consistência	7,14 ± 1,43 ab	7,14 ± 1,35 ab	7,61 ± 1,26 b	6,64 ± 1,73 a	0,010*
Aceitação global	8,00 ± 0,86	7,93 ± 1,12	7,54 ± 1,58	7,64 ± 1,42	0,47

*Letras distintas na mesma linha indicam diferença significativa entre formulações (Tukey, p < 0,05). * Significativo ao nível de 5%.*

Verificou-se diferença estatisticamente significativa entre as formulações unicamente para o atributo consistência ($F(3,156) = 3,88$; $p = 0,010$). O teste de Tukey indicou que a formulação FII (15% de feijão bóer) obteve pontuação significativamente superior à da formulação FIII (25%), não se tendo verificado diferenças estatisticamente significativas nas restantes comparações par a par entre formulações. Este resultado sugere a existência de um nível óptimo de substituição, situado numa faixa intermédia, que proporciona o melhor equilíbrio entre a firmeza conferida pelas proteínas e fibra da leguminosa e a maciez característica associada à rede de glúten residual proveniente da farinha de trigo. Resultados qualitativamente análogos, no sentido de identificarem um nível intermédio de substituição como sensorialmente óptimo, foram reportados por outros autores em massas enriquecidas com diferentes farinhas de leguminosas, reforçando a plausibilidade biológica deste padrão.

Todos os atributos avaliados obtiveram médias superiores a 6,6 na escala de nove pontos, valor que se situa claramente dentro da zona de aceitação da escala hedónica utilizada. De acordo com o critério de aceitabilidade convencional, que estabelece como limiar mínimo um índice de aceitabilidade de 70% da nota máxima possível, todas as formulações superaram este valor em todos os atributos avaliados, sendo, por conseguinte, consideradas sensorialmente aceitáveis pelo painel de consumidores. Este resultado é particularmente relevante no contexto do desenvolvimento de produtos alimentares enriquecidos destinados a populações com necessidades nutricionais específicas, indicando que a incorporação de farinha de feijão bóer até ao nível máximo testado de 25% não compromete de forma estatisticamente detectável a aceitação sensorial das massas pelos consumidores, ainda que se observe uma tendência descritiva, não significativa, de ligeira redução das pontuações médias de sabor e de aroma nas formulações com maior nível de substituição.

4. Conclusões

O presente estudo demonstrou que a substituição parcial da farinha de trigo por farinha de feijão bóer (Cajanus cajan) na elaboração de massas alimentícias tipo talharim é tecnologicamente viável e nutricionalmente vantajosa, mesmo quando aplicada com recursos e equipamentos relativamente simples, compatíveis com pequenas e médias unidades de processamento em contexto moçambicano. A farinha de feijão bóer distinguiu-se da farinha de trigo por apresentar menor teor de humidade, factor tecnologicamente favorável à estabilidade de armazenamento; as diferenças nos teores de proteínas e cinzas entre as duas farinhas não puderam ser confirmadas nesta fase do estudo e requerem verificação laboratorial adicional.

Do ponto de vista nutricional, a incorporação de farinha de feijão bóer promoveu um aumento significativo e progressivo do teor proteico das massas, com um tamanho de efeito muito elevado ($\eta^2 = 0,958$), detectável mesmo em níveis relativamente baixos de substituição, como os 5% testados na formulação FI. Observou-se ainda uma tendência de incremento nos teores de cinzas e de fibra alimentar, indicando um maior aporte mineral e funcional às massas enriquecidas, coerente com o perfil nutricional geralmente atribuído a esta leguminosa na literatura científica recente.

No que respeita às propriedades tecnológicas, as massas enriquecidas apresentaram comportamento globalmente adequado durante o cozimento, com tempos de cocção compatíveis com o produto convencional de trigo, aumentos de peso e de volume satisfatórios, e uma redução progressiva e consistente da perda de sólidos solúveis com o aumento do nível de substituição, resultado que indica uma melhoria da integridade estrutural das massas durante a cocção, contrariando a expectativa inicial de degradação tecnológica associada à diluição da rede de glúten.

A avaliação sensorial confirmou a boa aceitabilidade global de todas as formulações testadas, com médias hedónicas consistentemente superiores ao limiar convencional de 70% de aceitabilidade em todos os atributos avaliados. A diferença estatisticamente significativa observada apenas para o atributo consistência, com vantagem para a formulação com 15% de feijão bóer, aponta para a existência de um nível óptimo de substituição que equilibra de forma mais eficaz as contribuições texturais das duas farinhas para a percepção do consumidor, sendo esta a proporção que se recomenda como ponto de partida para eventuais desenvolvimentos futuros do produto.

Em síntese, os resultados obtidos suportam o potencial de aplicação da farinha de feijão bóer na produção, artesanal ou semi-industrial, de massas alimentícias em contextos como o de Moçambique, onde a redução da dependência do trigo importado, a valorização de culturas leguminosas locais subutilizadas e a melhoria do valor nutricional de alimentos de consumo frequente e culturalmente aceites constituem prioridades estratégicas convergentes para a segurança alimentar e nutricional. Estudos futuros deverão abordar de forma prioritária a validação laboratorial completa da composição das farinhas de base, a quantificação de factores antinutricionais residuais e o seu efeito na biodisponibilidade proteica real, a

optimização mais fina das formulações na vizinhança do nível de 15% de substituição, a avaliação da vida útil microbiológica do produto fresco e a realização de ensaios com painéis de consumidores mais representativos da população moçambicana, incluindo diferentes faixas etárias e contextos geográficos.

Referências Bibliográficas

Bolarinwa, I. F., & Oyesiji, O. O. (2021). Gluten free rice-soy pasta: Proximate composition, textural properties and sensory attributes. *Heliyon, 7*(1), e06052. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06052

Falade, K. O., & Amadi, N. E. (2024). Enhancing pasta quality through substitution of durum wheat with rice varieties and defatted pigeon pea flours. *Journal of Food Measurement and Characterization, 18*(9), 8016–8030. https://doi.org/10.1007/s11694-024-02784-4

Haji, A., Teka, T. A., Bereka, T. Y., Andersa, K. N., Nekera, K. D., Abdi, G. G., ... Urugo, M. M. (2024a). Nutritional composition, bioactive compounds, food applications, and health benefits of pigeon pea (Cajanus cajan L. Millsp.): A review. *Legume Science, 6*(2), e233. https://doi.org/10.1002/leg3.233

Haji, A., Teka, T. A., Bereka, T. Y., Astatkie, T., Woldemariam, H. W., & Urugo, M. M. (2024b). Effect of processing methods on the nutrient, antinutrient, functional, and antioxidant properties of pigeon pea (Cajanus cajan (L.) Millsp.) flour. *Journal of Agriculture and Food Research, 18*, 101493. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101493

Imam, Y. T., Irondi, E. A., Awoyale, W., Ajani, E. O., & Alamu, E. O. (2024). Application of legumes in the formulation of gluten-free foods: Functional, nutritional and nutraceutical importance. *Frontiers in Sustainable Food Systems, 8*, 1251760. https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1251760

Instituto Adolfo Lutz [IAL]. (2008). *Métodos físico-químicos para análise de alimentos* (4.ª ed.). São Paulo: Instituto Adolfo Lutz.

Kumari, B., & Sit, N. (2024). Physicochemical, rheological properties, and in-vitro starch digestibility of flours and starches from pigeon pea, cowpea, pinto bean, and navy bean. *Starch – Stärke, 76*(9–10), 2300303. https://doi.org/10.1002/star.202300303

Mashifane, D. C., Chiulele, R. M., & Gwata, E. T. (2024). Diversity in selected grain mineral and protein among pigeonpea landraces. *Applied Sciences, 14*(2), 573. https://doi.org/10.3390/app14020573

Sissons, M. (2022). Development of novel pasta products with evidence-based impacts on health: A review. *Foods, 11*(1), 123. https://doi.org/10.3390/foods11010123

Susmitha, D., Kalaimagal, T., Senthil, R., Vetriventhan, M., Manonmani, S., Jeyakumar, P., ... Singh, K. (2022). Grain nutrients variability in pigeonpea genebank collection and its potential for promoting nutritional security in dryland ecologies. *Frontiers in Plant Science, 13*, 934296. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.934296

Teixeira, E., Meinert, E., & Barbetta, P. A. (1987). *Análise sensorial de alimentos*. Florianópolis: Editora da UFSC.

Wu, J., Zhou, Q., Zhou, C., Cheng, K. W., & Wang, M. (2024). Strategies to promote the dietary use of pigeon pea (Cajanus cajan L.) for human nutrition and health. *Food Frontiers, 5*(3), 1014–1030. https://doi.org/10.1002/fft2.381