

UFRRJ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

DISSERTAÇÃO

**Obtenção de farinha pré-cozida integral sem glúten
de cereais e pulses por extrusão termoplástica para
uso em empanados**

Franz Joel Chuqui Paulino

2024



UFRRJ

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS**

**OBTENÇÃO DE FARINHA PRÉ-COZIDA INTEGRAL SEM GLÚTEN
DE CEREAIS E PULSES POR EXTRUSÃO TERMOPLÁSTICA**

FRANZ JOEL CHUQUI PAULINO

Sob a orientação do Professor Doutor
Carlos Wanderlei Piler de Carvalho

e Coorientação do Professor Doutor
Davy William Hidalgo Chávez

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos**, no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Área de Concentração em Tecnologia de Alimentos.

Seropédica, RJ

Setembro de 2024

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C559o Chuqui Paulino, Franz Joel, 1986-
Obtenção de farinha pré-cozida integral sem glúten
de cereais e pulses por extrusão termoplástica para
uso em empanados / Franz Joel Chuqui Paulino. -
Tocache, 2024.
98 f.

Orientador: CARLOS WANDERLEI PILER DE CARVALHO.
Coorientador: DAVY WILLIAM HIDALGO CHAVEZ.
Dissertação(Mestrado). -- Universidade Federal
Rural do Rio de Janeiro, PROGRAMA DE POSGRADUÇÃO EM
CIENCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 2024.

1. Farinha sem glúten. 2. Processo de extrusão. 3.
Propiedades funcionais. 4. Pulses. 5. Cereais
integrais. I. PILER DE CARVALHO, CARLOS WANDERLEI ,
1967-, orient. II. HIDALGO CHAVEZ, DAVY WILLIAM, 1976
, coorient. III Universidade Federal Rural do Rio de
Janeiro. PROGRAMA DE POSGRADUÇÃO EM CIENCIA E
TECNOLOGIA DE ALIMENTOS. IV. Título.

O presente trabalho foi realizado com apoio da coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal
de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS



TERMO Nº 768/2024 - PPGCTA (12.28.01.00.00.00.00.41)

Nº do Protocolo: 23083.050415/2024-32

Seropédica-RJ, 16 de setembro de 2024.

FRANZ JOEL CHUQUI PAULINO

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos**, no Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, área de Concentração em Ciência de Alimentos.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 13/09/2024

DAVY WILLIAM HIDALGO CHÁVEZ, (Dr) UFRRJ (coorientador)
MARIA IVONE MARTINS JACINTHO BARBOSA, (Dra) UFRRJ
FELIPE MACHADO TROMBETE, (Dr) UFSJ

Documento não acessível publicamente

(Assinado digitalmente em 17/09/2024 17:04)
MARIA IVONE MARTINS JACINTHO BARBOSA
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DTA (12.28.01.00.00.00.00.46)
Matrícula: ###243#8

(Assinado digitalmente em 17/09/2024 09:40)
DAVY WILLIAM HIDALGO CHÁVEZ
ASSINANTE EXTERNO
CPF: ###.###.607-##

(Assinado digitalmente em 16/09/2024 16:00)
FELIPE MACHADO TROMBETE
ASSINANTE EXTERNO
CPF: ###.###.916-##

Visualize o documento original em <https://sipac.ufrj.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: **768**, ano: **2024**, tipo: **TERMO**, data de emissão: **16/09/2024** e o código de verificação: **b05cf3c205**

DEDICATORIA

A meus pais,

Pelo apoio incondicional, ensinamentos, compreensão, força, cuidado e amor para não desmaiar na luta por conseguir um dos grandes sonhos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser sempre o suporte nos momentos de dificuldade, brindando saúde, força, paciência e sabedoria para conseguir superar todas as adversidades que surgiram ao longo do meu caminhar.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), especialmente ao Programa de pós-graduação de Ciência e Tecnologia de Alimentos (PPGCTA), pela oportunidade concedida para a realização do curso.

À Embrapa Agroindústria de Alimentos pelas instalações cedidas para a execução deste estudo.

Ao Ph.D. Carlos Wanderlei Piler de Carvalho, pela orientação no trabalho desenvolvido, por todo conhecimento compartilhado e transmitido, pelo apoio, atenção e paciência para mim.

Ao D.Sc. Davy William Hidalgo Chavez pelo apoio e coorientação no desenvolvimento deste trabalho.

Ao professor pesquisador D.Sc. Jose Luís Ramirez Ascheri, e D.Sc. Jhonny William Vargas Solorzano pelo apoio e colaboração para alcançar os objetivos deste trabalho.

Aos analistas e assistentes da Embrapa Agroindústria de Alimentos que contribuíram de forma direta ou indireta na execução deste trabalho, pela colaboração e apoio, em especial à Mariana da Costa Mattos pelo apoio e orientação durante os testes de viscosidade, textura, entre outros, Adriana Paula da Silva Minguita pela orientação no manuseio dos equipamentos do laboratório de Moagem; Neuri Meneses pela colaboração no processo de extrusão.

A todas as pessoas do alojamento da pós-graduação da UFRRJ pelo recebimento e acolhida, durante minha estadia e que formaram parte de meu caminhar.

RESUMO GERAL

O desenvolvimento de novos produtos obtidos por extrusão a partir da combinação de variadas fontes vegetais (*plant based*), como os pulses (leguminosas) e os cereais, tem-se mostrado como excelente potencial para a produção de alimentos com maior teor de proteínas e, na forma integral como excelente fonte de fibra alimentar. Com isso, os produtos resultantes de condições de processo de cozimento por extrusão levam à obtenção de extrudados prontos para consumo, que ao serem moídos produzem farinhas pré-cozidas, estas que podem ser usadas como ingredientes para panificação e outros usos e, assim acrescentam melhor qualidade nutricional, sensorial e funcional. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de duas condições de extrusão (E1: mais branda e E2: mais severa) na produção de farinhas pré-cozidas integrais sem glúten, a partir de misturas de diferentes proporções de cereais integrais (arroz parboilizado integral) e pulses (grão-de-bico e feijão carioca), combinadas em quatro formulações (F1, F2, F3 e F4). Foram determinadas as propriedades mecânicas (torque e energia mecânica específica - EME) dos processos de extrusão e nas farinhas foi determinado a densidade aparente (BD), a distribuição do tamanho das partículas (PSD), o índice de absorção de água (WAI), o índice de solubilidade em água (WSI), o índice de absorção de óleo (OAI), as propriedades da pasta, a cristalinidade relativa (RC), a quantificação de polifenóis totais (TPC) e a capacidade antioxidante (ABTS+ e DPPH), a capacidade emulsificante e a estabilidade da emulsão, a capacidade de formação de espuma e a estabilidade da espuma. O torque e a EME foram maiores para E2. BD, WAI e WSI aumentaram após o processo de extrusão, com algumas exceções no E1 em WSI. As duas condições de promoveram uma redução das frações no PSD. O OAI teve uma redução significativa após a extrusão, assim como os valores de viscosidade, com mais danos aos grânulos de amido na E2. A extrusão reduziu a luminosidade (L^*) e aumentou os valores de a^* e b^* . A capacidade emulsificante melhorou com a extrusão e a estabilidade da emulsão foi afetada negativamente pelas condições, com exceção da F3. A capacidade de formação de espuma estava presente nas farinhas cruas e as espumas muito instáveis não eram mensuráveis após a extrusão. Na farinha pré-cozida obtida por extrusão com maior conteúdo de milho perla e o feijão carioca contribuíram com compostos fenólicos na formulação dois (F2), obtendo maior TPC e atividade antioxidante, cujos valores foram minimamente reduzidos após a extrusão. A influência de E1, assim como a severidade da extrusão de E2, e também o maior teor de cereais ou leguminosas na formulação, influenciam significativamente algumas das propriedades funcionais das farinhas pré-cozidas sem glúten, como a redução dos valores de absorção de óleo após o processo de extrusão nas duas condições usadas, sendo eles inferiores a farinhas comerciais com e sem glúten.

PALAVRA-CHAVE: Farinha sem glúten, extrusão, propriedades funcionais, pulses, Cereais integrais

ABSTRACT

The development of new products obtained by extrusion from a combination of various plant-based sources, such as pulses and cereals, has shown excellent potential for producing foods with a higher protein content and, in whole form, as an excellent source of dietary fiber. As a result, the products resulting from extrusion cooking process conditions lead to ready-to-eat extruded products which, when milled, produce pre-cooked flours that can be used as ingredients for baking and other uses, thus adding improved nutritional, sensory and functional quality. The aim of this study was to evaluate the effect of two extrusion conditions (E1: milder and E2: more severe) on the production of gluten-free whole meal pre-cooked flours from mixtures of different proportions of whole grains (whole parboiled rice) and pulses (chickpeas and carioca beans), combined in four formulations (F1, F2, F3 and F4). The mechanical properties (torque and specific mechanical energy - SME) of the extrusion processes were determined and the flours' bulk density (BD), particle size distribution (PSD), water absorption index (WAI), water solubility index (WSI), oil absorption index (OAI), paste properties, relative crystallinity (RC), polyphenol quantification and antioxidant activity (ABTS+ and DPPH), emulsifying capacity and emulsion stability, foaming capacity and foam stability. Torque and EME were higher for E2. BD, WAI and WSI increased after the extrusion process, with some exceptions in E1 in WSI. A reduction in PSD fractions was observed, obtaining finer fractions in both extrusion conditions. The OAI was significantly reduced after extrusion, as were the viscosity values, with more damage to the starch granules in E2. Extrusion cooking produced changes in flour color, reducing L* values and increasing a* and b* values. The emulsifying capacity improved with extrusion and the stability of the emulsion was negatively affected by the effect of the conditions, with the exception of F3. Foaming capacity was present in raw flours and very unstable foams were not measurable after extrusion. In the pre-cooked flour obtained by extrusion with a higher content of pearl millet and carioca beans contributed phenolic compounds in formulation two (F2), obtaining higher TPC and antioxidant activity, whose values were minimally reduced after extrusion. The influence of E1, as well as the severity of the extrusion of E2, and also the higher cereal or legume content in the formulation, significantly influence some of the functional properties of pre-cooked gluten-free flours, such as the reduction in oil absorption values after the extrusion process in the two conditions used, which were lower than commercial gluten-free flours.

KEYWORDS: Gluten-free flour, extrusion process, functional properties, pulses, Whole grains

LISTA DE FIGURAS

CAPITULO I

Figura 1. Tecnologia de extrusão (a) Extrusora de rosca simples (b) Extrusora de rosca dupla (c) Tipos de aberturas de matriz (d) Rosca co- e contra-rotativa.**Erro! Indicador não definido.**

CAPITULO II

Figure 1. Effect of extrusion conditions on torque (a) and specific mechanical energy (b) during the production of precooked whole meal flours. **Erro! Indicador não definido.**

Figure 2. Cumulative percent curves of Particle-size distribution of the non-extruded (a) and the extruded blended whole meal flour (b), with the large particles diameter D90 (c) and (f), intermediate particles diameter D50 (d) and (g) and small particles diameter D10 (e) and (h), respectively. **Erro! Indicador não definido.**

Figure 3. Paste properties profile on the non-extruded (a) and extruded (b) blended whole meal flour. **Erro! Indicador não definido.**

Figure 4. Diffraction and peaks of crystallinity of the used whole grains and pulses (a), the non-extruded flours (b), and the extruded flours with a first (c) and second condition (d). **Erro! Indicador não definido.**

LISTA DE TABELAS

CAPITULO I

Tabela 1. Comercialização e descrição do arroz acordo com o regulamento técnico no Brasil.	6
Tabela 2. Efeitos das condições de processo de extrusão com uso de cereais e pulses.....	13

CAPITULO II

Table 1. Whole cereals and pulses used in the formulation of the blended flours, with the conditions used for the extrusion process.....	Erro! Indicador não definido.
Table 2. Bulk density, hydration properties and oil absorption index of the non-extruded and extruded blended whole meal flour.	Erro! Indicador não definido.
Table 3. Paste properties of blended Whole meal flours non-extruded and extruded running in two extrusion conditions.....	Erro! Indicador não definido.
Table 4. Color parameters of non-extruded and extruded samples	Erro! Indicador não definido.
Table 5. Determination of TPC, antioxidant activity (ABTS+ and DPPH), on the whole cereals and pulses flours, non-extruded and extruded blended whole meal flour.	Erro! Indicador não definido.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	3
CAPITULO I	4
REVISAO DE LITERATURA.....	4
1. Revisão Bibliográfica.....	5
1.1 Grãos integrais de cereais e pulses	5
1.1.1 Arroz integral	5
1.1.2 Milheto pérola	7
1.1.3 Feijão.....	8
1.1.4 Grão-de-bico.....	9
1.2 Extrusão termoplástica de alimentos.	9
1.2.1 Tipos de extrusores.....	10
1.2.2 Efeito dos parâmetros de processo de extrusão.....	12
1.2.3 Condições usadas na extrusão de farinhas integrais de cereais e pulses.....	12
1.3 Farinhas integrais pré-cozidas por extrusão na elaboração de produtos alimentícios	14
1.4 Efeito da extrusão na redução dos fatores antinutricionais	15
2. Referências Bibliográficas	16
CAPITULO II.....	20
FUNCTIONALITY OF WHOLEgrain CEREAL AND PULSES BLENDS PROCESSED UNDER VARIABLE EXTRUSION CONDITIONS	20
ABSTRACT.....	21
1. MATERIALS AND METHODS.....	23
1.1. Materials	23
1.2. Methods.....	23
1.2.1. Development of the extruded flour	23
1.2.2. Extrusion process	24
1.2.3. Torque and specific mechanical energy (SME)	25
1.2.4. Bulk density	25

1.2.5. Particles-size distribution	25
1.2.6. Water and oil absorption index and water solubility index.....	26
1.2.7. Pasting properties	27
1.2.8. Color measurement	27
1.2.9. X-ray diffraction (XRD)	27
1.2.10. Statistical analysis	28
2. RESULTS AND DISCUSION	28
2.1. Torque and specific mechanical energy.....	28
2.2. Particle-size distribution	30
2.3. Bulk density	32
2.4. Water absorption index, water solubility index and Oil absorption index.	34
2.5. Paste properties	37
2.6. Color	41
2.7. X-ray diffraction	43
2.8. Total polyphenols content.....	45
2.9. Antioxidant activity ABTS+ and DPPH	46
2.10. Emulsifying capacity and emulsion stability.....	46
2.11. Foaming capacity and foaming stability.....	48
3. CONCLUSION.....	49
4. REFERENCES.....	50
CONCLUSÕES GERAIS	56
ANEXO.....	57

1. INTRODUÇÃO GERAL

Os padrões dietéticos estão mudando para se obter mais proteína de origem vegetal, de forma a alavancar os atributos nutricionais dos cereais combinados com os pulses, o que oferece a oportunidade de melhorar simultaneamente a qualidade nutricional e a sustentabilidade ambiental das dietas (CHRISTOPHER P. F. MARINANGELI, 2020). Dentro dos cereais integrais como o arroz parboilizado obtido por processo hidrotérmico pode ser consumido na forma integral ou polido (WALTER et al. 2008). A parboilização do arroz aumenta a concentração fitoquímica, o potencial nutricional e as qualidades de digestibilidade, e sua produção também aumento no setor comercial (MUCHLISYIYAH et al., 2023). O milheto é outro dos cereais integrais que surge como um cultivar interessante que apresenta conteúdo de nutrientes equivalente ou superior ao de outros cereais (Pessanha et al., 2021), além disso tem boa adaptabilidade a várias condições de cultivo, e está pronto para se tornar o superalimento do século (Krishnan, 2024). Os grãos de milheto são ricos em fibras alimentares e polifenóis que podem reduzir a ocorrência de distúrbios lipídicos, doenças cardiovasculares, hiperglicemia, retardo no esvaziamento gástrico, entre outros (Pessanha et al., 2021). Os pulses, são um subconjunto de grãos amplamente identificados na forma de grãos secos de feijões, lentilhas, ervilhas e grão-de-bico (FAO, 2023). O papel das leguminosas é cada vez mais importante e estratégico para a segurança alimentar, onde o feijão tornou-se a maior fonte de proteína e nutrientes depois da proteína animal, fundamental para o crescimento populacional e que devera ser mais sustentável e funcional (Brasil, 2018). Assim também o grão-de-bico consumida amplamente no mundo, e uma fonte barata e rica de proteína. Está leguminosa e considerado um alimento do futuro focado na segurança alimentar e novas fontes vegetais sustentáveis. Além de ser uma cultura resistente a seca, requer irrigação intensiva e pode ser cultivado em áreas sem chuvas (KAUR, PRASAD, 2021)

Tanto os pulses quanto os cereais, consumidos integralmente são alimentos ricos em nutrientes. A combinação é uma estratégia para garantir a suficiência de aminoácidos indispensáveis, fibra alimentar, folato, ferro, potássio e outros micronutrientes podendo-se complementar o perfil nutricional e os benefícios à saúde (CHRISTOPHER P. F. MARINANGELI, 2020). No entanto, aproveitar os atributos nutricionais dos grãos de cereais integrais como os pulses para o desenvolvimento de novos produtos tem sido um desafio, particularmente por apresentarem em algum grau, fatores antinutricionais e sabor indesejável (*bean flavour*) e, por isso extrusão termoplástica tem sido usada com o propósito de modificar

seu sabor e redução destes fatores. O cozimento por extrusão é usado há muito tempo para o processamento de materiais ricos em amido e também de outros materiais (TIWARI, 2018). Esta tecnologia é uma operação versátil porque facilita o processamento de uma ampla variedade de matérias-primas, incluindo cereais, leguminosas e suas misturas, para produzir refeições pré-cozidas com atributos físicos específicos (Pismag, Rivera, Hoyos, Bravo, & Roa, 2024). A cocção por extrusão é um processo termicamente eficiente, porque ele oferece muitas vantagens no processamento de produtos com alto teor de proteína, como soja ou legumes etc., devido ao cozimento em alta temperatura e por um curto período de tempo, assim os fatores antinutricionais são efetivamente destruídos sem prejudicar a qualidade nutricional da matéria-prima (TIWARI, 2018). O desenvolvimento de propriedades físicas em farinhas pré-cozidas é o resultado do uso de parâmetros ou condições de processo na extrusora e, conseqüentemente, das modificações que ocorrem nos materiais processados (Pismag, Rivera, Hoyos, Bravo, & Roa, 2024).

O processo de extrusão pode ser analisado examinando-se os efeitos da alteração de parâmetros independentes que influenciam um conjunto de parâmetros dependentes. Esses parâmetros independentes podem ser classificados como parâmetros ajustáveis ou variáveis. Os parâmetros ajustáveis devem ser definidos antes da operação do equipamento e estão relacionados ao projeto do equipamento, como a configuração da rosca, a rotação da rosca, o projeto da matriz e outros. Por outro lado, os parâmetros variáveis podem ser ajustados durante a operação do equipamento, por exemplo, perfil de temperatura das zonas de aquecimento, teor de umidade das farinhas cruas, velocidade da rosca, vazão de alimentação, entre outros. Os parâmetros dependentes são classificados em duas categorias: parâmetros do sistema, relacionados à operação do equipamento, e parâmetros do produto, associados às transformações das matérias-primas alimentadas na extrusora. A energia mecânica específica (EME) e o torque (T) são os parâmetros do sistema que permitem estimar o consumo de energia e a força mecânica exercida durante o processo de extrusão, além da pressão no interior do equipamento, condição que também pode ser parcialmente controlada e cujo comportamento depende dos parâmetros do processo. Os parâmetros do produto representam os resultados do processo, e seus valores dependem da manipulação dos parâmetros do processo e do sistema (Pismag, Rivera, Hoyos, Bravo, & Roa, 2024).

Diversos reportes sobre cozimento por extrusão com matérias-primas de origem vegetal, puras ou misturadas, usadas na produção de farinhas pré-cozidas e, durante o processo de

produção, foi avaliado o comportamento dos parâmetros de extrusão em materiais extrudados. Nesse sentido, o objetivo deste estudo foi obter uma farinha pré-cozida integral sem glúten usando grãos inteiros de cereais e leguminosas (pulses) em diferentes proporções e analisar o efeito de duas condições de extrusão (E1: mais branda e E2: mais severa) sobre o desempenho da extrusora (torque e energia mecânica específica) e as propriedades físico-funcionais e capacidade antioxidante.

2. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O capítulo I apresenta uma revisão da literatura sobre características dos cereais integrais e pulses usados para o presente trabalho. O processo de extrusão termoplástica e as principais propriedades tecnológicas são descritas, quanto ao uso de proteínas como ingredientes alimentares e como a interpretação desses resultados ajudam no direcionamento para diferentes aplicações em alimentos.

O capítulo II apresenta o artigo intitulado “FUNCIONALIDADE DE MISTURAS INTEGRAIS DE CEREAIS E LEGUMINOSAS PROCESSADAS SOB CONDIÇÕES VARIÁVEIS DE EXTRUSÃO”, cujo objetivo foi avaliar o efeito de duas condições de extrusão na produção de uma farinha pré-cozida a partir da mistura de diferentes proporções de farinhas de cereais integrais e pulses. Foram avaliadas as propriedades físico-mecânicas, funcionais e de pasta, bem como a quantidade de compostos fenólicos totais e sua atividade antioxidante.

CAPITULO I

REVISAO DE LITERATURA

1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 Grãos integrais de cereais e pulses

Segundo BRASIL (2021), os cereais integrais são as cariopses intactas de alpiste, amaranto, arroz, arroz selvagem, aveia, centeio, cevada, fonio, lágrimas-de-Jó, milheto, milho, painço, quinoa, sorgo, teff, trigo, trigo sarraceno e triticale ou qualquer derivado quebrado, trincado ou flocado, cujos componentes anatômicos - endosperma amiláceo, farelo e gérmen - estão presentes na proporção típica que ocorre na cariopse intacta, sendo permitidas perdas de até 2% do grão. Tanto os grãos integrais intactos quanto os componentes dos grãos integrais reconstituídos em proporções relativas naturalmente presentes no grão podem ser adicionados aos alimentos integrais (YI et al., 2022).

Grãos integrais como os cereais e os pulses tem sido usado desde os tempos antigos até hoje em dia na alimentação humana. Os cereais pertencem à família Poaceae (gramíneas), que inclui o trigo, a cevada, a aveia, o milho, o arroz, o centeio, o milheto e o sorgo, entre outros. Eles fornecem uma fonte significativa de energia, na forma de amido, na maioria das dietas e podem ser consumidos como grãos integrais ou em sua forma refinada (BOUCHARD et al., 2022). Já os pulses pertencem à família Fabaceae (leguminosas) e são grãos secos não oleaginosos e comestíveis, que incluem as variadas espécies de feijões, a ervilha, o grão-de-bico e a lentilha. Eles são ricos mais em proteínas, fibras alimentares, baixo teor de gordura, boa fonte de carboidratos, fibras solúveis, cálcio, fósforo, potássio, magnésio, ferro e vitaminas do complexo B, quando comparados aos cereais tradicionais como arroz e trigo. Quanto ao perfil de aminoácidos são limitados em metionina, enquanto os dos cereais, são limitados em lisina, mas ao serem combinados aumenta a qualidade da proteína total na dieta (RICO; CANO; MARTÍN-DIANA, 2021).

1.1.1 Arroz integral

O arroz é um dos cereais que é consumido principalmente na forma de grãos inteiros, sem casca, em três tipos de produtos: polido, parboilizado e integral (VIEIRA, 2004), sendo também consumidos na forma de farinha e fermentado (MUCHLISYIYAH et al., 2023). A Instrução Normativa Brasileira (2009) menciona que o arroz é comercializado em quatro formas diferentes: integral, polido, integral parboilizado e polido parboilizado (Tabela 01).

Tabela 1. Comercialização e descrição do arroz de acordo com o regulamento técnico no Brasil.

Forma de comercialização	Descrição
Arroz integral	Produto do qual apenas a casca foi removida, restando cerca de 10% de farelo.
Arroz polido	Produto sem germe e pericarpo.
Arroz parboilizado integral	Produto submetido ao processo de parboilização e descascamento.
Arroz parboilizado	Produto submetido ao processo de parboilização, descascamento e polimento.

Fonte: Instrução Normativa Brasileira Nº 6 (IN 6/2009)

O arroz integral é composto por uma fina camada externa de farelo que envolve o embrião e o endosperma. Seus componentes nutricionais existem principalmente nas camadas de germe e farelo, que são removidos principalmente pelo polimento, apresentando qualidade nutricional inferior ao arroz integral (MIR; BOSCO; SHAH, 2019). Alguns autores mencionaram que o polimento remove as camadas superficiais da cariopse do arroz, concentrando o conteúdo de carboidratos e reduzindo as vitaminas e os minerais (BALBINOTI et al., 2018).

As formas de consumo do arroz incluem grãos integrais (marrom, moído ou parboilizado), farinha e produtos fermentados. O arroz parboilizado é preparado pela imersão, cozimento e secagem do arroz em casca (ou arroz integral) antes da moagem (OLI et al., 2014). A parboilização do arroz é utilizada como forma de minimizar a perda de grãos e evitar a remoção de compostos de valor nutricional, aumentando o teor de nutrientes e compostos funcionais em que seu valor justifica a expansão do mercado de arroz nos últimos anos (CARLA DORS; BIERHALS; BADIALE-FURLONG, 2011).

O arroz parboilizado possui tonalidade de cor âmbar, possivelmente devido à difusão da cor da casca no endosperma ou ao escurecimento não enzimático do tipo Maillard, além de maior resistência mecânica tornando-se menos suscetível à quebra durante a moagem (OLI et al., 2014). Ao realizar o processo de parboilização do arroz alguns benefícios ao grão ocorrem, como maior rendimento (menor quebra de grãos), esterilização, inativação de enzimas, resistência ao ataque de insetos, aumento da vida útil e a retenção de vitaminas e minerais (BALBINOTI et al., 2018). O arroz integral obtido contém fibras alimentares, vitaminas (2,1-

4,5 µg/g VB1, 13 µg/g VE) e minerais (65-400 µg/g Ca, 7-54 µg/g Fe, 13-42 µg/g Mn et al.), sendo mais nutritivo do que o arroz branco polido (DING et al., 2023). Dessa forma, os consumidores preocupados com a saúde tendem a evitar o arroz branco polido e estão buscando cada vez mais o arroz parboilizado, pois ele apresenta melhores propriedades nutricionais (BALBINOTI et al., 2018).

1.1.2 Milheto pérola

Os milhetos compreendem várias espécies de grãos de cereais de pequeno tamanho. A espécie, *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br., é uma delas, sendo a mais plantada no mundo e no Brasil, sendo conhecida por suportar condições de calor e seca, bem como produzir grãos nutritivos, que estão incluídos na dieta de vários países africanos e asiáticos (DIAS-MARTINS et al., 2018). Esta espécie é conhecida no mundo como “pearl millet” ou milheto pérola e nesta dissertação será tratado simplesmente pelo termo genérico, milheto. Este grão também é uma boa fonte de energia e fornecem proteínas, ácidos graxos, minerais, vitaminas, fibras alimentares e polifenóis. Além disso, a proteína típica do milheto contém grande quantidade de aminoácidos essenciais (AMADOU; GOUNGA; LE, 2013). Os macronutrientes destes grãos possui valores de proteínas variando de 7 a 13%, carboidratos de 60 a 70%, lipídios de 1,5 a 5%, fibras (2–7%) e micronutrientes também, como o ferro, cálcio, fósforo e magnésio, etc (KAUR et al., 2023).

Seus grãos apresentam alto potencial como alimento para humanos porque são isentos de glúten, com maior teor de fibra alimentar do que o arroz, porém semelhante em teor de lipídios ao milho e maior teor de aminoácidos essenciais como leucina, isoleucina e lisina, do que outros cereais tradicionais, como o trigo e o centeio (DIAS-MARTINS et al., 2018). Possui alto valor energético, com menor teor de amido, alto teor de fibra (1,2 g/100 g, a maior parte insolúvel), 8-15 vezes maior atividade de α -amilase em comparação com o trigo, tem baixo índice glicêmico e não contém glúten. O valor energético do milheto é maior que a do sorgo e quase igual à do arroz integral porque o teor de lipídios geralmente é maior (3 a 6%) (NAMBIAR et al., 2011).

O grão de milheto pode ser brunido, removendo-se o farelo, este que é rico em fibras e fitoquímicas, assim causando perdas significativas, já que ele é uma boa fonte de antioxidantes, como ácidos fenólicos e flavonoides glicosados (AMADOU; GOUNGA; LE, 2013; KAUR et al., 2023). Dessa forma, a manutenção do farelo é de interessante importância nutricional. Quanto

as possibilidades de uso do milheto, este pode ser moído na forma de farinha, o grão pode ser decortado, germinado, fermentado, cozido e processado por extrusão termoplástica. Deste último, pode-se obter produtos como farinhas pré-cozidas para usos diversos (mingau), biscoitos doces e salgados prontos para consumo, massas alimentícias e até mesmo bebidas probióticas não lácteas (DIAS-MARTINS et al., 2018, DIAS-MARTINS et al., 2024).

1.1.3 Feijão

Existem milhares de espécies de leguminosas, sendo as mais consumidas as de feijões comuns (*Phaseolus vulgaris* L.) do que qualquer outra, particularmente em alguns países como México e Brasil, onde o feijão é a principal fonte de proteína na dieta humana (BROUGHTON et al., 2003). Os feijões secos (muitas vezes referidos como leguminosas e, mais atualmente como pulses) podem contribuir para alguns dos benefícios para a saúde associados às dietas à base de plantas. Os feijões são ricos em vários micronutrientes importantes, incluindo potássio, magnésio, folato, ferro e zinco e, são importantes fontes de proteína em dietas vegetarianas. Em particular, eles estão entre os únicos alimentos vegetais que fornecem quantidades significativas do aminoácido essencial lisina. Os feijões secos comumente consumidos também são ricos em fibras totais e solúveis, bem como em amido resistente, que contribuem para o baixo índice glicêmico desses alimentos. Eles também fornecem grandes quantidades de polifenóis, muitos dos quais são potentes antioxidantes (MESSINA, 2014), assim como suas farinhas (NAGAI; ARGEL; ANDRÉS, 2022). O feijão normalmente é consumido inteiro, ou seja, seu tegumento apresenta considerável atividade anti-inflamatória, dependente de seu conteúdo fenólico e atividade antioxidante que são também significativamente afetados pela cultivar e solvente de extração (OOMAH; CORBÉ; BALASUBRAMANIAN, 2010).

Nas farinhas deste grão, as capacidades de absorção de água e óleo foram correlacionadas com os teores de fibra alimentar total das farinhas, e foram observadas atividades e estabilidades de emulsão adequadas, positivamente correlacionadas com seus teores de proteína, gerando ingredientes potenciais para o desenvolvimento de novos produtos de valor agregado com base em suas características nutricionais, físico-químicas e funcionais (NAGAI; ARGEL; ANDRÉS, 2022). Além disso, por suas características funcionais e tecnológicas os feijões podem ser utilizados em sistemas alimentares como sopas, panificação, produtos extrudados como *snacks* e até como fonte proteica para substituição de produtos cárneos (ALVES et al., 2019; BOYE; ZARE; PLETCH, 2010).

1.1.4 Grão-de-bico

O grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.), é uma leguminosa cultivada principalmente em áreas de clima temperado e semiárido. Caracteriza-se por conter um alto teor de proteína, gordura (lipídios), vitaminas, fibras e um teor menor de carboidratos do que cereais tradicionais como o trigo, sendo nutricionalmente rico em ácidos graxos insaturados importantes, como o ácido linoleico e oleico, podendo ser utilizado para desenvolver produtos nutritivos com valor agregado (KISHOR et al., 2017; RACHWA-ROSIK; NEBESNY; BUDRYN, 2015).

O grão-de-bico além de seu valor nutricional, seus grãos contêm vários compostos fenólicos e flavonoides, que são de particular interesse devido à sua contribuição à cor do grão, características sensoriais e várias propriedades biológicas. Os flavonoides são um dos principais grupos de compostos fenólicos encontrados nos grãos de leguminosas (SAHU et al., 2022).

As farinhas integrais de grão-de-bico teriam grande potencial em várias aplicações alimentícias devido às suas propriedades funcionais. Altos níveis de absorção de água e óleo, boa capacidade de gelificação, emulsificação e formação de espuma devem tornar essa farinha útil em uma variedade de formulações, como produtos de panificação, sopas, laticínios, alimentos sem glúten e outros novos produtos alimentícios (LADJAL ETTOUMI; MOHAMED, 2015). Além disso, a incorporação de ingredientes à base de grão-de-bico e arroz em formulações isentas de glúten permite obter formulações funcionais adequadas para o desenvolvimento de produtos inovadores, isentos de glúten, como os *snacks*, que podem ser uma alternativa interessante para pessoas com doença celíaca (CIUDAD-MULERO et al., 2022).

1.2 Extrusão termoplástica de alimentos.

O termo termoplástico é devido ao uso combinado de energia mecânica, calor e pressão sobre o alimento. Assim a extrusão termoplástica de alimentos é geralmente considerada um processo de alta temperatura e tempo curto (HTST), no qual os materiais alimentícios são expostos a altas temperaturas por um tempo muito curto (AWOL; KIDANE; BULTOSA, 2024; CHENG et al., 2010), o que inativa as enzimas presentes em farinhas cruas vegetais e reduz a contaminação microbiana (CHOTON et al., 2020). Isso oferece uma vantagem distinta em relação ao cozimento convencional sob pressão, no qual a exposição pode ser de vários minutos a temperaturas próximas a 100-140°C (CHENG et al., 2010) ou altas temperaturas e pressão (até 200 °C e 20 MPa, respectivamente) (PASQUALONE et al., 2020). Sendo assim, a extrusão

pode ter diferentes objetivos para diferentes produções de produtos (CHENG et al., 2010). O cozimento por extrusão é uma operação termomecânica de processamento de alimentos com uma extrusora. No interior das seções de cozimento da extrusora, podem ocorrer vários processos, incluindo fluxo de fluido, transferência de calor, mistura, cisalhamento, formação e dimensionamento, redução do tamanho das partículas e fusão (CHENG et al., 2010; TIWARI, 2018). Da mesma forma, essa tecnologia está se tornando mais popular no setor de processamento agroalimentar global, onde os processos combinados e simultâneos de mistura, formação, texturização e cozimento são empregados para desenvolver novos produtos alimentícios (CHOTON et al., 2020).

As extrusoras são amplamente utilizadas para a fabricação de uma variedade de produtos alimentícios, tais como os diretamente expandidos, não expandidos, texturizados, modificados e/ou coextrudados, os quais são preparados devido à grande variação de condições permitidas por este processo (DALBHAGAT; MAHATO; MISHRA, 2019). É importante mencionar que as matérias-primas devem ser adequadamente moídas e condicionadas a uma determinada porcentagem de umidade durante e mesmo antes de serem alimentadas na extrusora, que é basicamente composta por uma ou duas roscas rotativas instaladas em um cilindro segmentado por zonas aquecidas de forma diferencial (DALBHAGAT; MAHATO; MISHRA, 2019; PASQUALONE et al., 2020).

1.2.1 Tipos de extrusores

a) Extrusora de rosca simples.

A extrusora de rosca simples (SSE) contém uma única rosca rotativa em um barril de metal, geralmente com ranhuras helicoidais ou axiais na superfície interna que transportam o material para a seção de transição, onde o canal da rosca se torna mais raso e o material se torna compacto (Fig. 1a) (DALBHAGAT; MAHATO; MISHRA, 2019). As matérias-primas são alimentadas pelo funil localizado na seção de alimentação e a rosca rotativa transporta o material para a seção de transição. Na seção de transição, o canal da rosca se torna mais raso e o material é compactado, o que resulta em um aumento da temperatura do material. O amido é gelatinizado e o material se torna mais coeso. Ele é transportado ainda mais pela seção de dosagem e empurrado pela abertura da matriz (CHOTON et al., 2020). As extrusoras de formação de rosca única são usadas para fabricar massas, carnes processadas e recheios. As extrusoras de cozimento de rosca única (SSCE) são usadas para produzir alimentos secos e

semiúmidos para animais de estimação, lanches expandidos, cereais matinais, pudins, bases para sopas e bebidas, amido gelatinizado e proteínas vegetais texturizadas (TIWARI, 2018).

b) Extrusora de dupla rosca.

As extrusoras de rosca dupla são complexas e caras, mas têm várias vantagens sobre as extrusoras de rosca única. Os ingredientes são completamente misturados dentro do barril com dois parafusos antes de entrar nas outras zonas da extrusora (Fig. 1b) (DALBHAGAT; MAHATO; MISHRA, 2019).

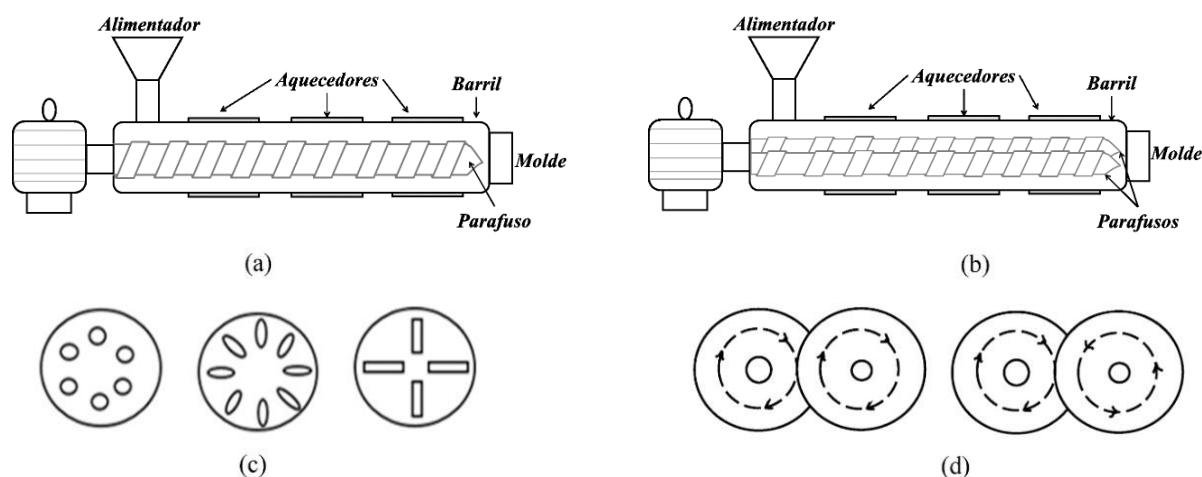


Figura 1. Tecnologia de extrusão (a) Extrusora de rosca simples (b) Extrusora de rosca dupla (c) Tipos de aberturas de matriz (d) Rosca co- e contra-rotativa. Adaptado de (DALBHAGAT; MAHATO; MISHRA, 2019).

Consiste em dois parafusos paralelos de igual comprimento que giram dentro do mesmo barril, geralmente a superfície interna do barril das extrusoras de parafuso duplo é lisa. As extrusoras de rosca dupla são usadas para extrusão de alta umidade, produtos que incluem quantidades maiores de componentes, como fibras, gorduras etc., e produtos mais sofisticados. Dependendo da posição dos parafusos e de seu sentido de rotação, são possíveis quatro tipos diferentes de configurações: (i) parafusos co-rotativos entrelaçados; (ii) parafusos co-rotativos não entrelaçados; (iii) parafusos contra-rotativos entrelaçados; (iv) parafusos contra-rotativos não entrelaçados (CHOTON et al., 2020). A extrusora de rosca dupla pode operar mesmo com uma umidade de alimentação muito baixa e oferece maior flexibilidade de operações para controlar as variáveis de tempo, temperatura e velocidade da rosca (DALBHAGAT; MAHATO; MISHRA, 2019). As aplicações da extrusora de rosca dupla incluem a maioria dos produtos SSCE e coberturas de chocolate, balas, gomas, processos de modificação de enzimas, etc. (TIWARI, 2018).

1.2.2 Efeito dos parâmetros de processo de extrusão

O processo de extrusão pode ser analisado por meio do exame dos efeitos da modificação de parâmetros independentes que influenciam um conjunto de parâmetros dependentes. Os parâmetros do processo (independentes) podem ser ajustados de acordo com as características desejadas do produto final. Esses parâmetros podem ser classificados como ajustáveis ou variáveis. Os parâmetros ajustáveis devem ser configurados antes da operação do equipamento e estão relacionados ao projeto do equipamento, como a configuração da rosca, a velocidade de rotação da rosca, o projeto da matriz (área e formato) e outros. Por outro lado, os parâmetros variáveis podem ser ajustados durante a operação do equipamento, como por exemplo, o perfil de temperatura, o teor de umidade, a velocidade da rosca e outros (PISMAG et al., 2024). Por outro lado, os parâmetros primários do processo da extrusora, como temperatura do barril, umidade da alimentação, taxa de alimentação e velocidade da rosca, determinam os parâmetros secundários do processo, como temperatura da massa, pressão da saída do material na matriz, torque e energia mecânica específica (DALBHAGAT; MAHATO; MISHRA, 2019). O controle adequado desses parâmetros proporciona as características desejadas do produto extrudado. Por outro lado, estudos levaram a uma crescente conscientização sobre a importância das variáveis (velocidade da rosca, taxa de alimentação e geometria da matriz) que controlam o histórico mecânico e o tempo de permanência do material na extrusora (ALAM et al., 2016). Os efeitos dos parâmetros do processo de extrusão (temperatura, velocidade da rosca, taxa de alimentação, configuração da rosca, pressão e torque da matriz) e as propriedades da matéria-prima (por exemplo, proporção dos ingredientes, tamanho da partícula, teor de umidade) sobre a qualidade dos produtos extrudados foram estudados por vários pesquisadores (COTACALLAPA-SUCAPUCA et al., 2021). Ainda não existe um modelo mecânico capaz de explicar totalmente a influência das variáveis de extrusão e das propriedades do material na expansão e na estrutura celular final (COTACALLAPA-SUCAPUCA et al., 2021).

1.2.3 Condições usadas na extrusão de farinhas integrais de cereais e pulses

Diversos estudos foram desenvolvidos no processo de extrusão de farinhas de cereais e pulses apresentando as condições do processo e seu efeito na produção de diferentes produtos (tabela 2).

Tabela 2. Efeitos das condições de processo de extrusão com uso de cereais e pulses.

Tipo de alimento	Condição de processo	Efeitos do processo de extrusão	Autor
Milho degerminado e feijão carioca (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	velocidade de rotação dos parafusos (318,9–392,9 rpm), a umidade de alimentação (10,9–21,0 g/100 g) e nível de farinha de feijão (4,8–55,2 g/100 g)	Efeitos significativos nas propriedades físicas (SEI, VEI e densidade) dos extrusados, com exceção de SME e LEI. O SEI aumentou com o aumento da velocidade de rotação do parafuso, mas um maior teor de umidade e farinha de feijão resultou na diminuição do SEI e do VEI. Na análise de textura, alguns tratamentos não apresentaram diferenças significativas comparados aos salgadinhos de marcas comerciais, indicando que a adição do feijão permitiu obter produtos aerados e crocantes similares ao produto comercial de milho.	SILVA et al., (2014)
Farinha de dos variedades de feijão	Umidade da alimentação de extrusão (20; 27,5; 35 g/100 g), taxa de alimentação (2; 2,5; 3 kg/h) e temperatura da matriz (70, 100 e 130 °C)	Diferentes graus de digestibilidades de carboidratos, propriedades de pasta e capacidades de retenção de solvente, que podem ser obtidas modulando as condições de extrusão, bem como o tipo de feijão	CAPPA et al. (2020)
Grão-de-bico:cevada (60:40)	a temperatura da última zona de aquecimento da extrusora (150–170 °C) e o teor de umidade (16–20%)	Maior expansão em temperaturas mais baixas e umidade mais alta para a mistura (60:40); a densidade aparente tornou-se reduzida com o aumento da umidade; e a dureza aumentou em temperaturas mais altas e umidades mais baixos.	GULDIKEN et al., (2020)
Grão-de-bico integral	teor de umidade, temperatura do barril, velocidade do parafuso e vazão de alimentação	SEI mais baixo de 102% (umidade de 20%, temperatura de 150 °C, velocidade do parafuso de 190 rpm e velocidade do parafuso de alimentação de 65 rpm) e o valor mais alto foi de 137% (umidade de 23%, temperatura do barril de 160°C, velocidade do parafuso de 170 rpm e velocidade do parafuso de alimentação de 50 rpm).	GORANOVA; PETROVA; PENOV, (2021)

1.3 Farinhas integrais pré-cozidas por extrusão na elaboração de produtos alimentícios

O desenvolvimento de novos produtos alimentícios obtidos pelo processamento por extrusão termoplástica, que aplica calor e cisalhamento mecânico simultaneamente tem aumentado nos últimos anos. A extrusão é utilizada pela indústria de alimentos para produzir uma grande variedade de produtos alimentícios, como alimentos prontos para o consumo (por exemplo, lanches), entre outros.

O uso na indústria da panificação como no trabalho de Pessanha et al. (2021b), que desenvolveram um pão integral usando misturas de farinhas cruas e extrudadas de milho pérola, onde avaliaram os parâmetros físico-químicos em comparação com produtos comerciais de pão integral com e sem glúten, apresentando este grão em sua forma integral, como um alimento potencialmente interessante para a produção de pães a serem considerados na dieta da população brasileira, particularmente para aqueles que sofrem de alergia ao glúten e diabetes.

Hoje em dia o processo de extrusão vem sendo usado para obter farinhas para sistemas de coberturas em alimentos, como os produtos fritos empanados, os quais são amplamente consumidos em todo o mundo. Por exemplo, a extrusão foi usada no processamento da farinha extrudada para empanamento em duas combinações diferentes de farinhas: a primeira foi composta por farinha de trigo (Maida, que é uma farinha branca usada na Índia), farinha de arroz e feijão preto (*Vigna mungo* L.) (7:2:1) e a segunda (8:1:1) respectivamente, onde o extrudado obtido foi moído e peneirado para obtenção de uma farinha de tamanho de partícula uniforme. A farinha pré-cozida foi usada no revestimento de bolinhos de peixe, tanto na forma de farinha extrudada como usado na forma de farinha de pão convencional. Os autores encontraram que as farinhas extrudadas apresentaram resultado comparável às farinhas de pão convencionais (KAMALAKANTH et al., 2013).

Em outro trabalho de produção de empanados à base de grão de bico com adição de farinha de linhaça foram avaliadas as características microbiológicas, sensoriais e nutricionais do produto. Foram desenvolvidas uma Formulação Padrão (FP), à base de farinha de trigo refinada, e Formulação Experimental (FE), à base de grão de bico e farinha de linhaça. Com o uso da FE, resultou em menores teores de lipídios totais e saturados, sódio e valor energético, e maior em proteínas, quando comparada à FP, e com 6,9 g/100g de fibras alimentares. Como conclusão, a mistura de grão de bico e linhaça foram viáveis na elaboração de massa de

empanada com valores sensorial, nutricional e funcional agregados e potencial de mercado (SOUSA et al., 2021).

Na produção de massa alimentícia em formato de *fusilli*, que foram obtidas a partir de misturas de farinhas de grão inteiro de milho pérola crua e pré-cozidas por extrusão termoplástica na proporção de 1:1, obtiveram uma aceitação global de 66%, com bom resultado de textura, de proteína, de lipídios e de fibras. Os autores puderam concluir que a utilização de farinhas integrais pré-cozidas de milho pérola, por extrusão termoplástica, pode ser uma alternativa na elaboração de produtos isentos de glúten com melhores propriedades funcionais (PESSANHA et al., 2023). Da mesma forma, em outro trabalho, no desenvolvimento de pão integral, foram utilizadas farinhas cruas e extrudadas de milho pérola, encontraram que o processo de extrusão levou ao aumento a capacidade antioxidante (de 177,7 para 233,7 μM Trolox/g) e à inibição enzimática (90,30 para 99,20 %) em relação ao produto produzido com farinha crua de milho (PESSANHA et al., 2021a).

1.4 Efeito da extrusão na redução dos fatores antinutricionais

Nos últimos anos, métodos de processamento de alta pressão (HPP), micro-ondas e extrusão, foram introduzidas como alternativas para reduzir os níveis dos fatores antinutricionais (FAN). Esses métodos que envolvem aquecimento ou cozimento não térmico e mínimo em alta temperatura durante um curto período de tempo ofereceram uma maior capacidade de produzir produtos finais com considerável melhoria da qualidade nutricional em comparação com os métodos convencionais. Além disso, por meio dessas tecnologias de processamento, algumas modificações desejáveis nas propriedades funcionais de leguminosas e cereais são esperadas e, particularmente, a remoção ou redução dos FAN pode ser alcançada (NIKMARAM et al., 2017). Os FAN nas matrizes vegetais interferem na absorção de nutrientes, motivo por que o uso de tratamentos térmicos como a extrusão são empregados para atenuar seus efeitos e aumentar a digestibilidade geral dos nutrientes em farinhas de cereais e leguminosas pré-cozidas (PISMAG et al., 2023).

Estudos revelaram que o cozimento por extrusão reduziu significativamente o teor de fitato e tanino condensado e melhorou as propriedades funcionais da farinha composta de alimentos complementares (DUGUMA et al., 2021). Da mesma forma, o conteúdo de saponinas apresenta uma diminuição com o aumento da temperatura e do teor de umidade durante o processo de extrusão, podendo ser atribuído ao cisalhamento e à energia mecânica, que altera a

estrutura original das saponinas, resultando em fragmentos químicos menores e na redução do sabor pungente ou adstringente dos produtos à base de quinoa (PISMAG et al., 2023). A extrusão também é um método muito eficaz para inativar a atividade dos inibidores de α -amilase, tripsina, quimotripsina e heamaglutinina sem modificar o nível de proteína nos produtos alimentícios (NIKARAM et al., 2017). Em resumo de forma geral os efeitos do processo de extrusão em diferentes tipos de ANFs em vários materiais alimentícios à base de sementes, como a influência do teor de umidade e a composição da matéria-prima, a temperatura do barril e a taxa de alimentação da extrusora são os fatores mais significativos que afetam o processo de extrusão, em termos de redução da quantidade de ANFs (NIKARAM et al., 2017).

2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALAM, M. S. et al. Extrusion and Extruded Products: Changes in Quality Attributes as Affected by Extrusion Process Parameters: A Review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 56, n. 3, p. 445–473, 17 fev. 2016.

ALVES, J. S. et al. Chemical characterization, bioactive compounds, and functional technological properties of flour from two cultivars of landrace common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **International Food Research Journal**, v. 26, n. 2, p. 565–572, 2019.

AMADOU, I.; GOUNGA, M.; LE, G.-W. MILLETS: NUTRITIONAL COMPOSITION, SOME HEALTH BENEFITS AND PROCESSING - A REVIEW. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 25, n. 7, 1 maio 2013.

ARAB, E.; HELMY, I.; BAREH, G. Nutritional Evaluation and Functional Properties of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Flour and the Improvement of Spaghetti Produced from its. **Journal of American Science Journal of American Science**, v. 66, p. 1055–1072, ago. 2010.

AWOL, S. J.; KIDANE, S. W.; BULTOSA, G. The effect of extrusion condition and blend proportion on the physicochemical and sensory attributes of teff-soybean composite flour gluten free extrudates. **Measurement: Food**, v. 13, p. 100120, 1 mar. 2024.

BALBINOTI, T. C. V. et al. Parboiled Rice and Parboiling Process. **Food Engineering Reviews**, v. 10, n. 3, p. 165–185, 2018.

BOUCHARD, J. et al. Health Benefits of Cereal Grain- and Pulse-Derived Proteins. **Molecules (Basel, Switzerland)**, v. 27, n. 12, 10 jun. 2022.

BOYE, J.; ZARE, F.; PLETCH, A. Pulse proteins: Processing, characterization, functional properties and applications in food and feed. **Food Research International**, v. 43, n. 2, p. 414–431, 2010.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 493, de 15 de abril de 2021, dispõe sobre requisitos de composição e rotulagem dos alimentos contendo cereais para classificação e identificação como integral e para destaque da presença de ingredientes integrais.

BROUGHTON, W. J. et al. Beans (*Phaseolus* spp.) - Model food legumes. **Plant and Soil**, v. 252, n. 1, p. 55–128, 2003.

CAPPA, C. et al. Effect of extrusion conditions on the physical and chemical properties of bean powders. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 44, 8 jun. 2020.

CARLA DORS, G.; BIERHALS, V. DA S.; BADIALE-FURLONG, E. Parboiled rice: chemical composition and the occurrence of mycotoxins. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 31, n. 1, p. 172–177, mar. 2011.

CHENG, H. et al. A general extrudate bulk density model for both twin-screw and single-screw extruder extrusion cooking processes. abr. 2010.

CHOTON, S. et al. Extrusion technology and its application in food processing: A review. **The Pharma Innovation**, v. 9, n. 2, p. 162–168, 1 fev. 2020.

CIUDAD-MULERO, M. et al. Extrusion Cooking Effect on Carbohydrate Fraction in Novel Gluten-Free Flours Based on Chickpea and Rice. **Molecules**, v. 27, n. 3, 2022.

COTACALLAPA-SUCAPUCA, M. et al. Extrusion Process as an Alternative to Improve Pulses Products Consumption. A Review. **Foods (Basel, Switzerland)**, v. 10, n. 5, 15 maio 2021.

DALBHAGAT, C. G.; MAHATO, D. K.; MISHRA, H. N. Effect of extrusion processing on physicochemical, functional and nutritional characteristics of rice and rice-based products: A review. **Trends in Food Science and Technology**, v. 85, p. 226–240, 2019.

DIAS-MARTINS, A. M. et al. Potential use of pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) in Brazil: Food security, processing, health benefits and nutritional products. **Food Research International**, v. 109, p. 175–186, 2018.

DING, J. et al. Mechanistic study of the impact of germinated brown rice flour on gluten network formation, dough properties and bread quality. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 83, p. 103217, 1 jan. 2023.

DUGUMA, H. T. et al. Changes in Anti-nutritional Factors and Functional Properties of Extruded Composite Flour. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 5, 2021.

GORANOVA, Z.; PETROVA, T.; PENOV, N. Effect of selected parameters on sectional expansion index and bulk density during the extrusion of chickpea instant semolina. **Food Science and Technology**, v. 15, maio 2021.

GULDIKEN, B. et al. Effect of extrusion conditions on the physical properties of desi chickpea-barley extrudates and quality attributes of their resulting flours. **Journal of Texture Studies**, v. 51, n. 2, p. 300–307, 2020.

KAMALAKANTH, K. et al. Development and comparison of extruded breading with conventional bread crumbs for coating fish balls. **Indian Journal of Fisheries**, v. 60, p. 129–134, maio 2013.

KAUR, B. et al. Minor millets: a review on nutritional composition, starch extraction/modification, product formulation, and health benefits. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 2023.

KISHOR, K. et al. Nutritional Composition of Chickpea (*Cicer arietinum*) Milk. **International Journal of Chemical Studies**, v. 5, maio 2017.

LADJAL ETTOUMI, Y.; MOHAMED, C. Some physicochemical and functional properties of pea, chickpea and lentil whole flours. **International Food Research Journal**, v. 22, p. 987–996, ago. 2015.

MESSINA, V. Nutritional and health benefits of dried beans. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 100, n. SUPPL. 1, p. 437S–442S, 1 jul. 2014.

MIR, S. A.; BOSCO, S. J. D.; SHAH, M. A. Technological and nutritional properties of gluten-free snacks based on brown rice and chestnut flour. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 18, n. 1, p. 89–94, 1 jan. 2019.

MUCLISYIYAH, J. et al. Parboiled Rice Processing Method, Rice Quality, Health Benefits, Environment, and Future Perspectives: A Review. **Agriculture**, v. 13, n. 7, 2023.

NAGAI, N. F.; ARGEL, N. S.; ANDRÉS, S. C. Physicochemical characterization and functional properties of flours from North-western Argentina bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. **Cereal Chemistry**, v. 99, n. 4, p. 850–859, 2022.

NAMBIAR, V. S. et al. Potential functional implications of pearl millet (*Pennisetum glaucum*) in health and disease. **Journal of Applied Pharmaceutical Science**, v. 1, n. 10, p. 62–67, 2011.

NIKMARAM, N. et al. Effect of extrusion on the anti-nutritional factors of food products: An overview. **Food Control**, v. 79, p. 62–73, 1 set. 2017.

OLI, P. et al. Parboiled rice: Understanding from a materials science approach. **Journal of Food Engineering**, v. 124, p. 173–183, mar. 2014.

OOMAH, B. D.; CORBÉ, A.; BALASUBRAMANIAN, P. Antioxidant and anti-inflammatory activities of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Hulls. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, n. 14, p. 8225–8230, 2010.

PASQUALONE, A. et al. Use of Legumes in Extrusion Cooking: A Review. **Foods**, v. 9, n. 7, 2020.

PESSANHA, K. L. F. et al. Impact of whole millet extruded flour on the physicochemical properties and antihyperglycemic activity of gluten free bread. **LWT**, v. 147, 2021.

PESSANHA, K. L. F. et al. Impact of whole millet extruded flour on the physicochemical properties and antihyperglycemic activity of gluten free pasta. **Journal of Food Science and Technology**, 2023.

PISMAG, R. Y. et al. Effect of extrusion cooking on the chemical and nutritional properties of instant flours: a review. **F1000Research**, v. 12, p. 1356, 2023.

PISMAG, R. Y. et al. Effect of extrusion cooking on physical and thermal properties of instant flours: a review. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 8, 2024.

RACHWA-ROSIK, D.; NEBESNY, E.; BUDRYN, G. Chickpeas—Composition, Nutritional Value, Health Benefits, Application to Bread and Snacks: A Review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 55, n. 8, p. 1137–1145, 2015.

RICO, D.; CANO, A. B.; MARTÍN-DIANA, A. B. Pulse-cereal blend extrusion for improving the antioxidant properties of a gluten-free flour. **Molecules**, v. 26, n. 18, 2021.

SAHU, V. K. et al. Evaluation of Physiological and Biochemical Contents in Desi and Kabuli Chickpea. **Legume Research**, v. 45, n. 10, p. 1197–1208, 2022.

SILVA, E. M. M. DA et al. Physical characteristics of extrudates from corn flour and dehulled carioca bean flour blend. **LWT - Food Science and Technology**, v. 58, n. 2, p. 620–626, 1 out. 2014.

SOUSA, E. et al. Massa de empada sem glúten: Efeito da combinação de grão de bico e farinha de linhaça nas características nutricionais e sensoriais. **Research, Society and Development**, v. 10, p. e11010816971, 7 jul. 2021.

TIWARI, A. Extrusion Cooking Technology: An Advance Skill for Manufacturing of Extrudate Food Products. Em: [s.l: s.n.].

YI, C. et al. Extrusion processing: A strategy for improving the functional components, physicochemical properties, and health benefits of whole grains. **Food Research International**, v. 160, p. 111681, 1 out. 2022.

CAPITULO II

FUNCTIONALITY OF WHOLEGRAIN CEREAL AND PULSES BLENDS PROCESSED UNDER VARIABLE EXTRUSION CONDITIONS

FUNCIONALIDADE DE MISTURAS INTEGRAIS DE CEREAIS E LEGUMINOSAS PROCESSADAS SOB CONDIÇÕES VARIÁVEIS DE EXTRUSÃO

FUNCTIONALITY OF WHOLEGRAIN CEREAL AND PULSES BLENDS PROCESSED UNDER VARIABLE EXTRUSION CONDITIONS

Chuqui-Paulino, F.J. ^a, Vargas-Solórzano, J.W. ^b, Chavez, D.W.H. ^b, Ascheri, J.L.R. ^b,
Caroline Mellinger-Silva^b, Carvalho, C.W.P. ^{ab}

^a Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, UFRRJ,
Seropédica, Rio de Janeiro, 23890-000, Brasil

^b Embrapa Agroindústria de Alimentos, Avenida das Américas, 29501 - Rio de Janeiro
- RJ, 23020-470, Brasil.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of two twin-screw extrusion conditions to obtain whole-grain pre-cooked flours from cereals (parboiled rice and pearl millet) and pulses (Chickpea and carioca bean). Unextruded flours were analyzed and the influence of the used parameters of the first (E1) and second (E2) condition in a twin-screw extruder. Torque and specific mechanical energy (SME), bulk density (BD), particle size distribution (PSD), water absorption index (WAI), water solubility index (WSI), oil absorption index (OAI), paste properties, relative crystallinity (RC), total polyphenol content (TPC) and antioxidant activity (ABTS+ and DPPH), emulsifying properties, and foaming capacity (FC) were determined. Torque and SME were higher with E2. BD, WAI, WSI increased after the extrusion process, with some exceptions in E1 in WSI. A reduction of PSD fractions was found, obtaining finer fractions with the two conditions. OAI had a reduction after extrusion, as well as viscosity values, finding more damage to starch granules with E2. Extrusion cooking produced changes in flour color, reduced L* values, and increased a* and b* values. Emulsifying capacity improved with extrusion and emulsion stability was negatively affected by the effect of the conditions, with the exception of F3. FC was present in NEF, and very unstable foams not measurable after extrusion. Millet and carioca bean contributed to phenolic compounds to F2, obtaining higher TPC, and antioxidant activity, whose values were minimally reduced after extrusion. The influence of E1, like the severity of extrusion of E2, and also the higher cereal or pulse content in the formulation, significantly influence the functional and dough properties of gluten-free precooked flours, as well as the loss of their antioxidant properties.

KEYWORD: Gluten-free flour, Torque and SME, PSD, Pulses, Whole cereal

1. INTRODUCTION

The current demand for gluten-free products with high nutritional value has encouraged the development of improved products using a mix of ingredients from non-traditional vegetable sources, such as pearl millet, chickpea, and pinto (carioca) bean flours. These ingredients are used as raw or extruded flours, and depending on the mix proportion and processing conditions, they can be classified as protein flours (10-15%), with moderate dietary fiber (8-13%) if the seed teguments were not removed. In recent years, an increasing number of studies have been conducted to evaluate the performance of various types of legume flours in extrusion cooking, demonstrating that legumes have excellent potential for the production of ready-to-eat extruded foods, precooked flours, bakery flours, and others, partially or totally replacing cereals. Several studies on the extrusion of cereals and pulses, using various proportions, have been conducted because blends of cereals and pulses produce protein-enriched products (AJITA TIWARI, 2017). Cereal grains and their processed products are a major source of human foods, particularly in developing countries (Wang et al., 2018). Rice, being a staple food for a large portion of the world's population, has gained significant attention for its unique functional properties, such as flavor carrying capability and hypo allergenicity, making it a desirable raw material for processed food products (Wang et al., 2018). Similarly, millets and pulses have been recognized for their potential to enhance the nutritional and functional quality of extruded products (Patil & Kaur, 2018) (Rao & M, 2010).

Extrusion technology has emerged as a versatile and efficient process for the production of a wide range of food products, including breakfast cereals, snacks, and extruded pastas. The utilization of extrusion cooking for the processing of cereal and pulse whole meal flours can contribute to the development of innovative food products with improved nutritional and functional characteristics (Ruíz-Gutiérrez et al., 2018) (Patil & Kaur, 2018). For instance, the incorporation of stabilized rice bran into rice flour-based extrudates can result in the production of nutritionally enhanced products with improved antioxidant properties (Wang et al., 2018). In addition, can lead to the development of ready-to-eat or ready-to-serve convenience foods, which have gained popularity in urban regions due to changing food habits and lifestyles (Bunkar et al., 2020). These extruded products can be further utilized as novel green ingredients, such as hydrocolloids and fat replacers, or for the production of gluten-free, phenolic-rich, and low-glycemic foods (Patil & Kaur, 2018).

In conclusion, the extrusion of cereal and pulse whole-meal flour presents an opportunity to develop a wide range of innovative and functional food products with enhanced nutritional and sensory characteristics. The successful utilization of this technology can contribute to the diversification of extruded products that can be used for a particular product based in their functional properties, such as water absorption, water solubility, oil absorption rates, expansion rate, bulk density and paste viscosity (Ajita Tiwari, 2017; Alam et al., 2016; Awol et al., 2024b). These properties are affected by the influence of parameters how the extrusion temperature, screw speed, feed moisture content, and feed composition (Awol et al., 2024). In the face of increased demand for extrusion cooking technology, the conditions process parameters vary based on the nature of raw ingredients and the requirement of the final product. Quality of extruded product depends on the right combination of all the process parameters as well as blend combination which needs to be studied.

The objective of this work was to evaluate the effect of two extrusion conditions on the physical and paste properties in obtaining a precooked whole meal gluten-free flour from the blend of whole cereal grains and pulses.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Materials

The pearl millet was provided from “ATTOSEMENTES” Company (Matto Grosso, Brazil). The parboiled rice, carioca bean and chickpea were provided from “GRANFINO” Company (Nova Iguaçu, Brazil). WGs were cleaned on a Clipper grain cleaner (Clipper Separation Technologies, Bluff ton, United States) and ground using a hammer mill LM3100 (Pertin Instruments, Huddinge, Sweden) equipped with a 0.8 mm opening screen for obtaining the fine flours.

2.2. Methods

2.2.1. Development of the extruded flour

The raw flours formulated based on the cereal and pulse flour blends are displayed in Table 1 prior to extrusion. The raw flours formulated denominated for this work as non-extruded flour (NEF) after mixing, was packed in polyethylene bags until processing.

Table 1. Whole cereals and pulses used in the formulation of the blended flours, with the conditions used for the extrusion process.

Sample	whole cereals		Pulses	
	PR (%)	PM (%)	CP (%)	CB (%)
F1	60	15	15	10
F2	15	60	15	10
F3	15	15	60	10
F4	30	30	30	10
Conditions	Extrusion parameters		Fixed parameters	
	FM (%)	SS (rpm)	BT* (°C)	FR (kg/h)
E1	30	300	130	10
E2	18	600	130	10

PR: Parboiled rice; PM: Pearl millet; CP: Chickpea; CB: Carioca beans; BT: barrel temperature; FM: feed moisture; SS: screw speed; FR: feed rate. * Temperature in last zone in the twin-screw extruder

2.2.2. Extrusion process

The extrusion process was conducted using a Cleextral Evolum HT25 twin-screw extruder co-rotating (Cleextral Inc., Firminy, France) with screw diameter of 25 mm, length: diameter ratio (40:1), with ten temperature zones (set at 25, 25, 20, 80, 110, 110, 120, 120, 130 and 130°C), screw speeds (300 and 600rpm), and screw configuration and temperature profile were kept constant. The extruder was equipped with a two-blade cutter (type GR2008, Cleextral, Firminy, France).

The blended whole meal flours were fed into the feeding zone by a twin-screw, loss-in-weight gravimetric feeder model GRMD15 (Schenck Process, Darmstadt, Germany) at rate of 10 kg/h and were monitored by Schenck Process Easy Serve software (Schenck Process, Darmstadt, Germany). Distilled water was injected between the first and second modular zones through a port with 5.25mm internal diameter using a plunger metering pump model J-X 8/1 (AILIPU Pump Co. Ltd., China) set to provide moisture in the samples (18 and 30% moisture content). Extrusion variables such as motor torque, specific mechanical energy (SME), die pressure, screw speed, water feed rate, and temperature of the modules were recorded by a computer using the software FITSYS Plus (Cleextral Inc., Firminy, France). Data was recorded after a minimum variation of torque, SME and pressure at the die. The samples were collected

over 15–20min and immediately dried at 52°C overnight in a forced-air drier. After drying, they were sealed in to plastic bags and stored at 7°C pending further analysis.

2.2.3. Torque and specific mechanical energy (SME)

Extrusion variables such as motor torque, specific mechanical energy (SME), die pressure, screw speed, water feed rate and module temperature were recorded by a computer using FITSYS Plus software (Clextral Inc., Firminy, France). The data that was recorded after the extrusion process was collected for a minimum variation in torque and SME.

2.2.4. Bulk density

The bulk density of particles (BD) was determined in quadruplicate according to VARGAS-SOLÓRZANO et al., (2020), as the non-compacted sample mass, freely poured in a graduated cylinder with the top level to 50 cm³. The bed of particles was obtained by placing the graduated cylinder under the outlet of a single-screw volumetric feeder (Brabender, Duisburg, Germany) and then dropping 50 g of sample at 4 kg/h. The feeding rate (kg/h) was calculated by interpolating rotational speed curves (rpm) as a function of particulate mass, collected in 1 min.

2.2.5. Particles-size distribution

The particle size was determined using a MICROTRAC S3500 laser equipment (Microtrac Inc., Montgomery Ville, USA), by the light scattering technique. The analysis was carried out in duplicate and in three reading cycles, using isopropyl alcohol as dispersant fluid (refractive index 1.376). The sample was dispersed in alcohol and immediately fed into the equipment. For the particle, a refractive index of 1.50 was adopted. In addition, particle-size distribution curves based on cumulative of the sample's percentage were generated, were calculated the diameters of particles (in µm) corresponding to the 10%, 50%, and 90% finer percentiles (D10, D50 and d90, respectively), and span (Equation (1)), this calculates were used to characterize the granulometry of the blended whole meal flour (DODDS, 2013).

$$Span = \frac{D_{90}-D_{10}}{D_{50}} \quad (1)$$

$D_{[4,3]}$ is the the volume mean diameter and $D_{[3,2]}$ is the surface mean. They were calculated according to (2) and (3), respectively.

$$D_{[4,3]} = \frac{\sum_1^n D_{iV_i}^4}{\sum_1^n D_{iV_i}^3} \dots \quad (2)$$

$$D_{[3,2]} = \frac{\sum_1^n D_{iV_i}^3}{\sum_1^n D_{iV_i}^2} \dots \quad (3)$$

v_i and D_i are the mass in class (in %) and the average class size (in μm), respectively.

2.2.6. Water and oil absorption index and water solubility index

The extrudates were grounded using a DM followed by followed by a hammer-mill (HM) LM3100 (Perten Instruments AB, Huddinge, Sweden) fitted with a 0.8mm sieve aperture sieve aperture and then sieved to obtain particles sized between 106 and 212 μm , which were used to determine water absorption index (WAI) and water solubility index (WSI), according to the methodology described by Anderson et al. (1969) with modifications. The procedure followed involved weighing 1 ± 0.0005 g of sample in a test tube, adding 5 mL of deionized water, mixing for 20 s in a vortex shaker and then adding further 5 mL of deionized water to wash any particle adhered on the tube wall. After-wards, the mixture was kept at 25 ± 0.5 °C for 30 min to allow complete hydration. The gel formed was centrifuged at 9000 rpm ($9961 \times g$) at 25 °C for 15 min in a centrifuge Universal 320R (Hettich, Tuttingen, Germany).

The supernatant was carefully poured into a tared evaporating dish and dried in an air circulating oven (WTB Binder, Tuttlinger, Germany) at 105°C for 4h for total soluble solid measurement. The tube with remaining gel was superficially dried with facial tissues, and weighed. WSI and WAI analyses were conducted in triplicate and were calculated using Eqs. (4) and (5), modified by DOĞAN; KARWE, (2003).

$$\text{WSI} = (\text{g water soluble matter})/(\text{g dry sample}) \quad (4)$$

$$\text{WAI} = (\text{g water absorbed})/(\text{g dry sample} \times (1 - \text{soluble fraction})) \quad (5)$$

In the oil absorption index, the procedure followed according AHN; KIM; NG, (2005), involved weighing 0.5 ± 0.0005 g of sample in a test tube, adding 5 mL of soybean vegetable oil, mixing for 20 s in a vortex shaker and letting it stand for 30 min, to allow complete absorption. The gel formed was centrifuged at 9000 rpm ($9961 \times g$) at 25 °C for 15 min in a centrifuge Universal 320R (Hettich, Tuttingen, Germany). The OAI were calculated using Eqs. (6).

$$\text{OAI} = (\text{g oil absorbed})/(\text{g dry sample} \times (1 - \text{soluble fraction})) \quad (6)$$

2.2.7. Pasting properties

The extrudates were grounded using a DM followed by a HM fitted with a 0.8mm sieve aperture and then sieved to obtain particles sized between 106 and 212 μm , which were used to determine paste viscosity. A Rapid Visco Analyzer series 4 RVA (Newport Scientific Pty Ltd., Warriewood, Australia) was used to measure the paste viscosity of the NEF and EF according to the methodology reported by COMETTANT-RABANAL et al., (2023). Three grams of the samples conditionate with adjustment to 14% of moisture (wet basis) were placed along with 25 mL of distilled water in the sample holder (aluminum cup) of the equipment. The test conditions were: mixing at 160 rpm at 25 °C for 2 min, heating up to 95 °C at a constant rate of 14 °C/min and kept it for 3 and then cooled to 25 °C in 5 min at the same rate, with a total time of 20 min. The pasting property readings measured were pasting temperature (PT_{em}, cP), cold viscosity at the beginning 25 °C (CV, cP), peak viscosity (PV, cP), trough viscosity or holding strength (TV, cP), breakdown viscosity (BDV= PV-TV, cP), final viscosity (FV, cP), and setback viscosity (SBV= FV-TV, cP). Measurements were performed in duplicates.

2.2.8. Color measurement

The color parameters were measured by the reflectance method using a Quest XE color equipment, CIELAB scale, with a 1 mm diameter aperture, with illuminant D65/10 according Bernardo et al. (2018). The measured color parameters were: L* (luminosity, 0 = black and 100 = white); a* (− 80 to 0 = green, from 0 to + 100 = red; b* (− 100 to 0 = blue, from 0 to + 70 = yellow).

2.2.9. X-ray diffraction (XRD)

Diffraction X-ray pattern was performed following the methodology described by DOS SANTOS et al., (2023). The non-extruded and extrudates flour was with particles sized pattern between 106 and 212 μm and were analyzed from 2 to 32° (angle 2 θ) in the range of 0.15° min^{−1}, a step size of 0.02 and with a divergence, scatter and receiving slit width of 0.6; 0.6; and 0.2 mm, respectively; The relative crystallinity (RC) was calculated considering the ratio of the crystalline area and total area using the Diffrac.Suite Eva version 3 software (Bruker AXS, Rheinfelden, Germany), following to next equation:

$$Crystallinity (\%) = \frac{\text{Area under the peak}}{\text{Total area under the diffractogram}} \times 100 \quad (4)$$

2.2.10. Statistical analysis

The experiment results were analyzed in triplicates, and the data were recorded as mean $\pm$ standard deviation. Tukey's *t*-test ($p < 0.05$) was used to compare the results through analysis of variance (ANOVA).

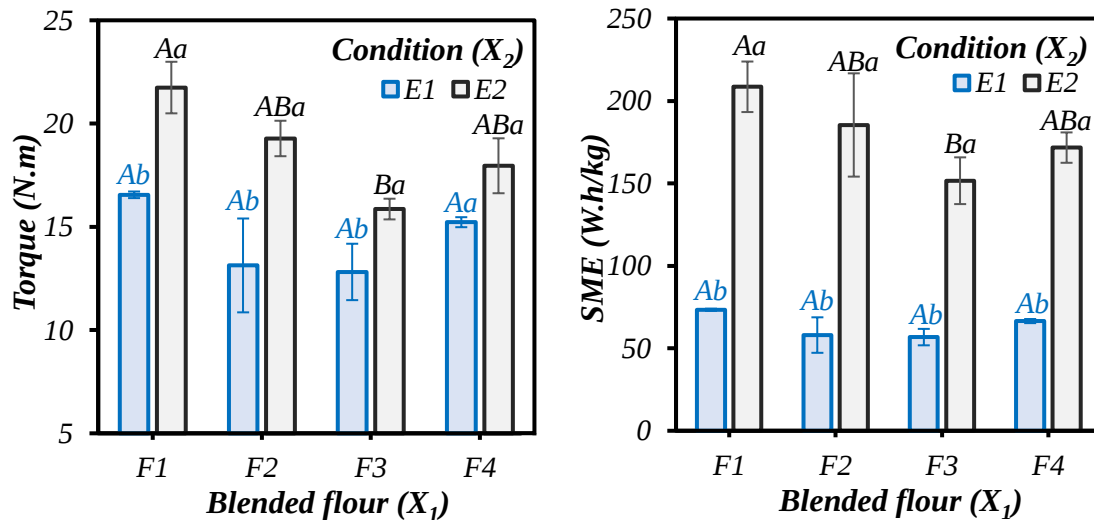
3. RESULTS AND DISCUSION

3.1. Torque and specific mechanical energy

In the extrusion process the influence of the parameters used with the two conditions (E1 and E2), differences in torque values have been found ($p < 0.05$). Being the extruder torque defined as the measure of the work to be done to move the feed material through the cylinder and die (Dalbhagat et al., 2019; Yadav et al., 2022). The torque values found with the influence of E1 varied from 12.82 to 16.55 N.m and E2 varied from 15.86 to 21.74 N.m (Fig. 1a). It was observed that with the influence of E2 (18% FM and 600 rpm SS), the torque values were higher, with respect to E1 (30% FM and 300 rpm SS). Therefore, a low FM and an increase of SS, increases the torque, while, with the increase of FM and low SS, it decreases. The reduction could be associated with increased starch gelatinization decreasing the dough viscosity reducing the torque (Kharat et al., 2019; Yadav et al., 2022), and while Jain & Goomer (2023), noted, that the torque increased with use of high temperatures and increased SS (more than 200 rpm). In addition, it was observed that torque values increased with higher cereal content in the formulation, while with higher pulse content the values decreased, in both conditions used. In other words, the composition of the feed material has a significant effect on the pressure and torque of the matrix (YADAV; DALBHAGAT; MISHRA, 2022). A low amylose content as rice produced high torque values due to the material becomes sticky, while high amylose content decreases its values (Dalbhagat & Mishra, 2019). Those values could also be negatively affected in the extrusion of foods with high lipid content (more than 5-6%) which hinders the extrusion process by reducing its sliding inside the cylinder, thus reducing the torque (Dalbhagat et al., 2019; Yadav et al., 2022).

The SME is related to the melt viscosity which directly affects the resistance to the work done by the screws on the feed material (Vargas-Solorzano et al 2014). The SME values ranged from 56.81 to 73.37 W.h/kg under the influence of E1, and from 151.64 to 208.6 W.h/kg for

E2 (Fig. 1b). It is observed from these values that the parameters used in E1 of high humidity and low screw speed obtained lower values than those in E2 with low humidity and high screw speed parameters. KHARAT et al., (2019), observed that with an increase in humidity and temperature caused a decrease in EMS agreeing with (SINGH; KOKSEL, 2021), while with the use of higher screw speed and temperature increased EMS agreeing with Ali et al. (2017). In addition, the same behavior observed in the torque values was found, i.e. the SME increased with higher cereal content in the formulation, while with higher pulse content the values decreased, in the two conditions used. Then it could be associated with the starch content in the formulation, since the SME is a quantitative descriptor of molecular transformations and interactions such as starch conversion and consequently of the rheological properties of the melt (Carvalho et al., 2010; Oliveira et al., 2017). While the presence of higher protein content in F3 (70% pulse), could have influenced the reduction of EMS, as demonstrated in other studies that with the addition of fish protein to starch-rich foods such as rice and a protein concentrate (5-20%) in extruded products reduces EMS (Alam et al., 2016). Also due to the presence of fine particles in the formulation that would heat up faster, reaching a melt transition temperature faster than coarse particles, giving a lower viscosity and therefore reducing the SME (Carvalho et al., 2010).



E1: first condition; E2: Second condition; F1: Parboiled rice (60), Pearl millet (15), chickpea (15), Carioca beans (10); F2: Parboiled rice (15), Pearl millet (60), chickpea (15), Carioca beans (10); F3: Parboiled rice (15), Pearl millet (15), chickpea (60), Carioca beans (10); F4: Parboiled rice (30), Pearl millet (30), chickpea (30), Carioca beans (10)

Figure 1. Effect of extrusion conditions on torque (a) and specific mechanical energy (b) during the production of precooked whole meal flours.

3.2. Particle-size distribution

The values obtained from the PSD analysis of the NEF indicate the existence of differences between each formulation ($p \leq 0.05$). The difference in particle size plays an important role in functional, physicochemical, adsorption, hydration and surface properties (AZEEM; MU; ZHANG, 2021), becoming an analysis is essential for the formulation of different types of products, since with higher number of small particles in the flour results in a less extensible and less fluid dough, due to high water absorption (MAMAT et al., 2020). The amplitude of PSD is shown by the values of D10, D50 and D90 (Fig. 2b, 2c and 2d). Where the values of D10 varied from 19.22 to 30.4 μm , of D50 varied from 64.21 to 249.27 μm and of D90 varied from 259 to 656.93 μm . It was observed that in the NEF the largest particle sizes were found in the formulations with the highest cereal content (F1, F2 and F4), and with more small particles in F3 (70% pulse), as shown in the accumulated curve of particles where F3 is displaced to the left, concerning the other formulations (Fig. 2a), and its distribution amplitude was less wide than the larger particles, as observed by CARVALHO et al., (2010) in corn flour. The size difference could be attributed to the higher starch content in the formulations by increasing the particle size, as observed by Liu et al. (2024) when they added purple potato flour mixed with rice flour to formulate a composite flour as a raw material for new product development. Meanwhile, in the values of the diameter of the volumetric mean D [4,3] of the HCs, a larger diameter was found for F4, similar values between F1 and F2, and a smaller diameter in F3. The same behavior was also observed for the values of surface mean D [3,2]. The uniformity of the PSD of the NEF was evaluated by the Span parameter, finding values between 2 to 3, where a lower value indicates a more homogeneous distribution of the particles (Liu et al., 2024). The homogeneity is observed for the formulations with more cereal content in the formulations obtaining more homogeneous values, while the F3 with more pulse content obtained the highest Span value, being less homogeneous. In this regard, Liu et al. (2024) mentioned that they found a significant impact with the incorporation of purple potato flour in a mixture composed with rice flour, improving the homogeneity of the PSD.

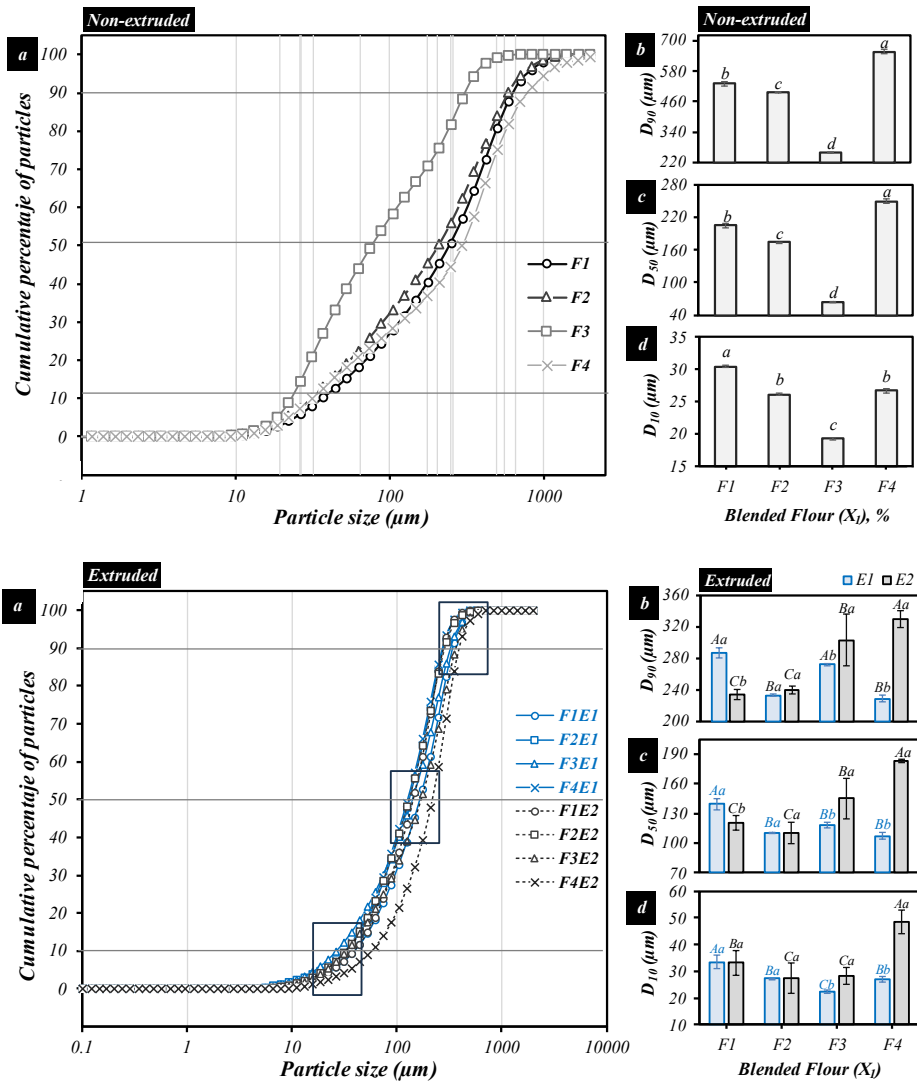


Figure 2. Cumulative percent curves of Particle-size distribution of the non-extruded (a) and the extruded blended whole meal flour (b), with the large particles diameter D90 (c) and (f), intermediate particles diameter D50 (d) and (g) and small particles diameter D10 (e) and (h), respectively.

The values obtained from the PSD analysis between HE, indicate the existence of differences between each formulation and extrusion conditions ($p \leq 0.05$). The PSD amplitude is shown with the values of D10, D50 and D90 (Fig. 3). Those values with the influence of E1 for D10 varied from 22.32 to 33.5 μm , for D50 varied from 106.83 to 139.47 μm and D90 varied from 229.02 to 287.03 μm . While with the influence of E2 for D10 varied from 27.47 to 48.63 μm , for D50 from 109.8 to 182.92 μm and for D90 from 234.1 to 329.25 μm . It was observed that, with the influence of E1, F1 presented particles with larger sizes, as shown in the cumulative percentage of particles curve, which was displaced to the right, and the particles with smaller sizes were displaced to the left in the other formulations. While, with the influence of E2, F4 presented particles with larger sizes, as shown in the cumulative percentage curve of

particles is shifted to the right, and remains of formulations to the left indicating smaller sizes (CRISTIANO et al., 2019). Meanwhile, in the values of volumetric mean D (4.3) and surface mean D (3.2) of HE with the influence of E1, similar higher values were found for F1 and F3, and similar lower values between F2 and F4. While with the influence of E2, similar higher values were observed for F3 and F4, and similar lower values for F1 and F2, respectively. Span values showed less homogeneity in PSD for F3 (>2) with respect to the others, with the influence of E1. While with E2 less homogeneity for F2 and F3 (>1.9), and more homogeneous particles for F1 and F4. In this regard studies described that a variable PSD is due to the effects of hardness, type, processing, type of milling or technique (Husnain Raza Kashif Ameer & Zhang, 2019).

3.3. Bulk density

Bulk density (BD) values ranged from 0.39 to 0.53 g/cm³ for the unextruded whole-grain flour formulations (NEF), where F1 composed with higher content of parboiled rice had higher BD, followed by F2 and F4, which presented similar values, and a lower value in F3 composed of a higher percentage of chickpea (Table 2). The variation in BD can be attributed to differences in the starch content of the flours, as determined by Anberbir et al. (2024), in flours composed of teff, pearl millet and buckwheat. Likewise, LAGNIKA et al., (2019), mentions that BD is influenced by the particle size and structure of starch polymers, as observed in the PSD analysis, F3 is composed of finer particles.

These NEF went through a process of extrusion and milling of the extruded product to obtain extruded blended meal (EF), which presented higher BD values. The increase in BD can be influenced by the conditions or parameters used during the extrusion process, as well as the chemical composition of the feed used, such as those with high fiber and protein content (Boakye et al., 2023; Pasqualone et al., 2020), which can interfere with dough elasticity and starch gelatinization (DUGUMA et al., 2021). It was observed that in the EF due to the influence of the first condition (E1), similar values of BD for F1 and F4, as well as for F2 and F3. Similarly, evaluating the effect of the second condition (E2) on the EF, similar higher BD values were found among treatments F1, F2 and F4, while a lower BD value was found for F3. With the influence of the extrusion conditions used, it was observed that, with the increase of feed moisture, low screw speed and temperature at 130°C, the BD increased, while, with the decrease of moisture, increase of screw speed and temperature, it decreases, agreeing with the mentioned by ALI; SINGH; SHARMA, (2017).

Table 2. Bulk density, hydration properties and oil absorption index of the non-extruded and extruded blended whole meal flour.

Sample	Condition	BD	WAI	WSI	OAI
Non-extruded samples					
F1	NE	0.53 ± 0.01 ^a	2.09 ± 0.19 ^a	7.76 ± 0.28 ^d	1.43 ± 0.12 ^b
F2	NE	0.49 ± 0.01 ^b	1.62 ± 0.06 ^b	8.37 ± 0.03 ^c	1.31 ± 0.02 ^b
F3	NE	0.39 ± 0.01 ^c	1.28 ± 0.10 ^c	16.82 ± 0.23 ^a	1.72 ± 0.01 ^a
F4	NE	0.49 ± 0.01 ^b	1.79 ± 0.05 ^b	10.57 ± 0.04 ^b	1.46 ± 0.02 ^{ba}
Extruded samples					
F1	E1	0.59 ± 0.02 ^{Aa}	5.39 ± 0.52 ^{Aa}	9.64 ± 0.30 ^{CBb}	0.93 ± 0.03 ^{Ab}
F2	E1	0.55 ± 0.02 ^{Ba}	4.72 ± 0.56 ^{Ba}	6.78 ± 2.20 ^{Cb}	0.91 ± 0.02 ^{ABa}
F3	E1	0.55 ± 0.01 ^{Ba}	3.85 ± 0.62 ^{Ca}	12.50 ± 1.67 ^{Ab}	0.89 ± 0.03 ^{ABb}
F4	E1	0.59 ± 0.00 ^{Aa}	3.97 ± 0.13 ^{Ca}	10.19 ± 0.60 ^{BAb}	0.88 ± 0.01 ^{Ba}
F1	E2	0.58 ± 0.01 ^{Aa}	4.26 ± 0.08 ^{Ab}	25.94 ± 0.59 ^{Aa}	1.04 ± 0.06 ^{Aa}
F2	E2	0.55 ± 0.01 ^{Aa}	4.15 ± 0.37 ^{Ab}	17.84 ± 3.50 ^{Ca}	0.93 ± 0.03 ^{Ba}
F3	E2	0.51 ± 0.02 ^{Bb}	2.92 ± 0.18 ^{Bb}	18.01 ± 2.06 ^{Ca}	0.93 ± 0.02 ^{Ba}
F4	E2	0.57 ± 0.02 ^{Aa}	3.92 ± 0.12 ^{Aa}	21.92 ± 1.55 ^{Ba}	0.89 ± 0.01 ^{Ba}

For each parameter, different letters indicate significant differences at $p < 0.05$

NE: Non-extruded; E1: first condition; E2: Second condition; F1: Parboiled rice (60), Pearl millet (15), chickpea (15), Carioca beans (10); F2: Parboiled rice (15), Pearl millet (60), chickpea (15), Carioca beans (10); F3: Parboiled rice (15), Pearl millet (15), chickpea (60), Carioca beans (10); F4: Parboiled rice (30), Pearl millet (30), chickpea (30), Carioca beans (10); BD, Bulk density; WAI, Water absorption index; WSI, water solubility index and oil absorption index.

Therefore, higher feed composition and feed moisture enhance BD, whereas higher screw speed and barrel temperature reduce BD (JABEEN et al., 2021). Meanwhile, Jabeen et al. (2021) observed that feed composition and moisture have a positive effect on BD, and screw speed and barrel temperature have a negative effect. As mentioned by Awol et al. (2024), who observed a comparatively high BD of 0.58 g/cc for samples with 17.6 % soybean, screw speed of 130 rpm, feed moisture of 11 % and barrel temperature of 130°C, while the minimum was 0.20 g/cc for extrusion conditions with 5 % soybean, screw speed of 130 rpm, feed moisture of 10 % and barrel temperature of 135°C. In addition, Altaf et al. (2021) mentioned that higher moisture content reduces dough elasticity by plasticizing the melt, which reduces gelatinization and decreases expansion, i.e., increases BD. Likewise, SILVA et al., (2014) found that moisture was the variable that most influenced density values with a positive effect, followed by grain content and their interaction. Therefore, higher feed composition and moisture content increase BD, while higher screw speed and barrel temperature reduce BD (Jabeen et al., 2021).

3.4. Water absorption index, water solubility index and Oil absorption index.

The values of the water absorption index (WAI) for the NEF and EF are shown in Table 2. It is observed that the NEF varied from 1.28 to 2.09 g/g ($p < 0.05$). Where F1 obtained the highest value, followed by similar values for F2 and F4, and a lower value for F3. WAI is defined as the ability of flour to absorb water and swell giving a desirable consistency and yield in the final product (Anberbir et al., 2024). Within carbohydrates, the presence of starch in flour causes it to swell in aqueous dispersion and gelatinize in high-heat treatment (Jain & Goomer, 2023). Cereals and legumes contain the highest amounts of carbohydrates and proteins compared to other food groups (JAIN; GOOMER, 2023). It was observed that the higher the percentage of cereal in the formulation, the higher the AAI values were, meaning that the presence of fiber and starch in the formulation could have positively affected the AAI. In this regard, some studies mentioned that the presence of fiber and starch in the feed composition also leads to higher hydration (Allai et al., 2023), as well as surfaces characteristics, surface area and particle microstructure (LIU et al., 2024). On the other hand, the low WAI values observed in F3 could have been influenced by higher protein content in the formulation whose pulse content was higher (Chickpea and bean - 70%), agreeing with that mentioned by KIOSSEOGLOU; PARASKEVOPOULOU; POOJARY, (2021), who found values as low as 0.6 and as high as 4.9 g/g for protein isolates or concentrates obtained from legumes such as chickpea, peas, beans or lentils, indicating that depending on the type of legume or variety influences the WAI. Likewise, water absorption depends on the availability of hydrophilic groups and gel deformation capacity, where results revealed that in whole wheat flour the gel formation capacity of starch was determinant in WAI than the presence of hydrophilic compounds such as fibers (OLIVEIRA et al., 2017).

During the evaluation of the influence of the extrusion conditions used (E1 and E2) on EF, differences were found ($p < 0.01$) (Table 03). It was observed that the WAI values with E1 varied from 3.85 to 5.39 g/g and with E2 varied from 2.92 to 4.26 g/g. Observing that with extrusion the WAI values in EF increased compared to NEF, agreeing with Oliveira et al. (2017), during the extrusion of whole wheat flour and corn flour. And with the influence of E1 the WAI values were higher than E2. Increasing the moisture content in the process, increases the WAI of extrudates (Altaf et al., 2021), inducing a plasticizing effect that delays shearing, reducing gelatinization and starch degradation (Dalbhagat & Mishra, 2019). In addition, it is observed that when pulse content is decreased and cereal content in the formulation is increased the WAI values increases attributing to the presence of starch agreeing with (Dalbhagat &

Mishra, 2019) who mentioned with higher amylose content, it showed higher values of WAI. While with the increase of pulse in the formulation decreases, coinciding with the reported by ALTAF et al., (2021), finding that, in extrudates based on rice and chickpea, the WAI decreased with the increase of chickpea in the mixture. On the other hand, studies have shown that there are interactions between starch and vegetable protein, which increase water absorption and retention capacity (SOTELO-DÍAZ et al., 2023).

Flour solubility is one of the functional properties that are usually determined during the development and testing of a new flour or flour composite (Awuchi et al., 2019). The obtained WSI values for NEF and EF are presented in Table 2, with differences existing ($p < 0.01$). For the NEF varied from 7.76 to 16.82%. It was observed that as the percentage of pulse in the formulation increases, the WSI increases, while with the increase of cereal it decreases. The highest WSI values were observed in the formulations containing higher percentages of chickpea and carioca bean ($> 40\%$), which could be attributed to the presence of soluble proteins present in this flour. The water solubility of a flour is a critical indicator of the degradation of molecular components, which measures the number of soluble components released from proteins and other molecules (Anberbir et al., 2024). As well as factors such as starch content and its crystalline structure, lipids and particle size.

During the evaluation of the influence of the extrusion conditions used (E1 and E2), it was observed that their WSI values increased. It is observed that with E1 it varied from 6.78 to 12.5%, and for E2 it varied from 17.84 to 25.94%. The influence of the parameters used in E2; the values were much higher than E1. The use of high moisture and low screw speed in E1 F2 obtained the lowest value, whose composition is higher with pearl millet, while the values increased for the remaining formulations. These values could be attributed to the presence of soluble proteins, degraded starch and to the extrusion parameters used such as high feed moisture (30%) and low screw speed (300 rpm). While the use of low humidity and high screw speed in E2 shows that, with the increase of rice flour in the formulation, WSI values increase, which can be attributed to the presence of degraded starch. Extrusion cooking at low humidity causes greater starch fragmentation, and also facilitates the formation of water-soluble molecules (Jabeen et al., 2021), since high moisture content produces a low WSI, plasticizing the extrusion material, reducing friction phenomena and achieving a protective effect on the flour constituents (Pasqualone et al., 2020), and also improves starch gelatinization and inhibits protein denaturation and starch degradation (Jabeen et al., 2021), and also improves the

gelatinization of starch and inhibits the denaturation of proteins and starch degradation (Jabeen et al., 2021). Downs et al. (2023) mentioned that high solubility values are generally associated with starch degradation, observing that increasing screw speed increases WSI, coinciding with JABEEN et al., (2021), where a higher screw speed leads to a rapid degradation of starch granules, reducing their molecular weight and increasing WSI. Likewise, Pasqualone et al. (2020) observed that WSI increases with increasing temperature and screw speed, since more severe thermo-mechanical conditions lead to a higher degree of dextrinization and that in less severe conditions or high lipid content they form complexes with amylose, reducing starch degradation. Then we can state that mentioned by SHARMA et al., (2017), who observed that the parameters used such as feed moisture and screw speed had a significant effect on the WSI of extrudates. In addition, the influence of feed composition is also of importance, and that could affect WSI values, where lower values can be attributed to lower starch, increased protein content (AWOL; KIDANE; BULTOSA, 2024; DOWNS et al., 2023), protein denaturation, and the formation of cross-links between starch and protein in extrudates (Dalbhagat & Mishra, 2019; Downs et al., 2023). For example, in the production of a snack, millet (20%), bean (16%), rice (10%) and soybean (16%) flours were blended, the extrusion parameters used were temperature (190 - 275°C), screw speed (60 - 110 rpm) and flour moisture (31.5%), in a single screw extruder. Where the WSI values were not affected by the interaction of the factors, not agreeing with other studies, as this effect could be attributed to the ingredients used, and that the influence of extrusion depended on the chemical composition of the raw materials (SRINIVAS JR, 2014).

The values of the oil absorption index of the HC and HE are shown in Table 2. Significant differences ($p \leq 0.05$) were found between the values obtained for the OAI of the HC, varying from 1.31 to 1.72 g/g. The high values of OAI could be attributed to a high protein content in the formulation, where the presence of a higher percentage of legume flour increased the OAI values, while decreasing its content resulted in low values. Other studies suggested that the ability of protein to bind to fat depends on its non-polar side chains, which contributes to higher OAI (AHN; KIM; NG, 2005; SHEVKANI et al., 2019). Likewise, ZHU et al., (2024) mentions that the OAI of proteins is determined by the ratio of hydrophilic to hydrophobic amino acids on the surfaces of protein particles. In addition, such increase could be related to the decrease of their bulk density (AHN; KIM; NG, 2005).

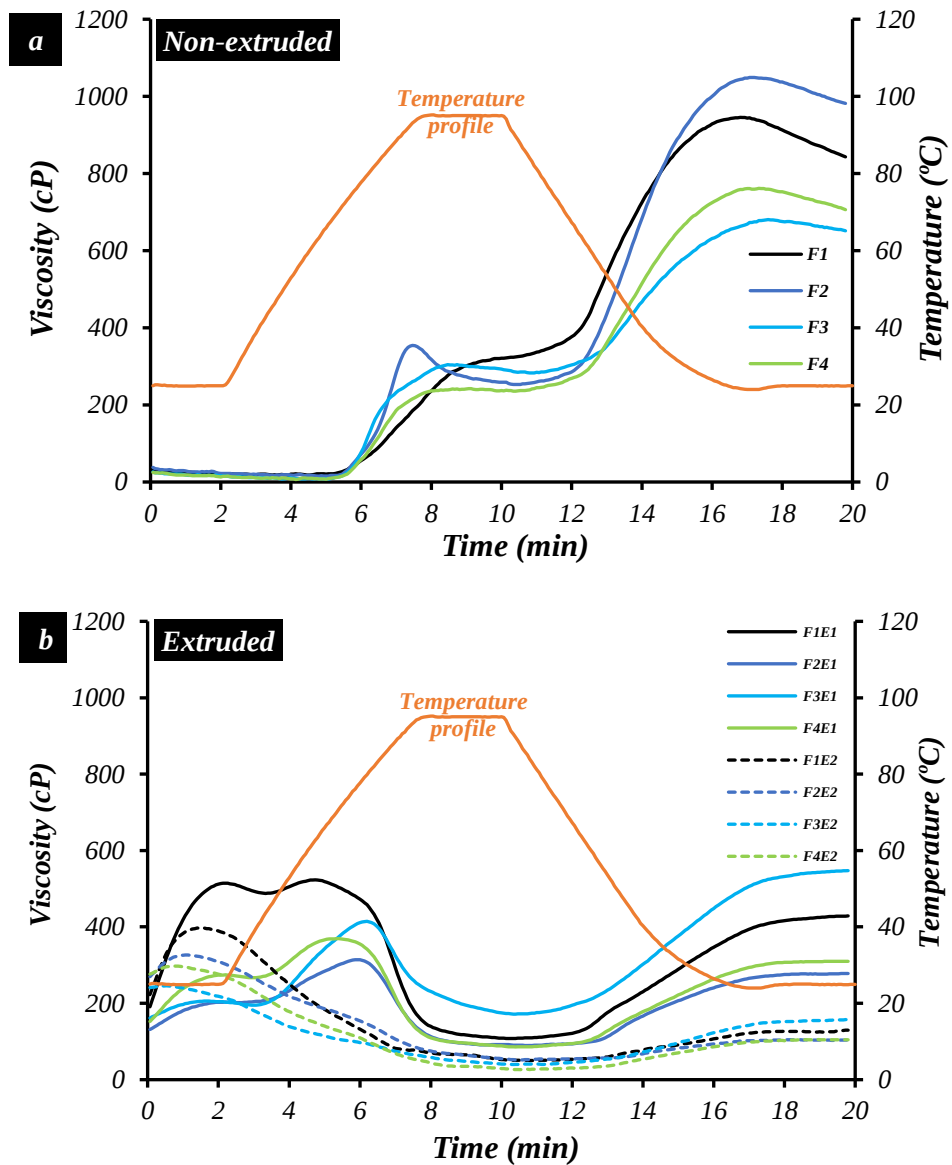
After the extrusion process, the effect of the conditions used (E1 and E2) on the OAI values was evaluated, which decreased for HE. The influence of E1 varied from 0.88 to 0.93 g/g, and E2 varied from 0.89 to 1.04 g/g. It can be observed that the F1 with a higher percentage of parboiled rice had a higher value of OAI under the effect of the two conditions, with respect to the others. In addition, it is shown that the OAI values obtained in E2 were slightly higher than in E1. This could be influenced by the use of low humidity, high screw speed and constant high temperature of 130°C, agreeing with LAZOU; KROKIDA, (2010) who mention that the OAI decreases with increasing humidity, because the degree of cooking of the extrudates decreases. Likewise, Sobowale et al. (2021), found that the OAI values increased when the feed moisture decreased (SOBOWALE; KEWUYEMI; OLAYANJU, 2021). On the other hand, studies mention that OAI is influenced by particle size, the amount of fiber, starch and protein in the powder, as well as it is also related to the presence of hydrophobic protein that is useful in lipid binding (Husnain Raza Kashif Ameer & Zhang, 2019).

3.5. Paste properties

The paste profiles of the raw blended flours (Figure 7) showed absence of cold viscosity for all formulations, as well as the absence of viscosity peaks for F1, F3 and F4, during the heating stage. However, the presence of a low intensity peak was found in F2, the formulation composed with the highest percentage of pearl millet. This could be attributed to the presence of fat, protein and fiber in the formulation affecting starch gelatinization. In addition, it was observed that during the cooling stage the final viscosity values increased, where F2 reached the highest values, followed by F1, F4 and F3. In this regard, Kahraman et al. (2018), found that, with cooling the starch molecules were rearranged causing an increase in viscosity, agreeing with ANBERBIR et al., (2024) who mentioned that the variation could be attributed to the kinetic effects of cooling on viscosity and the regrouping of starch molecules in flour samples. Likewise, Muñoz-Pabon et al. (2022) showed that after heating and the beginning of cooling, viscosity decreased, and after cooling it increased, and they also found that viscosity was higher in non-extruded flours than in extruded flours in obtaining extrudates based on corn, rice, corn starch and quinoa protein. In addition, it was observed that the formulations composed with chickpea flour, did not form PV and obtained the lowest values of FV during cooling with respect to the others, agreeing with KAHRAMAN et al., (2018) who mentioned that formulations with the mixture of rice flour with chickpea treated flours, showed low values for viscosity peaks and final viscosity, mainly attributing to the composition of the chickpea flour, which could produce a gel of lower strength slowing down the retrogradation of the paste.

After the extrusion process with the influence of E1, using parameters of constant temperature of 130°C, higher humidity and low screw speed, it is observed in the EF (Fig. 7b), the presence of cold viscosity (CV) varied from 202 to 506 cP, the formation of viscosity peaks (PV) varied from 318 to 527 cP, valley viscosity (HS) varied from 82 to 170 cP, and final viscosity (VF) varied from 279 to 546 cP. While, with the influence of E2, keeping the temperature constant, reducing the humidity and increasing the screw speed (Fig. 7c), they showed presence of cold viscosity (CV) that varied from 250 to 401cP, absence of viscosity peaks (PV), valley viscosity (HS) that varied from 23.5 to 49cP, and final viscosity (FV) that varied from 102 to 156cP. In the initial stage of RVA analysis at 25°C, in E1 and E2, high CV was found for F1, the compound with the highest percentage of parboiled rice, while for F2 (202cP), F3 (208cP) and F4 (273cP), the low values obtained with E1 increased with E2 to 329cP, 250cP and 301cP, respectively. In this regard Sandrin et al. (2018), mentioned that during the beginning of the analysis at 25°C, it is possible to find high viscosity itself that is below the gelatinization point. Likewise, the presence of PV was found in E1 and absence in E2, which could be attributed to the severity of the parameters used in E2, and that the presence of viscosity peak is dependent on the amount of damaged and gelatinized starch (Martinez et al., 2014), and partially gelatinized (SANDRIN et al., 2018). Meanwhile, Comettant-Rabanal et al. (2023) found that the presence of viscosity peaks in flours precooked by extrusion using relatively high humidity (27%), screw speed of 200 rpm and temperature of 70°C, indicated that the starch granules-maintained part of their granular structure with the capacity to absorb water. On the other hand, the decrease in peak viscosity after extrusion is related to a significant increase in starch damage, causing viscosity decrease (Jozinović et al., 2016). The decrease in PV magnitude reflects the increased degradation and gelatinization of starch, caused by increase in barrel temperature and screw speed (Dalbhagat & Mishra, 2019). In fact, high PV values of extrudates correspond to a higher fraction of non-gelatinized starch, while low values indicate a fraction of gelatinized starch (Dalbhagat & Mishra, 2019). Likewise, during the cooling stage, an increase in viscosity is observed in E1, which may be attributed to slight damage to the starch granules. According to Muñoz-Pabon et al. (2022) found that extrusion with parameters of 27% humidity, 140°C temperature and screw speed of 200 rpm caused less damage to the starch present and that its tendency to retrograde was lower, resulting in a reassociation between amylose molecules with gel formation and leading to an increase in viscosity during cooling in the precooked flours. However, in E2 we have a decrease in viscosity at the beginning and during the cooling stage, due to the severity of extrusion (Martinez et al., 2014), and that after cooling had a slight increase. During cooling, a reassociation of amylose molecules occurs,

forming gel leading to an increase in the viscosity of the extrudates (Jozinović et al., 2016). The observed increase in FV and SV was higher in E1, with respect to E2, attributed to the severity of extrusion. Also observing that the values of FV and SV in F3, increased with the influence of the two conditions, surpassing the other formulations. The observed reduction in FV and SV presents the extent of the effect on amylose chains, which could lose the ability to retrograde during cooling due to their fragmentation during extrusion (MARTÍNEZ et al., 2014). Higher values of SV indicate the higher tendency to retrograde (DALBHAGAT; MISHRA, 2019).



E1: First condition; E2: Second condition; F1: Parboiled rice (60), pearl millet (15), chickpeas (15), carioca beans (10); F2: Parboiled rice (15), pearl millet (60), chickpeas (15), carioca beans (10); F3: Parboiled rice (15), pearl millet (15), chickpeas (60), carioca beans (10); F4: Parboiled rice (30), pearl millet (30), chickpeas (30), carioca beans (10)

Figure 3. Paste properties profile on the non-extruded (a) and extruded (b) blended whole meal flour.

Anexo 6. Paste properties of non-extruded and extruded mixed wholemeal flours under two extrusion conditions.

Sample	Condition	TP	CV	PV	HS	BV	FV	SV
Non-extruded								
F1	NE	72.45 ± 1.55 ^a	32.50 ± 2.50 ^b	321.00 ± 6.00 ^c	319.50 ± 5.50 ^a	1.50 ± 0.50 ^d	843.50 ± 10.5 ^b	524.00 ± 5.00 ^b
F2	NE	73.53 ± 1.13 ^a	37.00 ± 7.00 ^a	354.50 ± 3.50 ^a	251.50 ± 2.50 ^c	103.00 ± 1.00 ^c	981.00 ± 4.00 ^a	729.50 ± 6.50 ^a
F3	NE	75.08 ± 0.42 ^a	27.00 ± 3.00 ^c	307.00 ± 2.00 ^c	280.50 ± 1.50 ^b	26.50 ± 0.50 ^b	650.00 ± 4.00 ^d	369.50 ± 2.50 ^d
F4	NE	75.50 ± 0.00 ^a	27.00 ± 3.00 ^c	244.50 ± 2.50 ^b	233.50 ± 4.50 ^c	11.00 ± 2.00 ^a	705.00 ± 5.00 ^c	471.50 ± 0.50 ^c
Extruded								
F1	E1	25.10 ± 0.00 ^{Aa}	506.00 ± 5.66 ^{Aa}	527.50 ± 9.19 ^{Aa}	47.00 ± 0.00 ^{Ba}	422.50 ± 9.19 ^{Aa}	427.50 ± 6.36 ^{Ba}	322.50 ± 6.36 ^{Ba}
F2	E1	25.13 ± 0.04 ^{Aa}	202.00 ± 5.66 ^{Cb}	318.00 ± 1.41 ^{Da}	49.00 ± 4.24 ^{Ca}	232.00 ± 2.83 ^{Cb}	279.00 ± 7.07 ^{BD}	193.00 ± 11.31 ^{Da}
F3	E1	25.10 ± 0.07 ^{Aa}	208.50 ± 9.19 ^{Cb}	419.50 ± 10.61 ^{Ba}	36.00 ± 7.07 ^{Aa}	249.50 ± 3.54 ^{Ca}	546.00 ± 1.41 ^{Aa}	376.00 ± 5.66 ^{Aa}
F4	E1	25.18 ± 0.04 ^{Aa}	273.00 ± 1.41 ^{Bb}	371.00 ± 2.83 ^{Ca}	23.50 ± 2.83 ^{Ca}	289.00 ± 0.00 ^{Ba}	309.00 ± 0.00 ^{Ca}	227.00 ± 2.83 ^{Ca}
F1	E2	25.15 ± 0.00 ^{Aa}	401.50 ± 6.16 ^{Ab}	393.50 ± 3.41 ^{Ab}	115.25 ± 0.00 ^{Ab}	346.50 ± 3.40 ^{Ab}	127.00 ± 1.41 ^{Bb}	80.00 ± 1.41 ^{Bb}
F2	E2	25.18 ± 0.04 ^{Aa}	329.50 ± 10.61 ^{Ba}	313.50 ± 2.12 ^{Ba}	38.00 ± 1.41 ^{Ab}	264.50 ± 3.54 ^{Ba}	102.50 ± 3.54 ^{Cb}	53.50 ± 2.12 ^{Cb}
F3	E2	25.13 ± 0.04 ^{Aa}	250.50 ± 7.78 ^{Ca}	222.00 ± 2.83 ^{Cb}	79.50 ± 1.41 ^{Bb}	186.00 ± 4.24 ^{Cb}	156.00 ± 0.00 ^{Ab}	120.00 ± 1.41 ^{Ab}
F4	E2	25.20 ± 0.00 ^{Aa}	301.50 ± 6.36 ^{Ba}	280.50 ± 4.95 ^{Bb}	29.25 ± 2.12 ^{Cb}	257.00 ± 2.83 ^{Bb}	104.50 ± 4.95 ^{Cb}	81.00 ± 2.83 ^{Bb}

NE: Not extruded; E1: First condition; E2: Second condition; F1: Parboiled rice (60), pearl millet (15), chickpeas (15), carioca beans (10); F2: Parboiled rice (15), pearl millet (60), chickpeas (15), carioca beans (10); F3: Parboiled rice (15), pearl millet (15), chickpeas (60), carioca beans (10); F4: Parboiled rice (30), pearl millet (30), chickpeas (30), carioca beans (10); TP: Paste temperature (°C); CV: Cold viscosity (cP); PV: peak viscosity (cP); HS: holding force (cP); BV: break viscosity (cP); FV: final viscosity (cP); SV: recoil viscosity (cP).

3.6. Color

Color can be determined by color measurement using the CIELAB system with values of lightness (L^*) and chromaticity coordinates (a^* and b^*), values ranging from 0 to 100 (Dark to light), from red to green (+a and -a) and from yellow to blue (+b to -b) (BOAKYE et al., 2023). For L^* , a^* and b^* values, differences were found in the NEF ($p < 0.05$). It was observed that for L^* values, it was found that F3 had more brightness (86.05), due to the chickpea content (60%), followed by similar values for F1 (82.2) and F4 (81.7), and less brightness for F2 (77.29) composed with pearl millet (60%). For the chromaticity values of a^* were positive, that is, coloration with a tendency to red due to the low values found, whose highest value was for F2 (1.06), followed by F4 (0.90), F1 (0.57) and finally F3 (0.05). And finally, the b^* chromaticity were positive, showing more yellowness for F3 (17.05), and similar values for F4 (15.57), F1 (15.32) and F2 (14.87). Increasing chickpea content within the formulation increases brightness (L^*) and yellowness (+ b^*), while increasing millet content decreases brightness and yellowness, but increases redness in the formulation.

Table 4. Color parameters of non-extruded and extruded samples

Sample	Condition	L^*	a^*	b^*	ΔE
Non-extruded samples					
F1	NE	82.20 ± 0.3^b	0.57 ± 0.02^c	15.32 ± 0.45^b	-
F2	NE	77.29 ± 0.48^c	1.06 ± 0.02^a	14.87 ± 0.88^b	-
F3	NE	86.05 ± 0.38^a	0.05 ± 0.02^d	17.05 ± 0.24^a	-
F4	NE	81.70 ± 0.28^b	0.90 ± 0.03^b	15.57 ± 0.22^b	-
Extruded samples					
F1	E1	82.70 ± 0.74^{Ba}	0.77 ± 0.08^{Bb}	16.46 ± 0.67^{Db}	2.78 ± 0.33^{Bb}
F2	E1	76.85 ± 0.42^{Da}	1.19 ± 0.04^{Ab}	17.44 ± 0.22^{Cb}	3.74 ± 0.19^{Ab}
F3	E1	83.41 ± 0.44^{Aa}	0.19 ± 0.05^{Cb}	20.09 ± 0.36^{Aa}	4.07 ± 0.81^{Aa}
F4	E1	80.00 ± 0.49^{Ca}	0.85 ± 0.03^{Bb}	18.66 ± 0.21^{Ba}	3.42 ± 0.4^{ABb}
F1	E2	82.01 ± 0.28^{Bb}	1.48 ± 0.05^{Ba}	17.93 ± 0.33^{Ca}	1.55 ± 0.32^{Ca}
F2	E2	76.55 ± 0.44^{Da}	1.80 ± 0.07^{Aa}	18.43 ± 0.26^{BCa}	2.64 ± 0.27^{Ba}
F3	E2	83.01 ± 0.32^{Aa}	0.53 ± 0.02^{Da}	19.71 ± 0.41^{Aa}	4.03 ± 0.53^{Aa}
F4	E2	80.44 ± 0.51^{Ca}	1.38 ± 0.11^{Ca}	18.67 ± 0.26^{Ba}	3.56 ± 0.34^{Aa}

For each parameter, different letters indicate significant differences at $p < 0.05$

E1: First condition; E2: Second condition; F1: Parboiled rice (60), pearl millet (15), chickpeas (15), carioca beans (10); F2: Parboiled rice (15), pearl millet (60), chickpea (15), carioca bean (10); F3: Parboiled rice (15), pearl millet (15), chickpeas (60), carioca beans (10); F4: Parboiled rice (30), pearl millet (30), chickpeas (30), carioca beans (10)

The use of high temperatures in the extrusion process causes the food to undergo some degree of cooking depending on the parameters used, influencing the color change in the final product. Comparing the color change before and after the extrusion process helps to determine the impact of cooking on the product ingredients (Alam et al., 2016). After the extrusion process, the influence of extrusion conditions (E1 and E2) on color determination in HE was evaluated, finding differences ($p < 0.05$). The values of L^* with the influence of E1 varied from 76.85 to 83.41, for chromaticity a^* varied from 0.19 to 1.19 and for chromaticity b^* varied from 16.44 to 20.09. While, with the influence of E2, the values of L^* varied from 76.55 to 83.01, for chromaticity a^* varied from 0.53 to 1.8 and for chromaticity b^* varied from 17.93 to 19.71. It was observed that L^* was not affected by the conditions used, while with the influence of E2 the values of a^* increased for each formulation with respect to E1, and the conditions influenced b^* increasing the yellowness in F3 and F4 because of the chickpea content. That is, HE after extrusion maintains brightness and slightly increased yellowness, with increased redness, influenced by chickpea and pearl millet flour in the formulation. In addition, the pearl millet flour content in the formulation decreases the brightness and increases the redness of the flour. In this regard, ALAM et al., (2016), investigated color changes in corn grits extrusion, using CIELab color system, finding that L^* and chromaticity a^* , mainly depended on barrel temperature, feed moisture and feed rate, while chromaticity b^* slightly depended on extrusion variables. So, the color change is mostly affected by the formulation composition and extrusion process conditions (Dalbhagat et al., 2019). In addition, it is known that many reactions occur during the extrusion process that affect the color of the extrudate, such as non-enzymatic browning (e.g., Maillard and caramelization reaction) (DALBHAGAT; MAHATO; MISHRA, 2019; PASQUALONE et al., 2020) and pigment degradation (DALBHAGAT; MAHATO; MISHRA, 2019). And that low humidity conditions with high temperature enhance the Maillard reaction that changes the color of the product, while at higher humidity the effect of high temperature is less significant, also the screw speed affects negatively as it influences the residence time (Dalbhagat et al., 2019). On the other hand, Allai et al. (2023), observed that the extrusion process with an increase in humidity and barrel temperature caused a reduction in L^* and an increase in a^* and b^* .

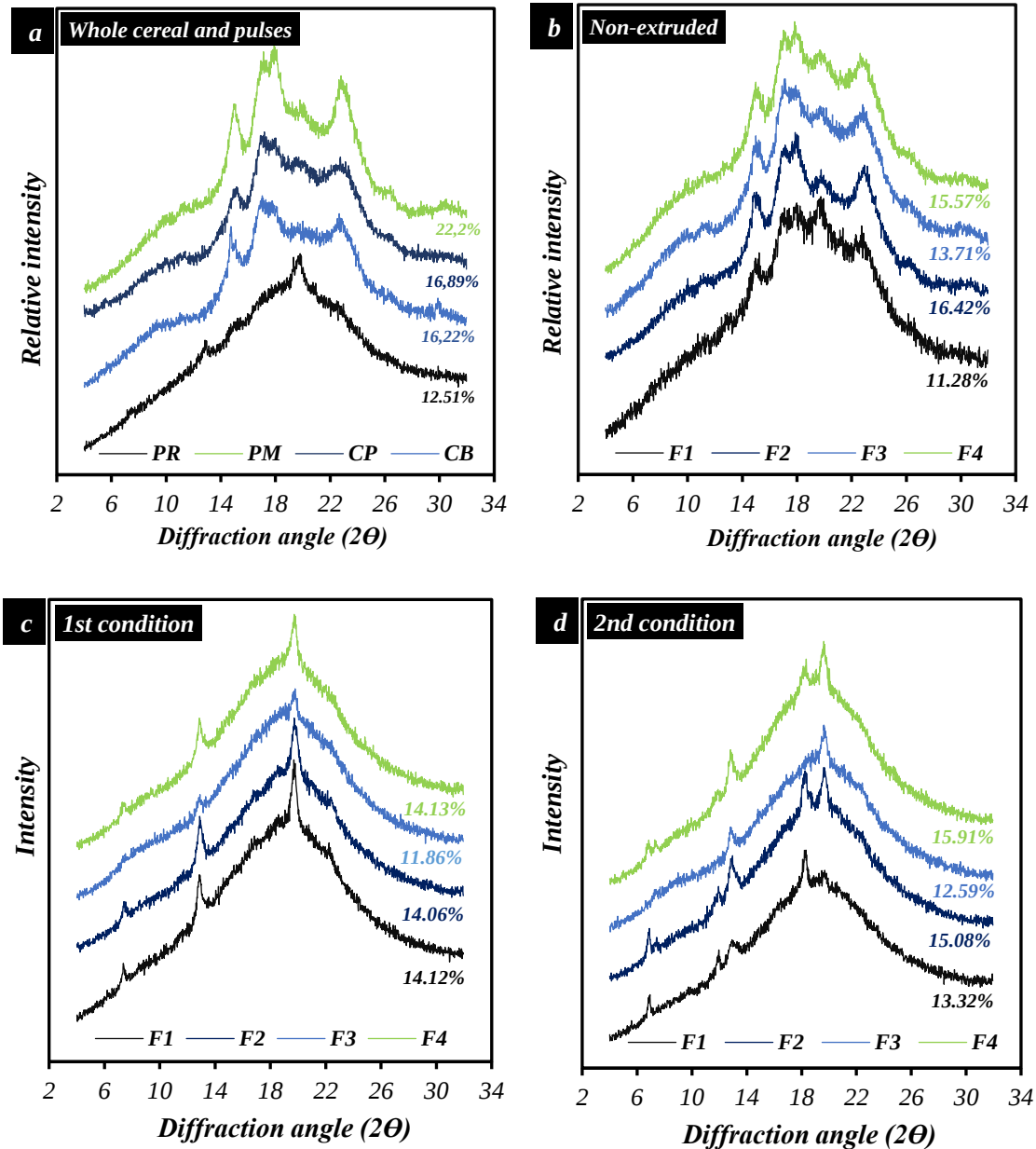
The total color change (ΔE), which is observed by comparing the effect of the extrusion conditions used in obtaining extruded flours with non-extruded flours, mostly obtained values greater than 2.5, only for F1 influenced under E2 obtained a lower value (1.55) due to the effect of the severity of the extrusion parameters used where the brightness decreased compared to

the value of the non-extruded flour. The effect of extrusion parameters and application of various raw materials on the color of extruded products was the subject of numerous investigations where the color change was attributed to the various reactions which basically include Maillard reaction, caramelization, hydrolysis and pigment degradation (JOZINOVIĆ et al., 2016). Meanwhile, MUÑOZ-PABON et al., (2022) found values higher than 6 in extrudates based on rice flour, corn, corn starch and treated quinoa protein. Furthermore Jozinović et al. (2016) mentioned that color difference higher than 3 is perceived by the majority of the population and if the color difference is higher than 6, it is clear that the colors belong to different color groups.

3.7. X-ray diffraction

The diffractogram profiles whole grains and pulses raw and extruded in two process conditions are displayed in Fig. 6. This technique allows to analyze the crystalline structure of starch (Wang et al., 2020), containing crystalline and amorphous regions (Brij Lal Karwasra & Kaur, 2017). Where for each specific type of starch, a specific XRD pattern is obtained and existing three types of starch crystal structure (A, B and C) which has its own pattern (WANG et al., 2020). It is observed that the diffractograms of native starches for pearl millet, chickpea and carioca bean, present peaks of different intensity at angles 15°, 17°, 18° and 23°, agreeing with Vanier et al. (2016) who found in native bean starch with 35% amylose content presented a C-type crystalline structure, with main peaks at the diffraction angles of 5.6°, 15°, 17°, 18° and 23° 2 θ . While the parboiled rice presents two low intensity peaks at angles 13° and 19.8°, whose presence could be attributed to the heat treatment causing damage to the starch granules of parboiled rice. The soaking and heating conditions affect the starch granules to the extent of achieving gelatinization which modifies the characteristics of rice starch in particular the glass transition temperature and crystallinity (MUCHLISYIYAH et al., 2023). The relative crystallinity (RC) values for MP were 22.2, followed by GB with 16.89, FC with 16.22 and AP with 12.51. Observing that high values in crystallinity could be associated with particle size, as mentioned by (HUSNAIN RAZA KASHIF AMEER; ZHANG, 2019), that smaller size samples presented higher CR in non-extruded Chickpea flours. Meanwhile the diffraction peaks found in the studied NEF had a typical A-type crystal structure, with the main diffraction peaks around angles 15, 17, 18, 19.8 and 23° (2 θ), agreeing with that reported by (ALLAI et al., 2023; BRIJ LAL KARWASRA; KAUR, 2017). The CR of the formulations varied between 11.28 and 16.42%; F1 showed the lowest value and F2 the highest. It was observed that, in some of the

HCs, the intensity of some peaks was of lower intensity, corroborating the lower CR values of starches in these.



E1: First condition; E2: Second condition; F1: Parboiled rice (60), pearl millet (15), chickpeas (15), carioca beans (10); F2: Parboiled rice (15), pearl millet (60), chickpeas (15), carioca beans (10); F3: Parboiled rice (15), pearl millet (15), chickpeas (60), carioca beans (10); F4: Parboiled rice (30), pearl millet (30), chickpeas (30), carioca beans (10)

Figure 4. Diffraction and peaks of crystallinity of the used whole grains and pulses (a) e non-extruded flours, (b) extruded flours with a first (c) and second condition (d).

Compared to NEF, EF processed at extrusion conditions with constant temperature (130 °C), two screw speeds (E1:300 and E2:600 rpm) and with variable moisture content (E1:30% to E2:18%). The effect of E1 showed diffraction peaks at 7.4°, 13° and 19.8°, with

the peak at 19.8° being the main peak in all formulations, and where the RC values ranged from 11.8 to 14.13%. While that of the E2, showed diffraction peaks at 6.8°, 12, 13°, 18.4° and 19.8°, with the peak at 13° being the main peak in all formulations, and the RC values ranged from 12.59 to 15.91%. It was observed that the extrusion showed a decrease in relative crystallinity with the extrusion conditions, with respect to the NEF, agreeing with what was observed by HUSNAIN RAZA KASHIF AMEER; ZHANG, (2019) in chickpea extrudates. During the extrusion process, mechanical heating and shearing can modify the structure of starch granules, causing the loss of the native crystalline structure of the starch. Parameters such as reduced humidity, use of high temperatures and increased screw speed negatively affect crystallinity (ALLAI et al., 2023). After the extrusion process under the two conditions, the peaks corresponding to angles 15, 18 and 23° disappeared, which indicates the loss of crystallinity of type A, as found by Cueto et al. (2018). In Figure 8, after extrusion, the presence of the peak formation at angle 19.8° is observed, giving rise to type V structures with formation of amylose-lipid complexes (SHAIKH et al., 2020), coinciding with what was found by CUETO et al., (2018), which mentions it could correspond to type V, which can be generated by the use of high temperatures, after starch gelatinization.

3.8. Total polyphenols content

The quantification of total polyphenols (TPC) is shown in Table 5. It is observed that among the whole grains and pulses used for the formulations, the highest TPC values were for CB with 508.35 mg GAE/100g and PM with 296.42 mg GAE/100g. It was noted that these whole cereal grains and pulses are the ones that contribute the highest content of phenolic compounds to the formulations. In this regard PATIL ; KAUR (2018), mention that whole grains, millets and pulses are perfect sources of biologically active compounds, such as phenolics and flavonoids that have been shown to have beneficial health effects. Within the NEF formulations the TPC varied from 102.5 to 284.9 mg GAE/100g. Observing that the highest value was for F2, composed by higher percentage of pearl millet, which after the extrusion process was reduced to 273 mg GAE/100g with the influence of E1, and to 238 mg GAE/100g with E2. The variation and arrangement of phenolic compounds in the formulations can be attributed to differences in the extrusion conditions used, as well as by differences in particle size that facilitate their extraction (ZHANG et al., 2018). ALTAN et al. (2009) mentioned that the high temperature used in extrusion can alter the molecular structure of phenolic compounds reducing their chemical reactivity or extraction, causing loss of their antioxidant property.

Table 5. Determination of TPC, antioxidant activity (ABTS+ and DPPH), on the whole cereals and pulses flours, non-extruded and extruded blended whole meal flour.

Sample	Condition	TPC	ABTS+	DPPH
PR	RF	19.37 ± 1.01 ^d	1.86 ± 0.10 ^d	-
PM	RF	296.42 ± 4.64 ^b	6.98 ± 0.15 ^b	-
CP	RF	60.25 ± 1.78 ^c	3.06 ± 0.15 ^c	-
CB	RF	508.35 ± 7.59 ^a	18.43 ± 0.14 ^a	-
F1	NE	102.53 ± 1.52 ^c	4.39 ± 0.39 ^c	-
F2	NE	284.91 ± 20.22 ^a	13.20 ± 1.00 ^a	9.94 ± 0.75 ^a
F3	NE	139.85 ± 6.59 ^b	4.19 ± 0.05 ^c	-
F4	NE	134.00 ± 2.11 ^b	5.51 ± 0.09 ^b	-
F2	E1	273.00 ± 11.11 ^a	11.62 ± 0.60 ^a	5.76 ± 0.44 ^b
F2	E2	238.31 ± 15.23 ^b	10.92 ± 0.23 ^b	5.29 ± 0.68 ^b

PR: Parboiled rice; PM: Pearl millet; CP: chickpea; CB: Carioca beans; RF: raw flour; NE: Non-extruded; E1: first condition; E2: Second condition; F1: Parboiled rice (60), Pearl millet (15), chickpea (15), Carioca beans (10); F2: Parboiled rice (15), Pearl millet (60), chickpea (15), Carioca beans (10); F3: Parboiled rice (15), Pearl millet (15), chickpea (60), Carioca beans (10); F4: Parboiled rice (30), Pearl millet (30), chickpea (30), Carioca beans (10); TPC, total polyphenols content;

3.9. Antioxidant activity ABTS+ and DPPH

The higher TPC value found in F2, compared to the other non-extruded formulations (table 5), allowed us to perform the determination of antioxidant activity finding values of 13.2 µmol TE/g in ABTS+ and 9.94 µmol TE/g in DPPH. Those values after extrusion were reduced to 11.62 µmol TE/g in ABTS+ and 5.76 µmol TE/g DPPH with the influence of E1, and values of 10.92 µmol TE/g in ABTS+ and 5.29 µmol TE/g DPPH with E2. The influence of the parameters used in the extrusion conditions reduced the antioxidant property. In this regard ALTAN et al. (2009), mentioned that the disadvantage of natural antioxidants is their low resistance to high temperatures, and that heating to more than 80°C, destroys their antioxidant properties, attributed to evaporation as decomposition at elevated temperatures. Likewise, PATIL ; KAUR (2018) mentioned that a study using brown rice revealed that increasing temperature in extrusion decreased total phenolic content and antioxidant activity.

3.10. Emulsifying capacity and emulsion stability

Differences were found in the determination of emulsifying capacity (EC) and emulsion stability (ES) in the non-extruded flours (Fig. 8). The EC values were 19.67 (F4), 10.71 (F3),

10.51 (F2) and 9.97 (F1) expressed m2/g. While the ES shows the superiority of F2 (81.05%), followed by F3 (79.60%), F1 (68.60%) and finally F4 (52.22%). The differences in the emulsifying properties of proteins can be related to their solubility and conformational stability, those with lower solubility present lower EC and the highest ES (KAUSHAL et al., 2012). In addition, in a general way, the emulsifying activities of proteins are affected by their molar mass, hydrophobicity, conformational and charge stability and physicochemical factors such as pH, ionic strength and temperature (WANI et al., 2015).

After the extrusion process in the evaluation of EC with the influence of E1, similar values were observed for F1 (17.93) and F4 (17.9), as well as for F2 (15.36) and F3 (15.80). These values were reduced with the influence of E2, where the value of F1 (17.32) was higher in this condition, followed by F2 (16.23), F4 (13.64) and the lowest value for F3 (8.35). On the other hand, during the evaluation of the ES in the EFs, with the influence of E1, higher ES was found in F2 (76.72%), followed by F3 (56.28%), F4 (55.69%) and finally F4 (51.11%). While, with the influence of E2, higher ES was found in F3 (87.06%), followed by F4 (56.3%), F2 (48.34%) and finally F1 (43.15%). The influence of extrusion conditions positively affected EC, with the exception of F4 with E1. While, with the severity of E2, it showed a negative effect for F1, F4 and F3, with the exception of F2 which increased with this condition, compared to the EC values of E1. However, after extrusion, a negative effect on SE was observed, with the exception of F4, which improved its SE with the influence of E1. While, with E2, they reduced the ES values in F1 and F2, but positively affected F3 and F4. Possibly due to the influence of particle size and protein solubility, due to a higher pulse content in the formulation (CP 60% and CB 10%). In this regard, SINGH ; KOKSEL (2021), observed that the EC values increased with the fractions of small particles produced at FM 27 and 110°C and medium particles produced at FM 15 and 110°C. In addition, they mention that high protein solubility is required to obtain good emulsification properties, as it would help migrate protein molecules at the oil-water interface, favoring binding. The reduction in protein solubility after the extrusion process may be the cause of reduced emulsion properties as observed in soybean extrusion (SINGH ; KOKSEL, 2021). Likewise, SINGH ; KOKSEL (2021), recommend that the use of lower temperatures during extrusion cooking could open opportunities in the production of ingredients with better emulsifying properties.

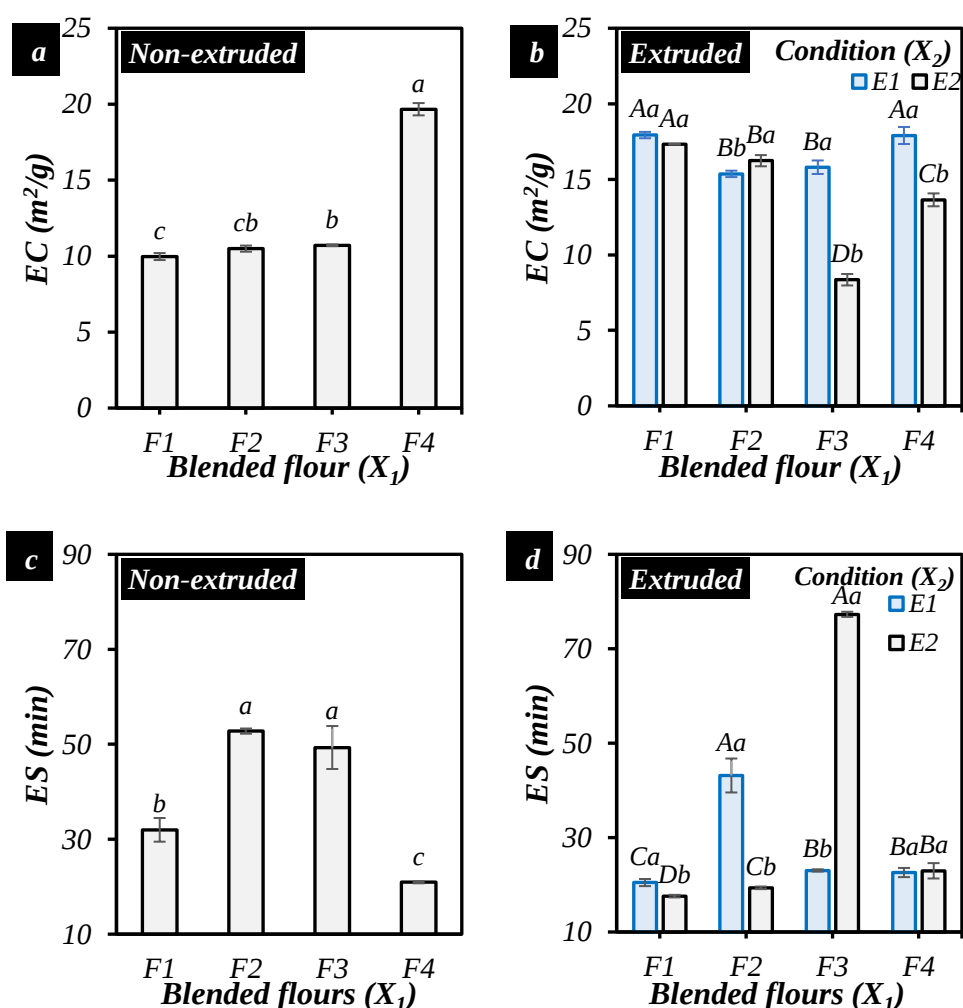


Figure 6. Emulsion capacity of the non-extruded (a) and the extruded (b), emulsion stability of the non-extruded (c) and the extruded (d), blended whole meal flour.

3.11. Foaming capacity and foaming stability

The foaming capacity (FC) for non-extruded flours was 28.89 (F1), 33.33 (F4), 37.78 (F2) and 40 (F3) expressed in percentage (Fig. 5). FC is certainly related to the soluble protein content, being able to reduce the surface tension between the surrounding air and liquid bubbles (WANI et al., 2015). The difference in the content and difference between the proteins in the flour, can influence the FC. This property in flour has always been due to proteins, because they form a cohesion between air bubbles bound together (KAUSHAL et al., 2012). On the other hand, no FC was observed in the EFs with the influence of E1, while with E2, low levels of FC were found in F3 and F4. The foaming stability (FS) could be measured in the NEFs because of the FC that these flours presented, while in the EFs the foams were very unstable under the extrusion conditions used. During the measurement of FS in rice extrusion, very unstable foams

were found that made it impossible to measure, with the exception of the flour extruded at high temperature conditions (MARTÍNEZ et al., 2014).

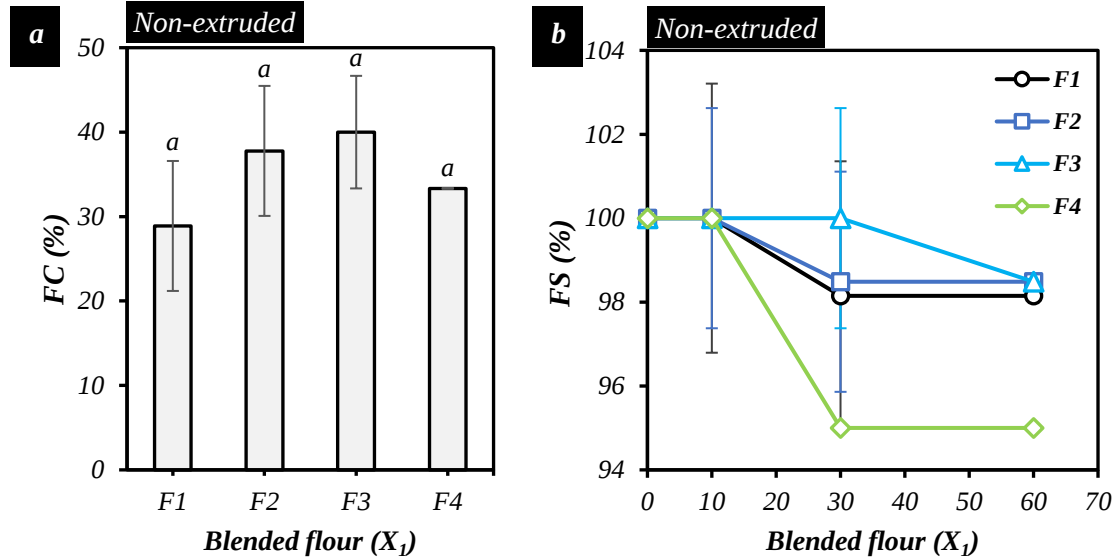


Figure 7. Foaming capacity of the non-extruded (e) and foaming stability of the non-extruded (f), blended whole meal flour.

4. CONCLUSION

The formulations from the mixture of cereals (parboiled rice and pearl millet) and pulses (chickpea and carioca bean) were subjected to two extrusion cooking conditions. The physico-mechanical, functional and antioxidant properties of the whole grain flours were influenced by the parameters of the extrusion conditions used. Torque and EMS were superior with E2. BD, WAI, WSI increased after the extrusion process, with some exceptions in E1 in WSI. A reduction of PSD fractions was found, obtaining finer fractions with the two conditions. OAI had a significant reduction after extrusion, as well as viscosity values, finding more damage to starch granules with E2. Extrusion cooking produced changes in flour color, reduced L^* values, and increased a^* and b^* values. EC improved with extrusion and ES was negatively affected by the effect of the conditions, with the exception of F3. FC was present in NEF, and very unstable foams not measurable after extrusion. Millet and carioca bean contributed phenolic compounds to F2, obtaining higher TPC, and antioxidant activity, whose values were minimally reduced after extrusion. The optimization of flour from whole grains (pearl millet) and pulses, and studies of extrusion cooking with temperatures below 130°C, can be suggested as a good strategy for the production of precooked flour with higher phenolic content, antioxidant activity and potential health benefits.

5. REFERENCES

- Ahn, H. J., Kim, J. H., & Ng, P. K. W. (2005). Functional and Thermal Properties of Wheat, Barley, and Soy Flours and Their Blends Treated with a Microbial Transglutaminase. *Journal of Food Science*, 70(6), c380–c386. [https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb11433.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb11433.x)
- Ajita Tiwari, S. K. J. (2017). Extrusion cooking technology: Principal mechanism and effect on direct expanded snacks – An overview. *International Journal of Food Studies*, 6(1), 113–128. <https://doi.org/10.7455/ijfs/6.1.2017.a10>
- Alam, M. S., Kaur, J., Khaira, H., & Gupta, K. (2016). Extrusion and Extruded Products: Changes in Quality Attributes as Affected by Extrusion Process Parameters: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(3), 445–473. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.779568>
- Ali, S., Singh, B., & Sharma, S. (2017). Development of high-quality weaning food based on maize and chickpea by twin-screw extrusion process for low-income populations. *Journal of Food Process Engineering*, 40(3), e12500. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jfpe.12500>
- Allai, F. M., Junaid, P. M., Azad, Z. R. A. A., Gul, K., Dar, B. N., Siddiqui, S. A., & Manuel Loenzo, J. (2023). Impact of moisture content on microstructural, thermal, and techno-functional characteristics of extruded whole-grain-based breakfast cereal enriched with Indian horse chestnut flour. *Food Chemistry: X*, 20, 100959. <https://doi.org/10.1016/J.FOCHX.2023.100959>
- Altaf, U., Hussain, S. Z., Qadri, T., Iftikhar, F., Naseer, B., & Rather, A. H. (2021). Investigation on mild extrusion cooking for development of snacks using rice and chickpea flour blends. *Journal of Food Science and Technology*, 58(3), 1143–1155. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04628-7>
- Anberbir, S. M., Satheesh, N., Abera, A. A., Kassa, M. G., Tenagashaw, M. W., Asres, D. T., Tiruneh, A. T., Habtu, T. A., Sadik, J. A., Wudineh, T. A., & Yehuala, T. F. (2024). Evaluation of nutritional composition, functional and pasting properties of pearl millet, teff, and buckwheat grain composite flour. *Applied Food Research*, 4(1), 100390. <https://doi.org/10.1016/J.AFRES.2024.100390>
- ANDERSON, R. A., CONWAY, H. F., PFEIFER, V. F., & GRIFFIN, E. L. (1969). gelatinization of corn grits by roll- and extrusion-cooking. *cereal science today*, 14(1), 4-.
- Awol, S. J., Kidane, S. W., & Bultosa, G. (2024). The effect of extrusion condition and blend proportion on the physicochemical and sensory attributes of teff-soybean composite flour

gluten free extrudates. Measurement: Food, 13, 100120.
<https://doi.org/10.1016/J.MEAFOO.2023.100120>

Azeem, M., Mu, T.-H., & Zhang, M. (2021). Influence of particle size distribution on nutritional composition, microstructural and antioxidant properties of orange and purple-fleshed sweet potato flour. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(4), e15283. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jfpp.15283>

Boakye, P. G., Okyere, A. Y., Bharathi, R., Murai, T., & Annor, G. A. (2023). Physicochemical and nutritional properties of extruded products from cereals of the Triticeae tribe – A review. *Food Chemistry Advances*, 3, 100379. <https://doi.org/10.1016/J.FOCHA.2023.100379>

Brij Lal Karwasra, B. S. G., & Kaur, M. (2017). Rheological and structural properties of starches from different Indian wheat cultivars and their relationships. *International Journal of Food Properties*, 20(sup1), S1093–S1106. <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1328439>

Carvalho, C. W. P., Takeiti, C. Y., Onwulata, C. I., & Pordesimo, L. O. (2010). Relative effect of particle size on the physical properties of corn meal extrudates: Effect of particle size on the extrusion of corn meal. *Journal of Food Engineering*, 98(1), 103–109. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2009.12.015>

Comettant-Rabanal, R., Hidalgo Chávez, D. W., Ascheri, J. L. R., Elías-Peñafiel, C., & Carvalho, C. W. P. (2023). Functionality of pre-cooked whole-grain corn, rice and sorghum flours for gluten-free bread. *International Journal of Food Science & Technology*, 58(11), 5781–5795. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/ijfs.16676>

Cristiano, M. C., Froiio, F., Costanzo, N., Poerio, A., Lugli, M., Fresta, M., Britti, D., & Paolino, D. (2019). Effects of flour mean particle size, size distribution and water content on rheological properties of wheat flour doughs. *European Food Research and Technology*, 245(9), 2053–2062. <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03315-y>

Cueto, M., Farroni, A., Rodríguez, S. D., Schoenlechner, R., Schleining, G., & del Pilar Buera, M. (2018). Assessing Changes in Enriched Maize Flour Formulations After Extrusion by Means of FTIR, XRD, and Chemometric Analysis. *Food and Bioprocess Technology*, 11(8), 1586–1595. <https://doi.org/10.1007/s11947-018-2113-6>

Dalbhat, C. G., Mahato, D. K., & Mishra, H. N. (2019). Effect of extrusion processing on physicochemical, functional and nutritional characteristics of rice and rice-based products: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 85, 226–240. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.01.001>

- Dalbhat, C. G., & Mishra, H. N. (2019). Effects of extrusion process conditions on system parameters; physicochemical properties and cooking characteristics of extruded fortified rice kernels. *Journal of Cereal Science*, 89, 102782. <https://doi.org/10.1016/J.JCS.2019.05.016>
- Dodds, J. (2013). Techniques to analyse particle size of food powders. *Handbook of Food Powders: Processes and Properties*, 309–338. <https://doi.org/10.1533/9780857098672.2.309>
- Doğan, H., & Karwe, M. V. (2003). Physicochemical properties of quinoa extrudates. *Food Science and Technology International*, 9(2), 101–114. <https://doi.org/10.1177/1082013203009002006>
- dos Santos, T. B., da Silva Freire Neto, R., Collantes, N. F., Chávez, D. W. H., Queiroz, V. A. V., & de Carvalho, C. W. P. (2023). Exploring starches from varied sorghum genotypes compared to commercial maize starch. *Journal of Food Process Engineering*, 46(10), e14251. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jfpe.14251>
- Downs, B., Skrzypczak, K., Richter, J. K., Krajka, T., Ikuse, M., Bernin, J. B., & Ganjyal, G. M. (2023). Influence of legume-derived proteins with varying solubility on the direct expansion of corn starch during twin-screw extrusion processing. *Journal of Food Science*, 88(10), 4169–4179. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16730>
- Duguma, H. T., Forsido, S. F., Belachew, T., & Hensel, O. (2021). Changes in Anti-nutritional Factors and Functional Properties of Extruded Composite Flour. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.713701>
- Husnain Raza Kashif Ameer, F. Z. H. R. S. B. A. M. S. W. A., & Zhang, L. (2019). Effects of ball-milling on physicochemical, thermal and functional properties of extruded chickpea (*Cicer arietinum* L.) powder. *CyTA - Journal of Food*, 17(1), 563–573. <https://doi.org/10.1080/19476337.2019.1617352>
- Jabeen, A., Naik, H. R., Jan, N., Hussain, S. Z., Shafi, F., & Amin, T. (2021). Numerical optimization of process parameters of water chestnut flour incorporated corn-based extrudates: Characterizing physicochemical, nutraceutical, and storage stability of the developed product. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(7), e15569. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jfpp.15569>
- Jain, R., & Goomer, S. (2023). Understanding extrusion technology for cereal–pulse blends: A review. *Cogent Food & Agriculture*, 9(1), 2253714. <https://doi.org/10.1080/23311932.2023.2253714>

- Jozinović, A., Šubarić, D., Ačkar, D., Babić, J., & Miličević, B. (2016). Influence of spelt flour addition on properties of extruded products based on corn grits. *Journal of Food Engineering*, 172, 31–37. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2015.04.012>
- Kahraman, G., Harsa, S., Lucisano, M., & Cappa, C. (2018). Physicochemical and rheological properties of rice-based gluten-free blends containing differently treated chickpea flours. *LWT*, 98, 276–282. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2018.08.040>
- Kharat, S., Medina-Meza, I. G., Kowalski, R. J., Hosamani, A., Ramachandra, C. T., Hiregoudar, S., & Ganjyal, G. M. (2019). Extrusion processing characteristics of whole grain flours of select major millets (foxtail, finger, and pearl). *Food and Bioproducts Processing*, 114, 60–71. <https://doi.org/10.1016/J.FBP.2018.07.002>
- Kiosseoglou, V., Paraskevopoulou, A., & Poojary, M. M. (2021). Functional and physicochemical properties of pulse proteins. *Pulse Foods: Processing, Quality and Nutraceutical Applications*, 113–146. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818184-3.00006-4>
- Lagnika, C., Houssou, P. A. F., Dansou, V., Hotegni, A. B., AMOUSSA, A. M. O., Kpotouhedo, F. Y., Doko, S. A., & Lagnika, L. (2019). Physico-Functional and Sensory Properties of Flour and Bread Made from Composite Wheat-Cassava. *Pakistan Journal of Nutrition*, 18(6), 538–547. <https://doi.org/10.3923/pjn.2019.538.547>
- Lazou, A., & Krokida, M. (2010). Functional properties of corn and corn–lentil extrudates. *Food Research International*, 43(2), 609–616. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2009.09.017>
- Liu, Y., Shen, W., Jin, W., Li, F., Chen, X., Jia, X., & Cai, H. (2024). Physicochemical characterization of a composite flour: Blending purple sweet potato and rice flours. *Food Chemistry: X*, 101493. <https://doi.org/10.1016/J.FOCHX.2024.101493>
- Mamat, H., Masri, N., H., N., Zainol, K., & Akanda, Md. J. (2020). Functional properties of composite flour: a review. *Food Research*, 4, 1820–1831. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.4\(6\).419](https://doi.org/10.26656/fr.2017.4(6).419)
- Martínez, M. M., Calviño, A., Rosell, C. M., & Gómez, M. (2014). Effect of Different Extrusion Treatments and Particle Size Distribution on the Physicochemical Properties of Rice Flour. *Food and Bioprocess Technology*, 7(9), 2657–2665. <https://doi.org/10.1007/s11947-014-1252-7>
- Muchlisyyah, J., Shamsudin, R., Kadir Basha, R., Shukri, R., How, S., Niranjana, K., & Onwude, D. (2023). Parboiled Rice Processing Method, Rice Quality, Health Benefits, Environment, and Future Perspectives: A Review. *Agriculture*, 13(7). <https://doi.org/10.3390/agriculture13071390>

Muñoz-Pabon, K. S., Parra-Polanco, A. S., Roa-Acosta, D. F., Hoyos-Concha, J. L., & Bravo-Gomez, J. E. (2022). Physical and Paste Properties Comparison of Four Snacks Produced by High Protein Quinoa Flour Extrusion Cooking. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.852224>

Oliveira, L. C., Barros, J. H. T., Rosell, C. M., & Steel, C. J. (2017). Physical and thermal properties and X-ray diffraction of corn flour systems as affected by whole grain wheat flour and extrusion conditions. *Starch - Stärke*, 69(9–10), 1600299. <https://doi.org/10.1002/star.201600299>

Pasqualone, A., Costantini, M., Coldea, T. E., & Summo, C. (2020). Use of Legumes in Extrusion Cooking: A Review. *Foods*, 9(7). <https://doi.org/10.3390/foods9070958>

Sandrin, R., Caon, T., Zibetti, A. W., & de Francisco, A. (2018). Effect of extrusion temperature and screw speed on properties of oat and rice flour extrudates. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(9), 3427–3436. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8855>

Shaikh, F., Ali, T. M., Mustafa, G., & Hasnain, A. (2020). Structural, functional and digestibility characteristics of sorghum and corn starch extrudates (RS3) as affected by cold storage time. *International Journal of Biological Macromolecules*, 164, 3048–3054. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2020.08.105>

Sharma, C., Singh, B., Hussain, S. Z., & Sharma, S. (2017). Investigation of process and product parameters for physicochemical properties of rice and mung bean (*Vigna radiata*) flour based extruded snacks. *Journal of Food Science and Technology*, 54(6), 1711–1720. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2606-8>

Shevkani, K., Singh, N., Chen, Y., Kaur, A., & Yu, L. (2019). Pulse proteins: secondary structure, functionality and applications. *Journal of Food Science and Technology*, 56(6), 2787–2798. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03723-8>

Silva, E. M. M. da, Ascheri, J. L. R., Carvalho, C. W. P. de, Takeiti, C. Y., & Berrios, J. de J. (2014). Physical characteristics of extrudates from corn flour and dehulled carioca bean flour blend. *LWT - Food Science and Technology*, 58(2), 620–626. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2014.03.031>

Singh, R., & Koksel, F. (2021). Effects of particle size distribution and processing conditions on the techno-functional properties of extruded soybean meal. *LWT*, 152, 112321. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2021.112321>

Sobowale, S. S., Kewuyemi, Y. O., & Olayanju, A. T. (2021). Process optimization of extrusion variables and effects on some quality and sensory characteristics of extruded snacks

from whole pearl millet-based flour. *SN Applied Sciences*, 3(10), 824. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04808-w>

Sotelo-Díaz, I., Igual, M., Martínez-Monzó, J., & García-Segovia, P. (2023). Techno-Functional Properties of Corn Flour with Cowpea (*Vigna unguilata*) Powders Obtained by Extrusion. *Foods*, 12, 298. <https://doi.org/10.3390/foods12020298>

Srinivas JR, T. AL. (2014). Physio-Chemical and Sensory Properties of Protein-Fortified Extruded Breakfast Cereal/Snack Formulated to Combat Protein Malnutrition in Developing Countries. *Journal of Food Processing & Technology*, 05(08). <https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000359>

Vargas-Solórzano, J., Ascheri, J. L., Piler Carvalho, C., Takeiti, C., & Galdeano, M. (2020). Impact of the Pretreatment of Grains on the Interparticle Porosity of Feed Material and the Torque Supplied During the Extrusion of Brown Rice. *Food and Bioprocess Technology*, 13. <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02379-8>

Wang, L., Liu, S., Hou, Y., Lang, S., Wang, C., & Zhang, D. (2020). Changes in particle size, structure, and physicochemical properties of potato starch after jet-milling treatments. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(8), e14569. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jfpp.14569>

Yadav, G. P., Dalbhagat, C. G., & Mishra, H. N. (2022). Effects of extrusion process parameters on cooking characteristics and physicochemical, textural, thermal, pasting, microstructure, and nutritional properties of millet-based extruded products: A review. *Journal of Food Process Engineering*, 45(9), e14106. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jfpe.14106>

Zhu, X., Li, X., Liu, X., Li, J., Zeng, X.-A., Li, Y., Yuan, Y., & Teng, Y.-X. (2024). Pulse Protein Isolates as Competitive Food Ingredients: Origin, Composition, Functionalities, and the State-of-the-Art Manufacturing. *Foods*, 13(1). <https://doi.org/10.3390/foods13010006>

CONCLUSÕES GERAIS

No presente estudo foram processadas formulações da mistura de farinhas de grãos inteiros de cereais (arroz parboilizado e milho perola) e de pulses (grão-de-bico e feijão carioca) submetidas a duas condições de cozimento por extrusão. As condições usadas no processo de extrusão influenciaram nas propriedades mecânicas (torque e energia mecânica específica e torque), as propriedades tecnológicas, e antioxidantes das farinhas cruas e extrudadas foram influenciadas pelas condições de extrusão utilizadas. O efeito negativo das condições de extrusão na absorção de óleo reduziu após do processo da farinha crua, a valores inferiores comparados as farinhas comerciais com e sem glúten. Assim como também os valores de viscosidade foram afetados, com mais dano ao amido na condição 2, comparado a condição 1. O cozimento por extrusão produziu mudanças na cor da farinha, melhorou a capacidade emulsificante e a estabilidade da emulsão afetada negativamente pelo efeito das condições, com exceção da F3. A FC estava presente na NEF e em espumas muito instáveis não mensuráveis após a extrusão. O milho e o feijão carioca contribuíram com compostos fenólicos para a formulação 2, obtendo maior TPC e atividade antioxidante, cujos valores foram minimamente reduzidos após a extrusão. O uso da extrusão termoplástica como tecnologia de cozimento é uma boa estratégia para a produção de extrudados homogêneos de forma a obter farinhas mistas integrais e pré-cozidas, com boas propriedades funcionais, melhor balanço nutricional e presença de compostos fenólicos e atividade antioxidante nas farinhas extrudadas.

ANEXO

Anexo 1. Efeito das condições de extrusão sobre o torque e energia mecânica específica (SME).

Formulação	Condição	Torque (kJ)	SME (W.h/kg)
F1	E1	$16.55 \pm 0.16\text{Ab}$	$73.37 \pm 0.66\text{Ab}$
F2	E1	$13.13 \pm 2.27\text{Ab}$	$58.04 \pm 10.77\text{Ab}$
F3	E1	$12.82 \pm 1.37\text{Ab}$	$56.81 \pm 4.98\text{Ab}$
F4	E1	$15.22 \pm 0.24\text{Aa}$	$66.53 \pm 1.24\text{Ab}$
F1	E2	$21.74 \pm 1.25\text{Aa}$	$208.6 \pm 15.32\text{Aa}$
F2	E2	$19.28 \pm 0.86\text{ABa}$	$185.45 \pm 31.32\text{ABa}$
F3	E2	$15.86 \pm 0.5\text{Ba}$	$151.64 \pm 14.17\text{Ba}$
F4	E2	$17.96 \pm 1.33\text{BAa}$	$171.72 \pm 9.22\text{BAa}$

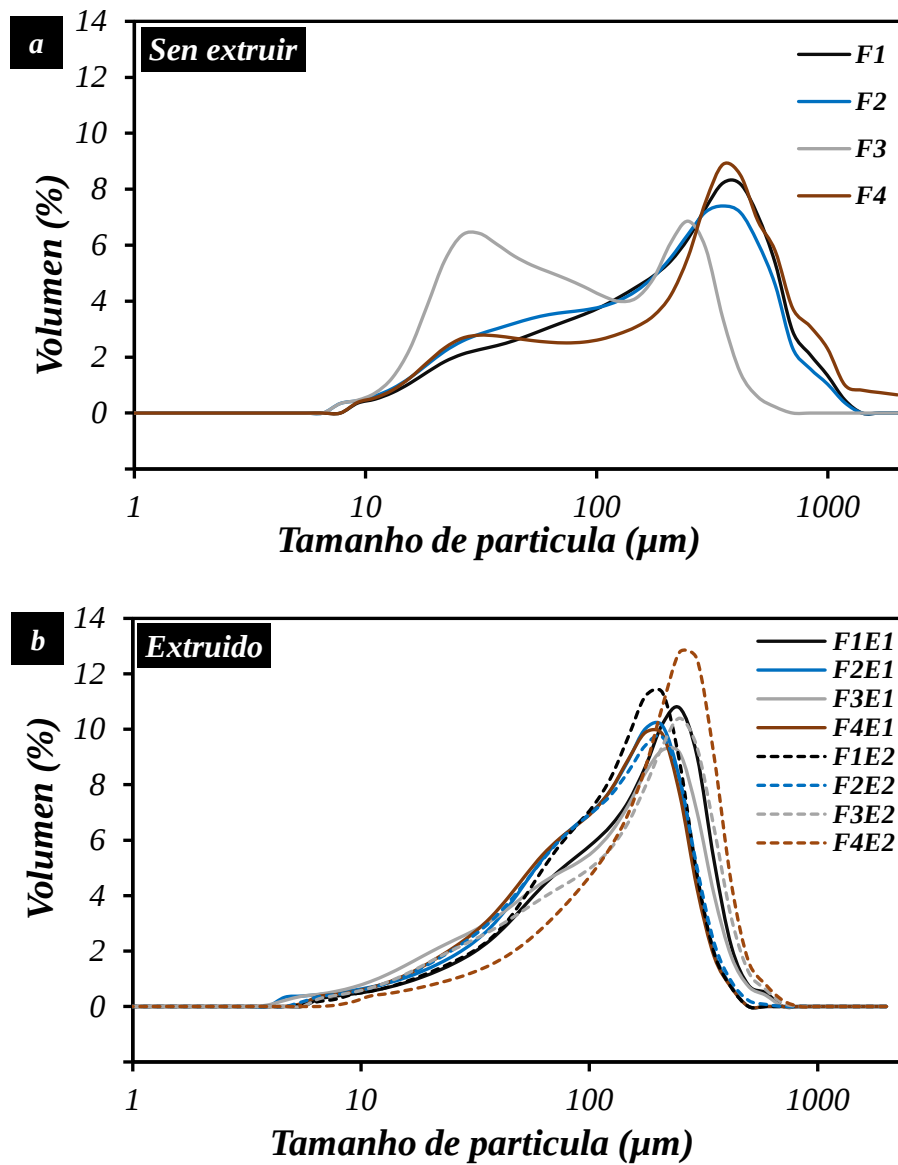
E1: Primeira condição; E2: Segunda condição; F1: Arroz parboilizado (60), milho pérola (15), grão-de-bico (15), feijão carioca (10); F2: Arroz parboilizado (15), milho pérola (60), grão-de-bico (15), feijão carioca (10); F3: Arroz parboilizado (15), milho pérola (15), grão-de-bico (60), feijão carioca (10); F4: Arroz parboilizado (30), milho (30), grão-de-bico (30), feijão carioca (10)

Anexo 2. Distribuição do tamanho das partículas da farinha integral misturada não extrudada e extrudada.

Amostra	Condição	D ₁₀	D ₅₀	D ₉₀	D _[4,3]	D _[3,2]	Span
<u>Non-extruded</u>							
F1	NE	30.4 ± 0.32 ^a	204.7 ± 6.02 ^b	530.07 ± 12.41 ^b	722.7 ± 7.95 ^b	606.08 ± 9.4 ^b	2.44 ± 0.02 ^c
F2	NE	26.09 ± 0.35 ^b	174.17 ± 0.81 ^c	496.33 ± 2.90 ^c	706.21 ± 10.14 ^b	585.42 ± 6.49 ^b	2.7 ± 0.01 ^b
F3	NE	19.22 ± 0.27 ^c	64.21 ± 0.66 ^d	259 ± 4.20 ^d	335.56 ± 15.96 ^c	288.72 ± 10.39 ^c	3.73 ± 0.04 ^a
F4	NE	26.65 ± 0.52 ^b	249.27 ± 6.41 ^a	656.93 ± 14.03 ^a	1289.29 ± 54.39 ^a	979.68 ± 49.75 ^a	2.53 ± 0.12 ^{cb}
<u>Extruded</u>							
F1	E1	33.5 ± 2.35 ^{Aa}	139.47 ± 5.76 ^{Aa}	287.03 ± 6.57 ^{Aa}	339.73 ± 2.75 ^{Aa}	293.88 ± 3.98 ^{Aa}	1.82 ± 0.05 ^{Ba}
F2	E1	27.22 ± 0.13 ^{Ba}	110.27 ± 0.59 ^{Ba}	233.28 ± 1.27 ^{Ba}	262.62 ± 0.94 ^{Ba}	231.53 ± 0.93 ^{Ba}	1.87 ± 0.01 ^{Ba}
F3	E1	22.32 ± 0.7 ^{Cb}	118.27 ± 2.83 ^{Bb}	272.13 ± 1.08 ^{Ab}	337.5 ± 4.14 ^{Ab}	288.37 ± 2.44 ^{Ab}	2.11 ± 0.05 ^{Aa}
F4	E1	27.04 ± 0.99 ^{Bb}	106.83 ± 3.35 ^{Bb}	229.02 ± 4.77 ^{Bb}	260.66 ± 1.32 ^{Bb}	228.91 ± 2.65 ^{Bb}	1.89 ± 0.02 ^{Ba}
F1	E2	33.22 ± 4.57 ^{Ba}	120.47 ± 7.09 ^{Cb}	234.1 ± 6.74 ^{Cb}	258.91 ± 3.72 ^{Bb}	229.48 ± 4.25 ^{Bb}	1.67 ± 0.08 ^{Bb}
F2	E2	27.47 ± 5.57 ^{Ca}	109.8 ± 11.07 ^{Ca}	240.17 ± 5.22 ^{Ca}	282.01 ± 8.36 ^{Ba}	244.46 ± 4.00 ^{Ba}	1.94 ± 0.17 ^{Aa}
F3	E2	28.08 ± 3.15 ^{Ca}	145.42 ± 20.53 ^{Ba}	303.18 ± 32.20 ^{Ba}	359.83 ± 32.41 ^{Aa}	312.31 ± 30.07 ^{Aa}	1.9 ± 0.07 ^{Ab}
F4	E2	48.63 ± 4.41 ^{Aa}	182.92 ± 1.50 ^{Aa}	329.25 ± 10.33 ^{Aa}	374.63 ± 23.77 ^{Aa}	328.58 ± 16.95 ^{Aa}	1.53 ± 0.08 ^{Cb}

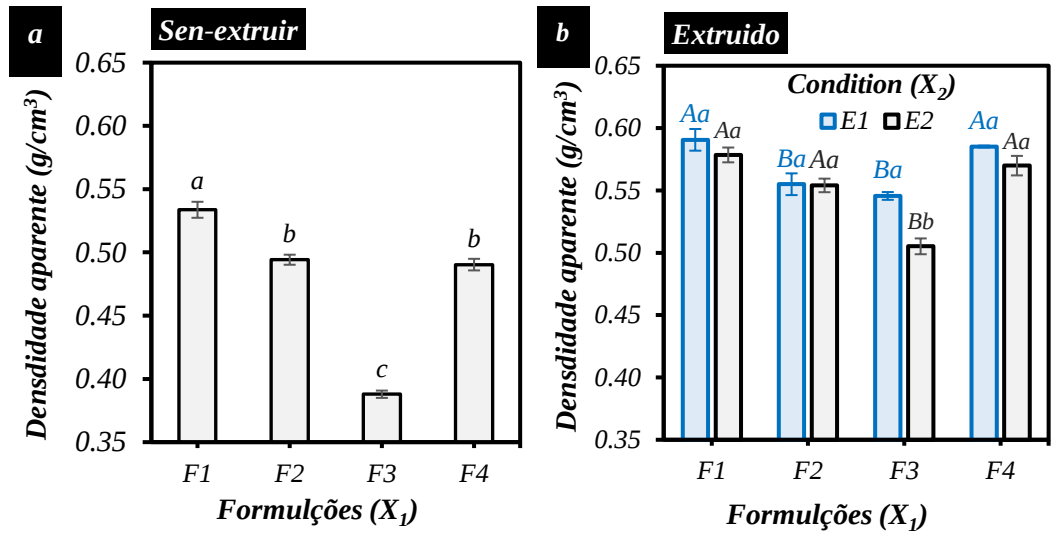
NE: Não extrusado; E1: Primeira condição; E2: Segunda condição; F1: Arroz parboilizado (60), milheto pérola (15), grão-de-bico (15), feijão carioca (10); F2: Arroz parboilizado (15), milheto pérola (60), grão-de-bico (15), feijão carioca (10); F3: Arroz parboilizado (15), milheto pérola (15), grão-de-bico (60), feijão carioca (10); F4: Arroz parboilizado (30), milheto (30), grão-de-bico (30), feijão carioca (10); D₁₀: diâmetro de partículas pequenas; D₅₀: diâmetro de partículas intermediárias; D₉₀: diâmetro de partículas grossas; D_[4,3]: diâmetro da média volumétrica; D_[3,2]: média superficial.

Anexo 3. Porcentagem de volume das curvas de distribuição de tamanho de partícula da farinha integral misturada não extrudada (a) e extrudada (b).



E1: Primeira condição; E2: Segunda condição; F1: Arroz parboilizado (60), milheto pérola (15), grão-de-bico (15), feijão carioca (10); F2: Arroz parboilizado (15), milheto pérola (60), grão-de-bico (15), feijão carioca (10); F3: Arroz parboilizado (15), milheto pérola (15), grão de bico (60), feijão carioca (10); F4: Arroz parboilizado (30), milheto pérola (30), grão de bico (30), feijão carioca (10);

Anexo 4. Efeito das condições de extrusão sobre a densidade aparente da farinha integral não extrudada (a) e extrudada (b).



E1: Primeira condição; E2: Segunda condição; F1: Arroz parboilizado (60), milheto pérola (15), grão-de-bico (15), feijão carioca (10); F2: Arroz parboilizado (15), milheto pérola (60), grão-de-bico (15), feijão carioca (10); F3: Arroz parboilizado (15), milheto pérola (15), grão de bico (60), feijão carioca (10); F4: Arroz parboilizado (30), milheto pérola (30), grão de bico (30), feijão carioca (10);

Anexo 5. Determinação de cor CIELAB de farinhas cruas misturadas e farinhas extrusadas sob duas condições de extrusão.

Amostra	Condição	L*	a*	b*	ΔE
Sem extrusão					
F1	SE	82.20 ± 0.30 ^b	0.57 ± 0.02 ^c	15.32 ± 0.45 ^b	-
F2	SE	77.29 ± 0.48 ^c	1.06 ± 0.02 ^a	14.87 ± 0.88 ^b	-
F3	SE	86.05 ± 0.38 ^a	0.05 ± 0.02 ^d	17.05 ± 0.24 ^a	-
F4	SE	81.70 ± 0.28 ^b	0.90 ± 0.03 ^b	15.57 ± 0.22 ^b	-
Extrusado					
F1	E1	82.70 ± 0.74 ^{Ba}	0.77 ± 0.08 ^{Bb}	16.46 ± 0.67 ^{Db}	2.78 ± 0.33 ^{Bb}
F2	E1	76.85 ± 0.42 ^{Da}	1.19 ± 0.04 ^{Ab}	17.44 ± 0.22 ^{Cb}	3.74 ± 0.19 ^{Ab}
F3	E1	83.41 ± 0.44 ^{Aa}	0.19 ± 0.05 ^{Cb}	20.09 ± 0.36 ^{Aa}	4.07 ± 0.81 ^{Aa}
F4	E1	80.00 ± 0.49 ^{Ca}	0.85 ± 0.03 ^{Bb}	18.66 ± 0.21 ^{Ba}	3.42 ± 0.40 ^{ABb}
F1	E2	82.01 ± 0.28 ^{Bb}	1.48 ± 0.05 ^{Ba}	17.93 ± 0.33 ^{Ca}	1.55 ± 0.32 ^{Ca}
F2	E2	76.55 ± 0.44 ^{Da}	1.80 ± 0.07 ^{Aa}	18.43 ± 0.26 ^{BCa}	2.64 ± 0.27 ^{Ba}
F3	E2	83.01 ± 0.32 ^{Aa}	0.53 ± 0.02 ^{Da}	19.71 ± 0.41 ^{Aa}	4.03 ± 0.53 ^{Aa}
F4	E2	80.44 ± 0.51 ^{Ca}	1.38 ± 0.11 ^{Ca}	18.67 ± 0.26 ^{Ba}	3.56 ± 0.34 ^{Aa}

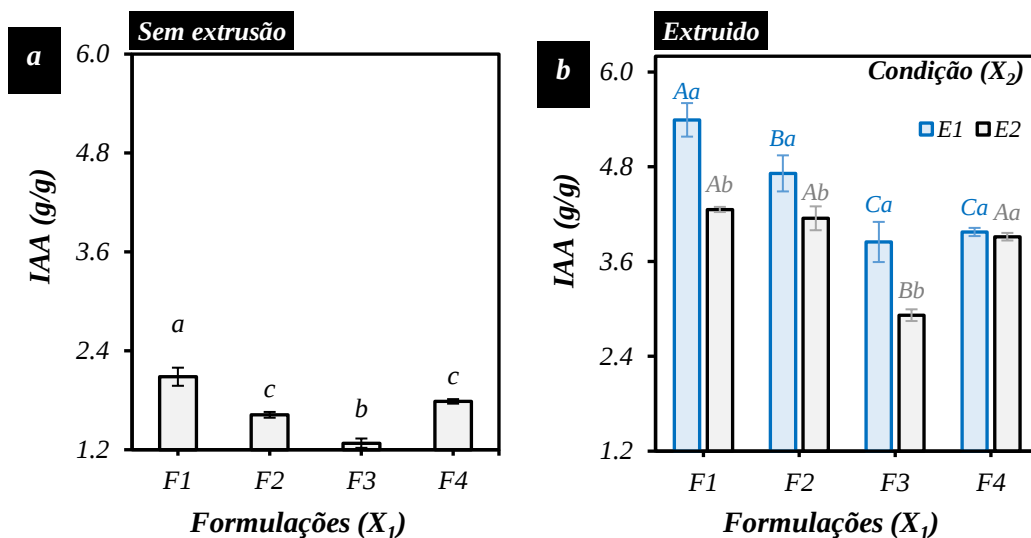
E1: Primeira condição; E2: Segunda condição; F1: Arroz parboilizado (60), milheto pérola (15), grão-de-bico (15), feijão carioca (10); F2: Arroz parboilizado (15), milheto pérola (60), grão-de-bico (15), feijão carioca (10); F3: Arroz parboilizado (15), milheto pérola (15), grão de bico (60), feijão carioca (10); F4: Arroz parboilizado (30), milheto pérola (30), grão de bico (30), feijão carioca (10);

Anexo 6. Propriedades de pasta de farinhas integrais misturadas não extrudadas e extrudadas em duas condições de extrusão.

Amostra	Condição	TP	CV	PV	HS	BV	FV	SV
Sem extrusão								
F1	NE	72.45 ± 1.55 ^a	32.50 ± 2.50 ^b	321.00 ± 6.00 ^c	319.50 ± 5.50 ^a	1.50 ± 0.50 ^d	843.50 ± 10.5 ^b	524.00 ± 5.00 ^b
F2	NE	73.53 ± 1.13 ^a	37.00 ± 7.00 ^a	354.50 ± 3.50 ^a	251.50 ± 2.50 ^c	103.00 ± 1.00 ^c	981.00 ± 4.00 ^a	729.50 ± 6.50 ^a
F3	NE	75.08 ± 0.42 ^a	27.00 ± 3.00 ^c	307.00 ± 2.00 ^c	280.50 ± 1.50 ^b	26.50 ± 0.50 ^b	650.00 ± 4.00 ^d	369.50 ± 2.50 ^d
F4	NE	75.50 ± 0.00 ^a	27.00 ± 3.00 ^c	244.50 ± 2.50 ^b	233.50 ± 4.50 ^c	11.00 ± 2.00 ^a	705.00 ± 5.00 ^c	471.50 ± 0.50 ^c
Extruidas								
F1	E1	25.10 ± 0.00 ^{Aa}	506.00 ± 5.66 ^{Aa}	527.50 ± 9.19 ^{Aa}	47.00 ± 0.00 ^{Ba}	422.50 ± 9.19 ^{Aa}	427.50 ± 6.36 ^{Ba}	322.50 ± 6.36 ^{Ba}
F2	E1	25.13 ± 0.04 ^{Aa}	202.00 ± 5.66 ^{Cb}	318.00 ± 1.41 ^{Da}	49.00 ± 4.24 ^{Ca}	232.00 ± 2.83 ^{Cb}	279.00 ± 7.07 ^{BD}	193.00 ± 11.31 ^{Da}
F3	E1	25.10 ± 0.07 ^{Aa}	208.50 ± 9.19 ^{Cb}	419.50 ± 10.61 ^{Ba}	36.00 ± 7.07 ^{Aa}	249.50 ± 3.54 ^{Ca}	546.00 ± 1.41 ^{Aa}	376.00 ± 5.66 ^{Aa}
F4	E1	25.18 ± 0.04 ^{Aa}	273.00 ± 1.41 ^{Bb}	371.00 ± 2.83 ^{Ca}	23.50 ± 2.83 ^{Ca}	289.00 ± 0.00 ^{Ba}	309.00 ± 0.00 ^{Ca}	227.00 ± 2.83 ^{Ca}
F1	E2	25.15 ± 0.00 ^{Aa}	401.50 ± 6.16 ^{Ab}	393.50 ± 3.41 ^{Ab}	115.25 ± 0.00 ^{Ab}	346.50 ± 3.40 ^{Ab}	127.00 ± 1.41 ^{Bb}	80.00 ± 1.41 ^{Bb}
F2	E2	25.18 ± 0.04 ^{Aa}	329.50 ± 10.61 ^{Ba}	313.50 ± 2.12 ^{Ba}	38.00 ± 1.41 ^{Ab}	264.50 ± 3.54 ^{Ba}	102.50 ± 3.54 ^{Cb}	53.50 ± 2.12 ^{Cb}
F3	E2	25.13 ± 0.04 ^{Aa}	250.50 ± 7.78 ^{Ca}	222.00 ± 2.83 ^{Cb}	79.50 ± 1.41 ^{Bb}	186.00 ± 4.24 ^{Cb}	156.00 ± 0.00 ^{Ab}	120.00 ± 1.41 ^{Ab}
F4	E2	25.20 ± 0.00 ^{Aa}	301.50 ± 6.36 ^{Ba}	280.50 ± 4.95 ^{Bb}	29.25 ± 2.12 ^{Cb}	257.00 ± 2.83 ^{Bb}	104.50 ± 4.95 ^{Cb}	81.00 ± 2.83 ^{Bb}

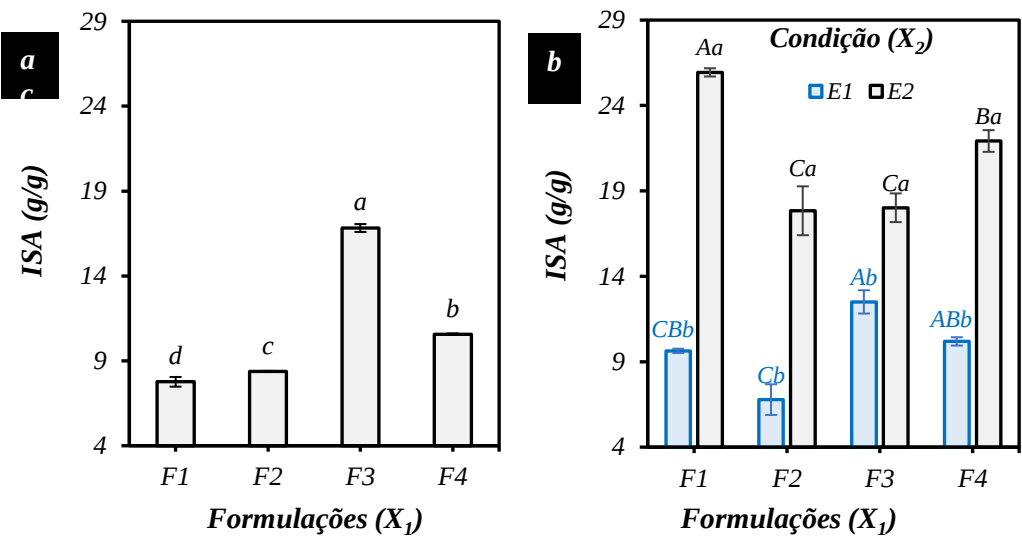
NE: Não extrusado; E1: Primeira condição; E2: Segunda condição; F1: Arroz parboilizado (60), milho pérola (15), grão-de-bico (15), feijão carioca (10); F2: Arroz parboilizado (15), milho pérola (60), grão-de-bico (15), feijão carioca (10); F3: Arroz parboilizado (15), milho pérola (15), grão de bico (60), feijão carioca (10); F4: Arroz parboilizado (30), milho pérola (30), grão de bico (30), feijão carioca (10); TP: Temperatura da pasta (°C); CV: Viscosidade a frio (cP); PV: viscosidade de pico (cP); HS: força de retenção (cP); BV: viscosidade de ruptura (cP); FV: viscosidade final (cP); SV: viscosidade de recuo (cP)

Anexo 7. Efeito das condições de extrusão no índice de absorção de água (WAI) da farinha integral não extrudada (a) e extrudada (b).



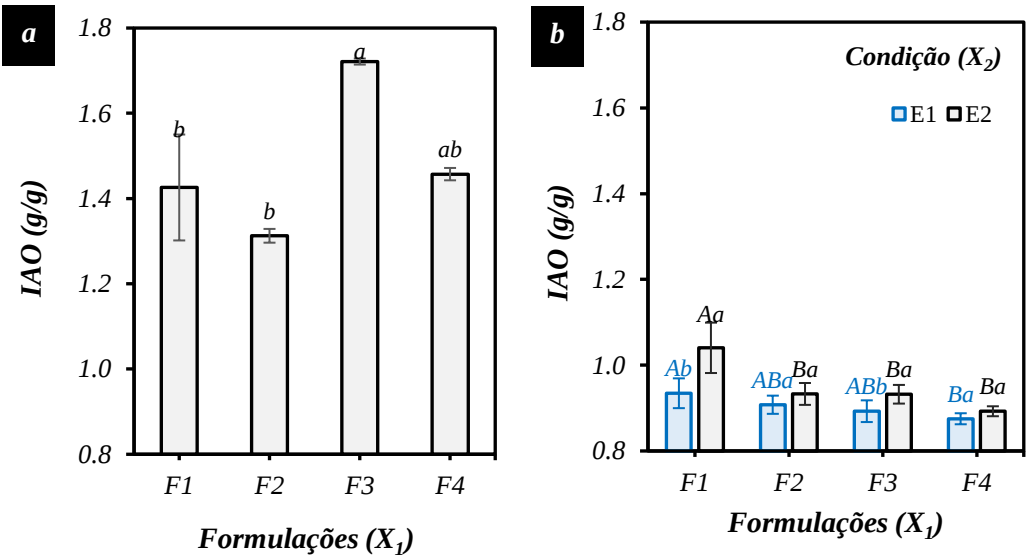
E1: Primeira condição; E2: Segunda condição; F1: Arroz parboilizado (60), milho pérola (15), grão-de-bico (15), feijão carioca (10); F2: Arroz parboilizado (15), milho pérola (60), grão-de-bico (15), feijão carioca (10); F3: Arroz parboilizado (15), milho pérola (15), grão de bico (60), feijão carioca (10); F4: Arroz parboilizado (30), milho pérola (30), grão de bico (30), feijão carioca (10);

Anexo 8. Efeito das condições de extrusão no índice de solubilidade em água (WAI) da farinha integral não extrudada (a) e extrudada (b).



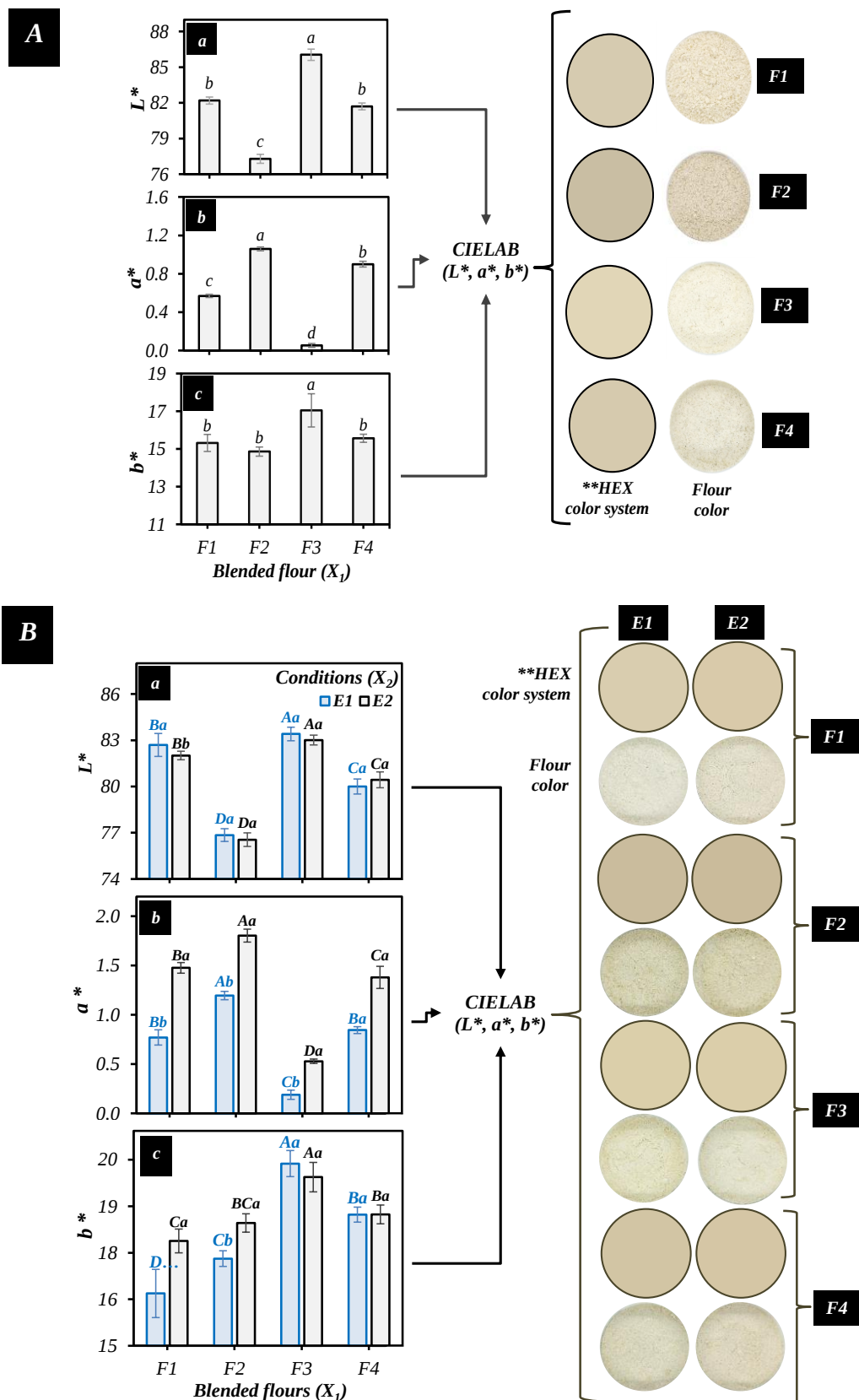
E1: Primeira condição; E2: Segunda condição; F1: Arroz parboilizado (60), milheto pérola (15), grão-de-bico (15), feijão carioca (10); F2: Arroz parboilizado (15), milheto pérola (60), grão-de-bico (15), feijão carioca (10); F3: Arroz parboilizado (15), milheto pérola (15), grão de bico (60), feijão carioca (10); F4: Arroz parboilizado (30), milheto pérola (30), grão de bico (30), feijão carioca (10);

Anexo 9. Efeito das condições de extrusão no índice de solubilidade em água (WAI) da farinha integral não extrudada (a) e extrudada (b).



E1: Primeira condição; E2: Segunda condição; F1: Arroz parboilizado (60), milho pérola (15), grão-de-bico (15), feijão carioca (10); F2: Arroz parboilizado (15), milho pérola (60), grão-de-bico (15), feijão carioca (10); F3: Arroz parboilizado (15), milho pérola (15), grão de bico (60), feijão carioca (10); F4: Arroz parboilizado (30), milho pérola (30), grão de bico (30), feijão carioca (10);

Anexo 10. Determinação da cor no sistema CIELAB na farinha integral misturada não extrusada (A) e extrusada (B). Valores de L^* (a), a^* (b) e b^* (c).



**HEX: CIELAB values converted in the HEX color systems.

Anexo 11. Determinação de TPC, capacidade antioxidante (ABTS+ e DPPH), nas farinhas de cereais e leguminosas inteiras, farinha integral não extrudada e extrudada.

Amostra	Condição	TPC (mg GAE/100g)	ABTS+ (μ mol TE/g)	DPPH (μ mol TE/g)
PR	RF	19.37 $\pm$ 1.01 ^d	1.86 $\pm$ 0.10 ^d	-
PM	RF	296.42 $\pm$ 4.64 ^b	6.98 $\pm$ 0.15 ^b	-
CP	RF	60.25 $\pm$ 1.78 ^c	3.06 $\pm$ 0.15 ^c	-
CB	RF	508.35 $\pm$ 7.59 ^a	18.43 $\pm$ 0.14 ^a	-
F1	NE	102.53 $\pm$ 1.52 ^c	4.39 $\pm$ 0.39 ^c	-
F2	NE	284.91 $\pm$ 20.22 ^a	13.20 $\pm$ 1.00 ^a	9.94 $\pm$ 0.75 ^a
F3	NE	139.85 $\pm$ 6.59 ^b	4.19 $\pm$ 0.05 ^c	-
F4	NE	134.00 $\pm$ 2.11 ^b	5.51 $\pm$ 0.09 ^b	-
F2	E1	273.00 $\pm$ 11.11 ^a	11.62 $\pm$ 0.60 ^a	5.76 $\pm$ 0.44 ^b
F2	E2	238.31 $\pm$ 15.23 ^b	10.92 $\pm$ 0.23 ^b	5.29 $\pm$ 0.68 ^b

PR: Arroz parboilizado; PM: Milheto pérola; CP: grão-de-bico; CB: feijão carioca; RF: farinha crua; NE: não extrusado; E1: primeira condição; E2: segunda condição; F1: Arroz parboilizado (60), milheto pérola (15), grão-de-bico (15), feijão carioca (10); F2: Arroz parboilizado (15), milheto pérola (60), grão-de-bico (15), feijão carioca (10); F3: Arroz parboilizado (15), milheto pérola (15), grão de bico (60), feijão carioca (10); F4: Arroz parboilizado (30), milheto pérola (30), grão de bico (30), feijão carioca (10); TPC, teor de polifenóis totais;

Anexo 12. Determinação das propriedades de emulsão na farinha integral misturada não extrudada e extrudada.

Amostra	Condição	EC (m ² /g)	ES (%)
F1	NE	9.97 ± 2.32 ^c	68.60 ± 3.50 ^b
F2	NE	10.50 ± 1.91 ^{c^b}	81.05 ± 0.24 ^a
F3	NE	10.71 ± 0.53 ^b	79.60 ± 2.47 ^a
F4	NE	19.67 ± 2.08 ^a	52.22 ± 0.96 ^c
F1	E1	17.93 ± 1.17 ^{Aa}	51.11 ± 3.48 ^{Ca}
F2	E1	15.36 ± 1.36 ^{Bb}	76.72 ± 2.41 ^{Aa}
F3	E1	15.8 ± 2.82 ^{Ba}	56.58 ± 0.79 ^{Bb}
F4	E1	17.9 ± 3.16 ^{Aa}	55.69 ± 3.36 ^{Ba}
F1	E2	17.32 ± 0.09 ^{Aa}	43.15 ± 1.98 ^{Db}
F2	E2	16.23 ± 2.26 ^{Ba}	48.34 ± 1.51 ^{Cb}
F3	E2	8.35 ± 4.55 ^{Db}	87.06 ± 0.11 ^{Aa}
F4	E2	13.64 ± 3.12 ^{Cb}	56.3 ± 5.65 ^{Ba}

NE: não extrusado; E1: primeira condição; E2: segunda condição; F1: Arroz parboilizado (60), milheto pérola (15), grão-de-bico (15), feijão carioca (10); F2: Arroz parboilizado (15), milheto pérola (60), grão-de-bico (15), feijão carioca (10); F3: Arroz parboilizado (15), milheto pérola (15), grão de bico (60), feijão carioca (10); F4: Arroz parboilizado (30), milheto pérola (30), grão de bico (30), feijão carioca (10); CE, capacidade de emulsão; ES, estabilidade da emulsão.

Anexo 13. Análises de variância dos parâmetros de torque e SME do processo de extrusão das farinhas misturadas extrudadas obtidas a partir de grãos integrais e pulses.

Amostra	Fonte	SQ	Gl	QM	Fcal	Valor-p
Torque	Formulação	47.029	3	15.676	10.976	0.003299
	Extrusão	73.248	1	73.248	51.287	0.000096
	Formulação*Extrusão	8.244	3	2.748	1.924	0.204254
	Resíduo	11.426	8	1.428		
	Total	139.947	15			
SME	Formulação	2736.2	3	912.1	4.437	0.040834
	Extrusão	53513.4	1	53513.4	260.349	0.000000
	Formulação*Extrusão	1064.4	3	354.8	1.726	0.238644
	Resíduo	1644.4	8	205.5		
	Total	58958.3	15			

SQ: soma de quadrados; GL: graus de liberdade; QM: quadrado médio; Fcal: valor do teste F, valor de probabilidade considerando um nível de significância de 5%

Anexo 14. Análises de variância para os parâmetros da distribuição do tamanho de partícula das farinhas cruas misturadas a partir das farinhas de grãos integrais e pulses.

Resposta	Fonte	SQ	GL	QM	Fcal	Valor-p
D10	Formulação	195.270	3	65.090	458.22	0.000000
	Resíduo	1.136	8	0.142		
	Total	196.406	11			
D50	Formulação	55976.4	3	18658.8	950.90	0.000000
	Resíduo	157.0	8	19.6		
	Total	56133.4	11			
D90	Formulação	248385	3	82795	878.30	0.000000
	Resíduo	754	8	94		
	Total	249140	11			
D[4.3]	Formulação	1393615	3	464538	549.950	0.000000
	Resíduo	6758	8	845		
	Total	1400372	11			
D[3.2]	Formulação	721207	3	240402	354.387	0.000000
	Resíduo	5427	8	678		
	Total	726634	11			
SPAN	Formulação	3.22111	3	1.07370	239.08	0.000000
	Resíduo	0.03593	8	0.00449		
	Total	3.25704	11			

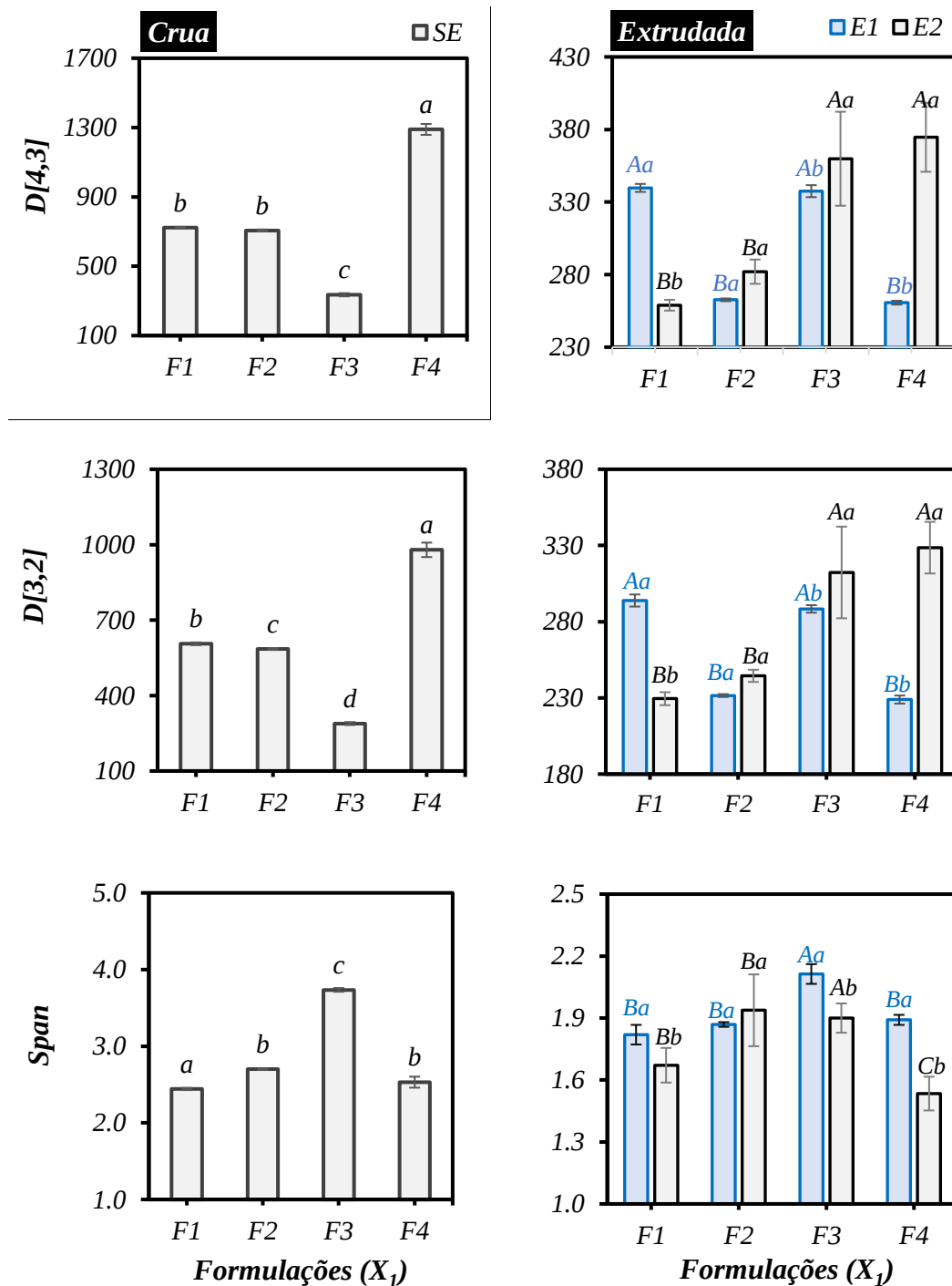
SQ: soma de quadrados; GL: graus de liberdade; QM: quadrado médio; Fcal: valor do teste F, valor de probabilidade considerando um nível de significância de 5%

Anexo 15. Análises de variância para os parâmetros da distribuição do tamanho de partícula das farinhas extrudadas misturadas a partir das farinhas de grãos integrais e pulses.

Resposta	Fonte	SQ	Gl	QM	Fcal	Valor-p
D10	Formulação	1191,05	3	397,02	53268.000	0,000000
	Extrusão	560,06	1	560,06	75144.000	0,000000
	Formulação*Extrusão	938,52	3	312,84	41974.000	0,000000
	Resíduo	298,13	40	7,45		
	Total	2987,76	47			
D50	Formulação	7447,6	3	2482,5	35,53	0,000000
	Extrusão	5262,6	1	5262,6	75,31	0,000000
	Formulação*Extrusão	15398,4	3	5132,8	73,45	0,000000
	Resíduo	2795,2	40	69,9		
	Total	30903,8	47			
D90	Formulação	18337	3	6112	33,90	0,000000
	Extrusão	5449	1	5449	30,22	0,000002
	Formulação*Extrusão	36132	3	12044	66,79	0,000000
	Resíduo	7213	40	180		
	Total	67130	47			
D[4.3]	Formulação	37037	3	12346	40.09	0.000000
	Extrusão	4203	1	4203	13.65	0.000659
	Formulação*Extrusão	56978	3	18993	61.67	0.000000
	Resíduo	12319	40	308		
	Total	110537	47			
D[3.2]	Formulação	25077	3	8359	40.94	0.000000
	Extrusão	3901	1	3901	19.11	0.000085
	Formulação*Extrusão	40561	3	13520	66.23	0.000000
	Resíduo	8166	40	204		
	Total	77706	47			
SPAN	Formulação	0.6821	3	0.2274	64.83	0.000000
	Extrusão	0.3164	1	0.3164	90.22	0.000000
	Formulação*Extrusão	0.2821	3	0.0940	26.81	0.000000
	Resíduo	0.1403	40	0.0035		
	Total	1.4209	47			

SQ: soma de quadrados; GL: graus de liberdade; QM: quadrado médio; Fcal: valor do teste F, valor de probabilidade considerando um nível de significância de 5%

Anexo 16. Gráficos de distribuição do tamanho de partícula dos parâmetros da média volumétrica D[4,3], média superficial D[3,2] e Span, das farinhas cruas e extrudadas misturadas a partir das farinhas de grãos integrais e pulses.



NE: não extrusado; E1: primeira condição; E2: segunda condição; F1: Arroz parboilizado (60), milho pérola (15), grão-de-bico (15), feijão carioca (10); F2: Arroz parboilizado (15), milho pérola (60), grão-de-bico (15), feijão carioca (10); F3: Arroz parboilizado (15), milho pérola (15), grão de bico (60), feijão carioca (10); F4: Arroz parboilizado (30), milho pérola (30), grão de bico (30), feijão carioca (10);

Anexo 17. Análises de variância da densidade aparente das farinhas misturadas cruas e extrudadas obtidas a partir de grãos integrais e pulses.

Amostra	Fonte	SQ	GL	QM	Fcal	Valor-p
Cruas	Formulação	0.034886	3	0.011629	182.18	0.000000
	Resíduo	0.000511	8	0.000064		
	Total	0.035396	11			
Extrudadas	Formulação	0.02565	3	0.00855	34.71	0.000000
	Extrusão	0.00355	1	0.00355	14.41	0.000488
	Formulação*Extrusão	0.00249	3	0.00083	3.37	0.027556
	Resíduo	0.00985	40	0.00025		
	Total	0.04155	47			

SQ: soma de quadrados; GL: graus de liberdade; QM: quadrado médio; Fcal: valor do teste F, valor de probabilidade considerando um nível de significância de 5%

Anexo 18. Análises de variância do índice de absorção de água das farinhas misturadas cruas e extrudadas obtidas a partir de grãos integrais e pulses.

Amostra	Fonte	SQ	Gl	QM	Fcal	Valor-p
Cruas	Formulação	1.01659	3	0.33886	26.154	0.000174
	Resíduo	0.10365	8	0.01296		
	Total	1.12024	11			
Extrudadas	Formulação	14.3042	3	4.7681	31.451	0.000000
	Extrusão	4.9616	1	4.9616	32.727	0.000001
	Formulação*Extrusão	2.4564	3	0.8188	5.401	0.003240
	Resíduo	6.0642	40	0.1516		
	Total	27.7864	47			

SQ: soma de quadrados; GL: graus de liberdade; QM: quadrado médio; Fcal: valor do teste F, valor de probabilidade considerando um nível de significância de 5%

Anexo 19. Análises de variância do índice de solubilidade em água das farinhas misturadas cruas e extrudadas obtidas a partir de grãos integrais e pulses.

Amostra	Fonte	SQ	GL	QM	Fcal	Valor-p
Cruas	Formulação	154.163	3	51.388	1490.86	0.000000
	Resíduo	0.276	8	0.034		
	Total	154.439	11			
Extrudadas	Formulação	188.29	3	62.76	18.371	0.000000
	Extrusão	1491.68	1	1491.68	436.640	0.000000
	Formulação*Extrusão	176.00	3	58.67	17.173	0.000000
	Resíduo	136.65	40	3.42		
	Total	1992.62	47			

SQ: soma de quadrados; GL: graus de liberdade; QM: quadrado médio; Fcal: valor do teste F, valor de probabilidade considerando um nível de significância de 5%

Anexo 20. Análises de variância do índice de absorção de óleo das farinhas misturadas cruas e extrudadas obtidas a partir de grãos integrais e pulses.

Amostra	Fonte	SQ	Gl	QM	Fcal	Valor-p
Cruas	Formulação	0.26922	3	0.08974	7.501	0.010345
	Resíduo	0.09571	8	0.01196		
	Total	0.36493	11			
Extrudadas	Formulação	0.07014	3	0.02338	2.569	0.067734
	Extrusão	0.00113	1	0.00113	0.124	0.726922
	Formulação*Extrusão	0.11081	3	0.03694	4.059	0.013099
	Resíduo	0.36398	40	0.00910		
	Total	0.54605	47			

SQ: soma de quadrados; GL: graus de liberdade; QM: quadrado médio; Fcal: valor do teste F, valor de probabilidade considerando um nível de significância de 5%

Anexo 21. Análises de variância das propriedades de pasta das farinhas das farinhas misturadas cruas.

Amostra	Fonte	SQ	Gl	QM	Fcal	Valor-p
TP	Formulação	11.92	3	3.97	2.06	0.247675
	Resíduo	7.70	8	1.92		
	Total	19.61	11			
CV	Formulação	140.375	3	46.792	1.2776	0.395509
	Resíduo	146.500	8	36.625		
	Total	286.875	11			
PV	Formulação	12716.5	3	4238.8	144.92	0.000155
	Resíduo	117.0	8	29.3		
	Total	12833.5	11			
HS	Formulação	8457.5	3	2819.2	95.56	0.000353
	Resíduo	118.0	8	29.5		
	Total	8575.5	11			
BV	Formulação	12787.00	3	4262.33	1549.939	0.000001
	Resíduo	11.00	8	2.75		
	Total	12798.00	11			
FV	Formulação	132146	3	44049	526.74	0.000012
	Resíduo	334	8	84		
	Total	132481	11			
SV	Formulação	137712	3	45904	1244.86	0.000002
	Resíduo	148	8	37		
	Total	137860	11			

TP: Temperatura da pasta (°C); CV: Viscosidade a frio (cP); PV: viscosidade de pico (cP); HS: força de retenção (cP); BV: viscosidade de ruptura (cP); FV: viscosidade final (cP); SV: viscosidade de recuo (cP); SQ: soma de quadrados; GL: graus de liberdade; QM: quadrado médio; Fcal: valor do teste F, valor de probabilidade considerando um nível de significância de 5%

Anexo 22. Análises de variância das propriedades de pasta das farinhas das farinhas misturadas extrudadas.

Amostra	Fonte	SQ	Gl	QM	Fcal	Valor-p
TP	Formulação	0.01	3	0.00	4	0.069499
	Extrusão	0.01	1	0.01	5	0.066688
	Formulação*Extrusão	0.00	3	0.00	0	0.915877
	Resíduo	0.01	40	0.00		
	Total	0.03	47			
CV	Formulação	118466	3	39489	301.30	0.000000
	Extrusão	2186	1	2186	16.68	0.003517
	Formulação*Extrusão	27567	3	9189	70.11	0.000004
	Resíduo	1049	40	131		
	Total	149267	47			
PV	Formulação	58790	3	19597	134.17	0.000000
	Extrusão	45476	1	45476	311.34	0.000000
	Formulação*Extrusão	19697	3	6566	44.95	0.000024
	Resíduo	1169	40	146		
	Total	125131	47			
HS	Formulação	5344.69	3	1781.56	168.669	0.000000
	Extrusão	20664.06	1	20664.06	1956.361	0.000000
	Formulação*Extrusão	5447.19	3	1815.73	171.903	0.000000
	Resíduo	84.50	40	10.56		
	Total	31540.44	47			
BV	Formulação	63397	3	21132	158.295	0.000000
	Extrusão	4830	1	4830	36.182	0.000318
	Formulação*Extrusão	7058	3	2353	17.624	0.000694
	Resíduo	1068	40	134		
	Total	76354	47			
FV	Formulação	64636	3	21545	1310.74	0.000000
	Extrusão	287028	1	287028	17461.78	0.000000
	Formulação*Extrusão	28345	3	9448	574.80	0.000000
	Resíduo	131	40	16		
	Total	380140	47			
SV	Formulação	35846.3	3	11948.8	424.84	0.000000
	Extrusão	153664.0	1	153664.0	5463.61	0.000000
	Formulação*Extrusão	11454.5	3	3818.2	135.76	0.000000
	Resíduo	225.0	40	28.1		
	Total	201189.8	47			

TP: Temperatura da pasta (°C); CV: Viscosidade a frio (cP); PV: viscosidade de pico (cP); HS: força de retenção (cP); BV: viscosidade de ruptura (cP); FV: viscosidade final (cP); SV: viscosidade de recuo (cP); SQ: soma de quadrados; GL: graus de liberdade; QM: quadrado médio; Fcal: valor do teste F, valor de probabilidade considerando um nível de significância de 5%

Anexo 23. Análises de variância para os parâmetros de cor (L^* , a^* , e b^*) das farinhas cruas misturadas a partir de grãos integrais e pulses.

Resposta	Fonte	SQ	Gl	QM	Fcal	Valor-p
L^*	Formulação	115.71	3	38.57	284.4	0.000000
	Resíduo	1.08	8	0.14		
	Total	116.79	11			
a^*	Formulação	1.778825	3	0.592942	393.110	0.000000
	Resíduo	0.012067	8	0.001508		
	Total	1.790892	11			
b^*	Formulação	8.062	3	2.687	9.86	0.004598
	Resíduo	2.180	8	0.272		
	Total	10.241	11			

SQ: soma de quadrados; GL: graus de liberdade; QM: quadrado médio; Fcal: valor do teste F, valor de probabilidade considerando um nível de significância de 5%

Anexo 24. Análises de variância para os parâmetros de cor (L^* , a^* , e b^*) das farinhas extrudadas misturadas a partir de grãos integrais e pulses.

Resposta	Fonte	SQ	Gl	QM	Fcal	Valor-p
L^*	Formulação	303.2	3	101.1	449	0.000000
	Extrusão	0.7	1	0.7	3	0.091365
	Formulação*Extrusão	2.1	3	0.7	3	0.039456
	Resíduo	9.0	40	0.2		
	Total	315.0	47			
a^*	Formulação	8.23788	3	2.74596	696.46	0.000000
	Extrusão	3.59420	1	3.59420	911.60	0.000000
	Formulação*Extrusão	0.21754	3	0.07251	18.39	0.000000
	Resíduo	0.15771	40	0.00394		
	Total	12.20734	47			
b^*	Formulação	47.86	3	15.95	117.1	0.000000
	Extrusão	3.28	1	3.28	24.1	0.000016
	Formulação*Extrusão	6.56	3	2.19	16.0	0.000001
	Resíduo	5.45	40	0.14		
	Total	63.15	47			
ΔE	Formulação	22.4601	3	7.4867	39.140	0.000000
	Extrusão	3.7255	1	3.7255	19.477	0.000075
	Formulação*Extrusão	4.4226	3	1.4742	7.707	0.000353
	Resíduo	7.6513	40	0.1913		
	Total	38.2595	47			

ΔE : Diferencia de cor total; SQ: soma de quadrados; GL: graus de liberdade; QM: quadrado médio; Fcal: valor do teste F, valor de probabilidade considerando um nível de significância de 5%

Anexo 25. Análises de variância dos compostos fenólicos totais das farinhas dos grãos de cereais e pulses, e das farinhas misturadas cruas.

Amostra	Fonte	SQ	Gl	QM	Fcal	Valor-p
Farinha de Grãos e pulses	Grãos e pulses	464267.5	3	154755.8	2477.184	0.000000
	Resíduo	499.8	8	62.5		
	Total	464767.3	11			
Farinha Cruas	Formulação	17468.8	3	5822.9	109.557	0.000001
	Resíduo	425.2	8	53.1		
	Total	17894.0	11			

SQ: soma de quadrados; GL: graus de liberdade; QM: quadrado médio; Fcal: valor do teste F, valor de probabilidade considerando um nível de significância de 5%

Anexo 26. Análises de variância dos compostos fenólicos totais das farinhas dos grãos de cereais e pulses, e das farinhas misturadas cruas.

Amostra	Fonte	SQ	Gl	QM	Fcal	Valor-p
Grãos	Formulação	12.4603	3	4.1534	26.512	0.000165
	Resíduo	1.2533	8	0.1567		
	Total	13.7136	11			
Cruas	Formulação	513.8318	3	171.2773	3083.08	0.000000
	Resíduo	0.4444	8	0.0556		
	Total	514.2762	11			

SQ: soma de quadrados; GL: graus de liberdade; QM: quadrado médio; Fcal: valor do teste F, valor de probabilidade considerando um nível de significância de 5%

Anexo 27. Análises de variância da capacidade emulsionante das farinhas misturadas cruas e extrudadas obtidas a partir de grãos integrais e pulses.

Amostra	Fonte	SQ	Gl	QM	Fcal	Valor-p
Cruas	Formulação	194.449	3	64.816	983.56	0.000000
	Resíduo	0.527	8	0.066		
	Total	194.976	11			
Extrudadas	Formulação	97.581	3	32.527	243.62	0.000000
	Extrusão	49.192	1	49.192	368.43	0.000000
	Formulação*Extrusão	62.983	3	20.994	157.24	0.000000
	Resíduo	2.136	40	0.134		
	Total	211.892	47			

SQ: soma de quadrados; GL: graus de liberdade; QM: quadrado médio; Fcal: valor do teste F, valor de probabilidade considerando um nível de significância de 5%

Anexo 28. Análises de variância da estabilidade da emulsão das farinhas misturadas cruas e extrudadas obtidas a partir de grãos integrais e pulses.

Amostra	Fonte	SQ	GL	QM	Fcal	Valor-p
Cruas	Formulação	1595.62	3	531.87	214.70	0.000000
	Resíduo	19.82	8	2.48		
	Total	1615.44	11			
Extrudadas	Formulação	1957.80	3	652.60	240.77	0.000000
	Extrusão	10.39	1	10.39	3.83	0.067937
	Formulação*Extrusão	2686.95	3	895.65	330.44	0.000000
	Resíduo	43.37	40	2.71		
	Total	4698.51	47			

SQ: soma de quadrados; GL: graus de liberdade; QM: quadrado médio; Fcal: valor do teste F, valor de probabilidade considerando um nível de significância de 5%

Anexo 29. Análises de variância da estabilidade da emulsão das farinhas misturadas cruas e extrudadas obtidas a partir de grãos integrais e pulses.

Amostra	Fonte	SQ	Gl	QM	Fcal	Valor-p
Cruas	Formulação	218.61	3	72.87	1.7879	0.227216
	Resíduo	326.07	8	40.76		
	Total	544.69	11			

SQ: soma de quadrados; GL: graus de liberdade; QM: quadrado médio; Fcal: valor do teste F, valor de probabilidade considerando um nível de significância de 5%