MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO – MEC
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ – UFPI
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO – PRPPG
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ALIMENTOS E NUTRIÇÃO – PPGAN

JÉSSICA PINHEIRO MENDES SAMPAIO

PROPRIEDADES FUNCIONAIS, COMPOSIÇÃO QUÍMICA E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DE FARINHA INTEGRAL EXTRUSADA DE FEIJÃO-CAUPI (*Vigna Unguiculata* (L.) Walp.)

TERESINA
2017

JÉSSICA PINHEIRO MENDES SAMPAIO

PROPRIEDADES FUNCIONAIS, COMPOSIÇÃO QUÍMICA E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DE FARINHA INTEGRAL EXTRUSADA DE FEIJÃO-CAUPI (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Alimentos e Nutrição como requisito para a obtenção do título de Mestre em Alimentos e Nutrição.

Linha de pesquisa: Qualidade de Alimentos

Orientador: Dr. Kaesel Jackson Damasceno e Silva

Coorientador: Dr. Jorge Minoru Hashimoto

TERESINA

2017

Universidade Federal do Piauí Serviço

de Processamento Técnico

Biblioteca Setorial do Centro de Ciências da Saúde

S192p

Sampaio, Jéssica Pinheiro Mendes.

Propriedades funcionais, composição química e atividade antioxidante de farinha integral extrusada de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) / Jéssica Pinheiro Mendes Sampaio. – – 2017.

92 f. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Pós-Graduação em Alimentos e Nutrição, 2017.

"Orientador: Prof. Dr. Kaesel Jackson Damasceno e Silva."

Bibliografia

1. Feijão-caupi. 2. Extrusão termoplástica. 3. Antioxidantes. I. Título. II. Teresina – Universidade Federal do Piauí.

CDD 612.3

PROPRIEDADES FUNCIONAIS, COMPOSIÇÃO QUÍMICA E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DE FARINHA INTEGRAL EXTRUSADA DE FEIJÃO-CAUPI (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)

JÉSSICA PINHEIRO MENDES SAMPAIO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Alimentos e Nutrição como requisito para a obtenção do título de Mestre em Alimentos e Nutrição.

Linha de pesquisa: Qualidade de Alimentos

Orientador: Dr. Kaesel Jackson Damasceno e Silva

Cooritentador: Dr. Jorge Minoru Hashimoto

Banca examinadora:

Prof. Dr. Kaesel Jackson Damasceno e Silva (Embrapa Meio-Norte/UFPI)
(Orientador/Presidente)

Prof. Dr. Jorge Minoru Hashimoto (Embrapa Meio-Norte/UFPI)
(Coorientador)

Prof. Dr. José Luis Ramirez Ascheri (Embrapa Agroindústria de Alimentos)
(1º Examinador)

Profª Drª Regilda Saraiva dos Reis Moreira-Araújo (UFPI)
(2º Examinador)

Prof. Dr. Robson Alves da Silva (IFPI)
(Suplente)

Aos meus pais, José e Dagmar, que sempre se dedicaram para que os meus sonhos se tornassem realidade.

AGRADECIMENTOS

Iniciar uma nova etapa da vida, tomar decisões importantes, persistir em um objetivo, tudo isso nos dá medo, nos faz questionar se teremos forças para lutar até o fim. No entanto, as batalhas se tornam mais leves quando se encontra apoio, e é com imenso prazer que agradeço a todos que contribuíram para essa vitória.

Ao meu Deus fiel, que de uma forma grandiosa preparou cada detalhe para tornar esse sonho possível.

A todos os docentes e funcionários da Universidade Federal do Piauí – UFPI, e do Programa de Pós-Graduação em Alimentos e Nutrição - PPGAN, em especial à coordenadora Dra. Adriana de Paiva Azevedo, pela atenção, ensinamentos e profissionalismo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao meu Orientador, Dr. Kaesel Jackson Damasceno e Silva, pela cordialidade e incentivo na busca pelo conhecimento, prezando pelo senso crítico na formação do discente.

Ao meu Coorientador, Dr. Jorge Minoru Hashimoto, pelo auxílio durante a toda a execução do trabalho.

À Embrapa Meio-Norte e aos técnicos do Laboratório de Bromatologia, Duarte e Antônio Carlos, pelo auxílio na execução das análises.

À Embrapa Agroindústria de Alimentos, em especial aos pesquisadores Dr. José Luis Ramírez Ascheri, Dr. Carlos Wanderlei Piler de Carvalho e Dra. Melicia Cintia Galdeano e ao técnico de laboratório Sr. Neuri, pela receptividade e contribuição no estudo.

À Dra. Regilda Saraiva dos Reis Moreira Araújo, pela realização das análises de compostos fenólicos e análise sensorial, pelos ensinamentos nas disciplinas do mestrado e pela luta e dedicação ao PPGAN.

Ao Dr. Robson Alves da Silva, pelas contribuições na banca de qualificação e por me receber tão bem como estagiária docente.

A toda minha família, especialmente aos meus pais José e Dagmar, e meu irmão Danylo, que são a minha fonte de inspiração para continuar sempre em frente e que acalmaram as minhas angústias com amor e orações.

À turma de Mestrado do PPGAN biênio 2015-2017, pela união e convivência harmoniosa.

Ao “Grupo Caupi”, Izabel Veras, Luís Michel, Lunna Paula e Olímpio Santos, com quem compartilhei alegrias e aflições, pela ajuda durante as análises e por terem tornado leves os momentos mais difíceis dessa jornada.

Enfim, a todos que de alguma maneira contribuíram para a realização dessa conquista.

Muito obrigada!

"Tudo tem o seu tempo determinado, e há tempo para todo propósito debaixo do céu."

Eclesiastes 3:1

RESUMO

SAMPAIO, J. P. M. **PROPRIEDADES FUNCIONAIS, COMPOSIÇÃO QUÍMICA E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DE FARINHA INTEGRAL EXTRUSADA DE FEIJÃO-CAUPI (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)**. 2017. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Alimentos e Nutrição, Universidade Federal do Piauí, Teresina-PI.

O feijão-caupi é mais comumente comercializado na forma de grãos secos, porém apresentam alterações indesejáveis nas qualidades sensoriais e culinárias durante o armazenamento, presença de compostos antinutricionais e de compostos indigeríveis, características que podem ser melhoradas com o processamento térmico. O presente estudo teve como objetivo elaborar uma farinha integral extrusada instantânea de feijão-caupi e determinar sua composição química e propriedades funcionais. Grãos de feijão-caupi, cultivar BRS Tumucumaque foram triturados em moinho de facas (Renard MFC-180-75-01), seguido da passagem em moinho de rolos (Brabender Quadrumat Senior), originando a farinha integral crua que foi submetida ao processo de extrusão em equipamento de dupla rosca (Clextral Evolum HT25). Para determinar as condições de processo ideais para obtenção de produtos de alta qualidade foi aplicado a Metodologia de Superfície de Resposta, utilizando um Delineamento Central Composto Rotacional para as variáveis independentes temperatura (86,4; 100; 120; 140 e 153,6 ºC), umidade (16,6; 18; 20; 22 e 23,4%) e velocidade de rotação das roscas (163,6; 300; 500; 700 e 836,4 RPM). Foram analisados os seguintes índices: expansão radial, expansão longitudinal, expansão volumétrico, solubilidade em água, absorção de água. Avaliou-se também, propriedades viscoamilográficas e de reconstituição, composição química, teor de minerais, quantificação de compostos fenólicos (fenólicos totais, flavonoides, antocianinas) e atividade antioxidante. Todas as análises foram realizadas em triplicata e os resultados expressos como média ± desvio-padrão. Os dados das características funcionais das farinhas foram analisados no Programa Statistica (versão 10), com nível de significância ($p<0,05$). Para análise de variância e comparação de médias (teste de Scott-Knott e de Dunnett) das demais características foi utilizado o programa SISVAR ($p<0,05$). Foram preditivas através análise de regressão o: índice de expansão radial, índice

de expansão longitudinal, índice de expansão volumétrico, índice de solubilidade em água, viscosidade máxima e viscosidade mínima e viscosidade final. Na análise de reconstituição, as farinhas extrusadas instantâneas dos tratamentos com as melhores características foram T01 (100 ºC, 300 RPM e 18%) T02 (100 ºC, 700 RPM e 18%), T04 (140 ºC, 300 RPM e 18%), T05 (100 ºC, 300 RPM e 22%), T07 (140 ºC, 300 RPM e 22%) e T11 (120 ºC, 163,4 RPM e 20%). Na composição centesimal foi observado uma redução no teor de umidade e lipídeos, com teores para as amostras extrusadas entre 8,01% e 8,98% e 0,93% e 1,57%, respectivamente. Quanto ao teor de minerais, as amostras do T15 (120 ºC, 500 RPM e 20%) apresentaram elevado teor de ferro e as amostras do T14 (120 ºC, 500 RPM e 23,4%) elevado teor de zinco. De modo geral houve diminuição nos compostos fenólicos e atividade antioxidante após a extrusão, fato esperado devido à alta temperatura do processo. No teste sensorial, a amostra T01 apresentou maior percentual de intenção positiva de compra.

Palavras-chave: Qualidade nutricional e sensorial. Extrusão termoplástica. Antioxidantes.

ABSTRACT

SAMPAIO, J. P. M. **FUNCTIONAL PROPERTIES, COMPOSITION CHEMICAL AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF WHOLE WHEAT FLOUR EXTRUDED OF COWPEA BEAN (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)**. 2017. Thesis (Master) - Master's Programme in Food and Nutrition, Federal University of Piauí, Teresina, PI.

Cowpea beans are most commonly marketed in the form of dry grains, but present undesirable changes in sensory and culinary qualities during storage, presence of antinutritional compounds and undigestible compounds, characteristics that can be improved with thermal processing. The present study aimed to develop a extruded whole cowpea flour and determine your chemical composition and functional properties. Cowpea beans, BRS Tumucumaque cultivar were crushed in knife mill (Renard MFC-180-75-01), followed by the roller mill (Brabender Quadrumat Senior), originating the raw whole cowpea flour that was submitted to the extrusion process in twin-screw extruder (Clextral Evolum HT25). To determine the ideal process conditions for obtaining high quality products, the Response Surface Methodology was applied using a Rotational Compound Central Design for independent variables temperature (86.4; 100; 120; 140 e 153.6 ºC), humidity (16.6; 18; 20; 22 e 23.4%) and speed of rotation of the threads (163.6; 300; 500; 700 e 836.4 rpm). The following indices were analyzed: radial expansion, longitudinal expansion, volumetric expansion, water solubility, water absorption. Also available, viscoamilographic and reconstitution properties, chemical composition, mineral content, quantification of phenolic compounds (total phenolics, flavonoids, anthocyanins) and antioxidant activity. All analyses were performers in triplicate and the results expressed as mean ± standard deviation. The data of the functional characteristics of the flours were analyzed in the Statistical Program (version 10), with significance level ($p < 0.05$). For analysis of variance and comparison of means (Scott-Knott and Dunnett's test) of the other characteristics, the SISVAR program was used ($p < 0.05$). The following variables were predicted by the regression analysis: were radial expansion index, water solubility index, maximum viscosity and minimum viscosity and final viscosity. For the reconstitution analysis, the instant extruded flours of the treatments with the best characteristics were T01 (100 ºC, 300 rpm, and 18%) T02 (100 ºC, 700 RPM, and 18%), T04 (140 ºC, 300 RPM, and 18%), T05 (100 ºC, 300 RPM, and 22%), T07

(140 ºC, 300 RPM, and e 22%) e T11 (120 ºC, 163.4 RPM, and 20%). In the centesimal composition, a reduction was observed in moisture content and lipids, with values for the extruded samples between 8.01%, 8.98%, 0.93% and 1.57% respectively. While the mineral content, the treatment samples T15 (120 ºC, 500 rpm, and 20%) presented high iron content and the samples from the T14 (120 ºC, 500 rpm, and 23.4%) high zinc content. In general, there was decrease in phenolic compounds and activity antioxidant after the extrusion, expected fact due to the high temperature of the extrusion process. No sensory test, an example T01 presented higher percentage of positive intention of purchase.

Keywords: Nutritional and sensorial quality. Thermoplastic extrusion. Antioxidants.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição centesimal (%) e teor de minerais (mg/100g) do grão integral cru e cozido de feijão-caupi, cultivar BRS Tumucumaque. 21
Tabela 2. Delineamento experimental do processo de extrusão da farinha integral de feijão-caupi. 29
Tabela 3. Formulação da preparação de caldo de feijão com farinha integral extrusada de feijão-caupi. 40
Tabela 4. Granulometria da farinha integral crua de feijão-caupi. 41
Tabela 5. Índice de Expansão Radial de extrusados de farinha integral de feijão-caupi. 44
Tabela 6. Coeficiente de regressão e desvio padrão da variável resposta Índice de Expansão Radial (IER) em função da variável da umidade (%), temperatura de processo (°C) e velocidade de rotação das roscas (rpm). 45
Tabela 7. Análise de variância da variável dependente Índice de Expansão Radial (IER). 45
Tabela 8. Índice de Expansão Longitudinal de extrusados de farinha integral de feijão-caupi. 47
Tabela 9. Coeficiente de regressão e desvio padrão da variável resposta Índice de Expansão Longitudinal (IEL) em função da variação da umidade (%), temperatura de processo (°C) e velocidade de rotação das roscas (rpm). 48
Tabela 10. Análise de variância da variável dependente Índice de Expansão Longitudinal (IEL). 48
Tabela 11. Índice de Expansão Volumétrico de extrusados de farinha integral de feijão-caupi. 50
Tabela 12. Coeficiente de regressão e desvio padrão da variável resposta Índice de Expansão Volumétrico (IEV) em função da variação da umidade (%), temperatura de processo (°C) e velocidade de rotação das roscas (rpm). 51
Tabela 13. Análise de variância da variável dependente Índice de Expansão Volumétrico (IEV). 51
Tabela 14. Resultado do Índice de Absorção em Água de farinha integral extrusada de feijão-caupi. 53
Tabela 15. Coeficiente de regressão e desvio padrão da variável resposta Índice de Absorção em Água (IAA) em função da variação da umidade (%), temperatura de processo (°C) e velocidade de rotação das roscas (rpm). 54
Tabela 16. Análise de variância da variável dependente Índice de Absorção em Água (IAA). 54
Tabela 17. Resultado do Índice de Solubilidade em Água de farinha integral extrusada de feijão-caupi. 55
Tabela 18. Coeficiente de regressão e desvio padrão da variável resposta Índice de Solubilidade em Água (ISA) em função da variação da umidade (%), temperatura de processo (°C) e velocidade de rotação das roscas (rpm). 56

Tabela 19. Análise de variância da dependente variável Índice de Solubilidade em Água (ISA).....56
Tabela 20. Resultados da caracterização de viscosidade de pasta de farinha integral instantânea de feijão-caupi.....58
Tabela 21. Coeficiente de regressão e desvio padrão da variável resposta Viscosidade Inicial a 25 ºC (VI) em função da variação da umidade (%), temperatura de processo (°C) e velocidade de rotação das roscas (rpm).....59
Tabela 22. Análise de variância da variável dependente Índice Viscosidade Inicial a 25ºC (VI).....60
Tabela 23. Coeficiente de regressão e desvio padrão da variável resposta Viscosidade Máxima (Vmáx) em função da variação da umidade (%), temperatura de processo (°C) e velocidade de rotação das roscas (rpm).....60
Tabela 24. Análise de variância da variável dependente Índice Viscosidade Máxima (Vmáx).....61
Tabela 25. Coeficiente de regressão e desvio padrão da variável resposta Viscosidade Mínima (Vmin) em função da variação da umidade (%), temperatura de processo (°C) e velocidade de rotação das roscas (rpm).....62
Tabela 26. Análise de variância da variável dependente Viscosidade Mínima (Vmin). 62
Tabela 27. Coeficiente de regressão e desvio padrão da variável resposta *Breakdown* em função da variação da umidade (%), temperatura de processo (°C) e velocidade de rotação das roscas (rpm). 64
Tabela 28. Análise de variância da variável dependente *Breakdown*. 65
Tabela 29. Coeficiente de regressão e desvio padrão da variável resposta Viscosidade Final em função da variação da umidade (%), temperatura de processo (°C) e velocidade de rotação das roscas (rpm). 65
Tabela 30. Análise de variância da variável dependente Viscosidade Final. 66
Tabela 31. Coeficiente de regressão e desvio padrão da variável resposta *Setback* em função da variação da umidade (%), temperatura de processo (°C) e velocidade de rotação das roscas (rpm).....67
Tabela 32. Análise de variância da variável dependente *Setback.* 67
Tabela 33. Tempo de reconstituição e características de farinhas integrais extrusadas de feijão-caupi a 30 ºC.....68
Tabela 34. Composição centesimal do grão, farinha crua e amostras extrusadas de feijão-caupi integral, valores apresentados em base seca.....70
Tabela 35. Conteúdo de minerais do grão, farinha crua e das amostras extrusadas de feijão-caupi integral. 72
Tabela 36. Teor de fenólicos totais, flavonoides e antocianinas do grão, farinha crua e amostras extrusada de feijão-caupi integral. 75
Tabela 37. Atividade antioxidante do grão, farinha crua e amostras extrusada de feijão-caupi integral. 77
Tabela 38. Aceitação global de farinha integral extrusada de feijão-caupi.....77

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Grãos de feijão-caupi cultivar BRS Tumucumaque. 20
Figura 2. Matéria-prima e farinhas integrais extrusadas de feijão-caupi de acordo com o tratamento realizado. 42
Figura 3. Efeito das variáveis independentes umidade (%) e temperatura (°C) sobre o índice de expansão radial de farinha integral extrusada de feijão-caupi. 46
Figura 4. Efeito das variáveis independentes umidade (%) e rotação (rpm) sobre o índice de expansão longitudinal de farinha integral extrusada de feijão-caupi. 49
Figura 5. Efeito das variáveis independentes temperatura (°C) e rotação (rpm) sobre o índice de expansão volumétrico de farinha integral extrusada de feijão-caupi. 52
Figura 6. Efeito das variáveis independentes umidade (%) e temperatura (ºC) sobre o índice de solubilidade em água de farinha integral extrusada de feijão-caupi. 57
Figura 7. Efeito das variáveis independentes umidade (%) e temperatura (ºC) sobre a viscosidade máxima de farinha integral extrusada de feijão-caupi..... 61
Figura 8. Efeito das variáveis independentes umidade (%) e temperatura (ºC) sobre a viscosidade mínima de farinha integral extrusada de feijão-caupi. 63
Figura 9. Efeito das variáveis independentes temperatura (ºC) e rotação (rpm) sobre a viscosidade final de farinha integral extrusada de feijão-caupi..... 66
Figura 10. Intenção de compra para farinha integral extrusada de feijão caupi. 78

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 17
2 REFERENCIAL TEÓRICO 19
2.1 Feijão-caupi 19
2.1.1 Características da cultivar BRS Tumucumaque 20
2.2 Utilização tecnológica da farinha de feijão-caupi 22
2.3 Extrusão de alimentos 23
2.3.1 Propriedades funcionais de farinha instantânea extrusada 24
2.3.2 Efeito da extrusão sobre a qualidade nutricional dos alimentos 25
3 OBJETIVOS 27
3.1 Geral 27
3.2 Específicos 27
4 METODOLOGIA 28
4.1 Local e período de estudo 28
4.2 Matéria-prima e protocolo experimental 28
4.2.1 Preparo da amostra e processo de extrusão 28
4.2.2 Delineamento experimental 29
4.3 Determinação da granulometria e diâmetro médio da partícula 30
4.4 Propriedades físicas e funcionais das farinhas extrusadas 30
4.4.1 Índice de expansão radial (IER) 30
4.4.2 Índice de expansão longitudinal (IEL) 31
4.4.3 Índice de expansão volumétrico (IEV) 31
4.4.4 Índice de absorção em água (IAA) e índice de solubilidade em água (ISA) 31
4.4.5 Propriedades viscoamilográficas 32
4.4.6 Análise de reconstituição 33
4.5 Caracterização química da matéria-prima e das farinhas extrusadas 34
4.5.1 Composição centesimal 34
4.5.2 Determinação de elementos minerais (Ca, Mg, Zn, Fe, Cu, Mn, P, Na e K) 36
4.6 Compostos fenólicos e atividade antioxidante 37
4.6.1 Elaboração dos extratos 37
4.6.2 Compostos Fenólicos Totais 37
4.6.3 Flavonoides Totais 38
4.6.4 Antocianinas totais 38
4.6.5 Atividade antioxidante 38

4.7 Análise sensorial 39
4.8 Critérios éticos 40
4.9 Análise estatística 40
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 41
5.1 Classificação granulométrica da matéria-prima 41
5.2 Caracterização visual das farinhas 43
5.3 Efeito dos parâmetros de extrusão nas propriedades físicas e funcionais 43
5.3.1 Índice de expansão radial (IER) 43
5.3.2 Índice de expansão longitudinal (IEL) 46
5.3.3 Índice de expansão volumétrico (IEV) 49
5.3.4 Índice de absorção em água (IAA) 52
5.3.5 Índice de solubilidade em água (ISA) 55
5.3.6 Propriedades viscoamilográficas 57
5.3.7 Reconstituição e comportamento das farinhas extrusadas 68
5.4 Composição química 69
5.5 Compostos fenólicos e atividade antioxidante 74
5.6 Análise sensorial 77
6 CONCLUSÕES 80
REFERÊNCIAS 81
APÊNDICES 89

1 INTRODUÇÃO

O grão de feijão cozido é um alimento tradicionalmente consumido pelos brasileiros, representando uma importante fonte de proteínas e das espécies cultivadas, somente a *Phaseolus vulgaris* (L.) e *Vigna unguiculata* (L.) Walp, feijão-comum e feijão-caupi, respectivamente, são consideradas como feijão pelo regulamento técnico (BRASIL, 2008; FREIRE FILHO et al., 2011).

O feijão-caupi apresenta diversas vantagens agronômicas, ambientais e econômicas, contribuindo para melhorar a dieta e o rendimento dos agricultores em toda a África, Ásia e América do Sul. No Brasil, no ano de 2015, seu cultivo correspondeu a uma área de 1.078.040 hectares, com produção de 452.013 toneladas e rendimento médio de 419 kg/ha (EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO, 2016; GONÇALVES et al., 2016).

Também chamado de feijão-de-corda ou feijão-macassar, possui três segmentos de mercado bem estabelecidos: o grão seco, que corresponde a quase totalidade do mercado; o feijão verde, onde predomina a agricultura familiar; e na forma de sementes (FREIRE FILHO et al., 2011).

Quanto ao seu perfil nutricional, registra um alto conteúdo energético e de fibras alimentares, baixo teor de lipídeos, com maior proporção de ácidos graxos insaturados e a inclusão de feijão-caupi na dieta tem sido relacionada a efeitos fisiológicos benéficos como melhora do perfil lipídico e ação antioxidante (ANDRADE et al., 2010; FROTA et al., 2015; FROTA; SOARES; ARÊAS, 2008; KAPRAVELOU et al., 2015).

Mas por outro lado, os feijões apresentam propriedades indesejáveis como problemas relacionados ao armazenamento (fenômeno *hard-to-cook*), presença de compostos antinutricionais e de compostos indigeríveis que produzem flatulência. Esses fatores diminuem a aceitação e a utilização do feijão-caupi, o que torna necessário o desenvolvimento de métodos de processamento que diminuam esses efeitos (BATISTA; PRUDÊNCIO; FERNANDES, 2010; GOMES et al., 2006).

Algumas técnicas pós-colheita têm sido utilizadas não apenas para a obtenção de produtos mais palatáveis, mas também para melhorar o valor nutritivo dos grãos, aumentar a estabilidade no armazenamento e proporcionar facilidade no

consumo, dentre elas cita-se a extrusão termoplástica (JOYNER; YADAV, 2012; WANG et al., 2002).

A extrusão é um processo contínuo no qual a matéria-prima é submetida a condições de mistura, aquecimento e pressão, resultando na formatação dos produtos alimentícios. É empregada na elaboração de cereais pré-cozidos, *snacks* e farinhas instantâneas e possui como vantagens a melhoria na digestibilidade das proteínas e do amido, diminuição ou eliminação de fatores antinutricionais e melhoria das propriedades funcionais e menor degradação dos nutrientes (BATISTA et al., 2010; NASCIMENTO et al., 2007; SILVA; ASCHERI; PEREIRA, 2008).

Os produtos extrusados geralmente são pobres em nutrientes, pois são produzidos com farinhas amiláceas e aromatizados com o uso de lipídeos, apresentando elevado valor calórico e baixo teor de proteínas e fibras, o que pode ser melhorado com a incorporação de leguminosas e frutas na sua formulação. Nesse sentido tem sido proposta a incorporação da farinha de feijão-caupi em produtos à base de cereais como estratégia para atender ao interesse dos consumidores por produtos mais saudáveis (CAPRILES; SOARES; ARÊAS, 2007; FROTA et al., 2010).

Trabalhos realizados com a adição da farinha de feijão-caupi em produtos de panificação tem proporcionado uma melhora do valor nutritivo, com aumento no teor de proteínas, fibras e de minerais como zinco, ferro, fósforo, potássio e magnésio. Tem sido observada também uma boa aceitação dos produtos nos testes sensoriais, indicando que o feijão-caupi apresenta-se como uma boa opção para enriquecimento de alimentos (BATISTA; PRUDÊNCIO; FERNANDES, 2011; CAVALCANTE et al., 2016; FROTA et al., 2010).

Portanto, o presente trabalho teve como objetivo elaborar uma farinha integral instantânea extrusada de feijão-caupi. Com o processamento e a obtenção de novos produtos busca-se incentivar o consumo do grão, além de evitar perdas devido aos problemas relacionados ao armazenamento.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Feijão-caupi

O feijão-caupi é uma Dicotiledônia pertencente à ordem *Rosales*, família *Leguminosae*, subfamília *Papilionoideae*, tribo *Phaseoleae*, subtribo *Phaseolinae*, gênero *Vigna* e espécie *Vigna unguiculata* L. Walp. Seus grãos constituem-se em um alimento básico da população brasileira, principalmente da nordestina, e o menor custo de suas proteínas em relação aos produtos de origem animal faz com que sejam a principal fonte desse nutriente para as populações de baixa renda (LIMA et al., 2003; MESQUITA et al., 2007). Fornece também carboidratos, fibras, minerais (ferro, zinco, sódio, potássio, magnésio, cálcio, manganês e cobre) e apresenta baixo teor de lipídeos, com maior proporção de ácidos graxos insaturados (CARVALHO et al., 2012; FREIRE FILHO, 2011).

O cultivo dessa leguminosa é de grande importância econômica, dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) mostraram que na safra 2015/2016 a produtividade nacional foi 210 kg/ha, com a produção de 81,7 mil toneladas. Quanto a sua comercialização, esta é voltada para a produção de grãos, secos ou verdes, para o consumo humano, *in natura*, na forma de conserva ou desidratado (CONAB, 2017).

Apesar do seu ótimo perfil nutricional, assim como as demais leguminosas, o feijão-caupi apresenta deficiência em aminoácidos sulfurados e presença de compostos antinutricionais, como inibidores de proteases, lecitina, ácido fítico e taninos, que podem causar efeitos fisiológicos adversos e diminuição da digestibilidade (CARVALHO et al., 2012; KAPRAVELOU et al., 2015; MESQUITA et al., 2007).

Além das propriedades nutricionais, outros efeitos do consumo de feijão-caupi têm sido avaliados, como relatado no estudo de Frota et al. (2015), onde mencionaram que a ingestão de proteína isolada de feijão-caupi levou a uma significativa melhora no perfil lipídico de pacientes com hipercolesterolemia moderada. Kapravelou et al. (2015) relataram efeitos positivos da farinha do grão sobre o metabolismo lipídico em animais modelo e observaram também atividade antioxidante utilizando diferentes métodos *in vivo* e *in vitro*. Tais evidências

fortalecem o potencial do feijão-caupi como alimento funcional a ser utilizado como parte de um padrão de estilo de vida saudável.

Como forma de obter grãos com melhores características de produtividade e qualidade nutricionais, tem sido desenvolvido através do melhoramento genético, cultivares de feijão-caupi que se adequem ao cultivo totalmente mecanizado para a agricultura empresarial e com teores mais elevados de micronutrientes, uma estratégia importante para combater as deficiências nutricionais (FREIRE FILHO et al., 2011; PEREIRA et al., 2014).

A cultivar BRS Tumucumaque se adequa à produção em larga escala requerida para a industrialização, é biofortificada em ferro e zinco, e considerando essas características, foi selecionada como matéria-prima principal para execução desta pesquisa.

2.1.1 Características da cultivar BRS Tumucumaque

A cultivar BRS Tumucumaque foi lançada no ano de 2009, possui ciclo de 65-70 dias, produtividade média de grãos de 1.100 $kg.ha^{-1}$ em cultivo de sequeiro, é moderadamente resistente a vírus e com tempo de cozimento de 13 minutos. Os grãos apresentam cor branca, tegumento liso, com anel do hilo marrom, sem halo, levemente reniforme e de tamanho médio (EMBRAPA, 2010).



Figura 1. Grãos de feijão-caupi cultivar BRS Tumucumaque.

Fonte: Embrapa, 2010.

Por apresentar porte semiereto com ramos consistentes, dificulta o acamamento, o que facilita tanto a colheita manual quanto a mecanizada, sendo ideal para produção em larga escala. Torna-se, dessa forma, mais uma alternativa para incentivar a produção de alimentos, por ser de ciclo precoce, arquitetura

moderna e grãos de grande aceitação comercial (CAVALCANTE et al., 2014; EMBRAPA, 2009).

Barros (2014) avaliou a composição centesimal e o teor de minerais de grãos integrais crus e após o cozimento da cultivar BRS Tumucumaque (Tabela 1).

Tabela 1. Composição centesimal (%) e teor de minerais (mg/100g) do grão integral cru e cozido de feijão-caupi, cultivar BRS Tumucumaque.

Componentes	**Grão integral cru**	**Grão integral cozido**
Umidade	10,44 ± 0,00	61,56 ±0,34
Cinzas	3,67 ± 0,10	1,42 ± 0,01
Proteínas	23,57 ± 0,12	23,28 ± 0,30
Lipídeos	1,69 ± 0,10	2,07 ± 0,021
Carboidratos	60,63 ± 0,10	11,66 ±0,15
Cálcio (Ca)	58,5 ± 3,75	32,00±1,52
Cobre (Cu)	0,33 ± 0,01	0,17±0,00
Ferro (Fe)	4,57 ± 0,08	2,04±0,03
Fósforo (P)	396,0 ± 5,89	203,0±5,65
Potássio (K)	394,0 ± 8,32	587,0±8,89
Sódio (Na)	3,0 ± 0,02	17,0 ± 0,03
Magnésio (Mg)	125,0 ± 3,45	58,0±2,98
Zinco (Zn)	2,99 ± 0,05	1,52 ± 0,04

Valores expressos em médias ± desvio padrão de três repetições.
Fonte: Barros (2014).

O consumo do feijão-caupi, apesar dos vários benefícios evidenciados, tem sido limitado às formas tradicionais de preparo, dessa forma observou-se a necessidade de criar novas opções de formas de consumo através do desenvolvimento de novos produtos contendo exclusivamente o feijão-caupi por meio de processos tecnológicos que eliminem ou minimizem as suas características negativas, aumentando a aceitação por parte dos consumidores (NYOMBAIRE, SIDDIQ; DOLAN, 2011).

2.2 Utilização tecnológica da farinha de feijão-caupi

Nessa perspectiva, a produção da farinha instantânea de feijão-caupi é uma opção para o processamento dos grãos, podendo ser utilizada na elaboração de alimentos de rápido preparo, como sopas e mingaus, e também em produtos de panificação. Além de agregar valor ao produto, traz benefícios como diminuição de perdas por armazenamento prolongado e aumento das opções de formas de consumo (GOMES; REIS; SILVA, 2012).

Outro segmento de mercado promissor para o uso dessa farinha vem da crescente demanda por produtos isentos de glúten, que tem sido impulsionada por pessoas que sofrem de doença celíaca ou outras condições; e também para uso em dietas de controle de peso, devido ao seu menor conteúdo de carboidratos e maior teor de proteínas quando comparada com farinha de trigo (SIDDIQ et al., 2013).

Frota et al. (2010) elaboraram biscoitos e rocamboles utilizando a farinha de cotilédones de feijão-caupi (FCFC) em substituição à farinha de trigo em diferentes proporções. Verificou-se um aumento no teor de proteínas no biscoito com 30% de FCFC e no rocambole com 20%. Houve também aumento significativo dos teores de fósforo, ferro, potássio, magnésio e zinco com a adição da farinha. Os autores concluíram que a utilização da farinha de feijão-caupi contribui para aumentar o valor nutricional dos produtos, mantendo as boas características de aceitação, o que indica que podem ser recomendados para o consumo da população em geral.

Foram elaborados em outra pesquisa pães de trigo enriquecidos com farinhas integrais extrusadas de feijão-caupi (FIEFC) e de feijão preto (FIEFP). A adição de 10% de FIEFP levou a aumento de 9% no teor de proteínas e o teor de fibras ficou 2,6 vezes maior que na formulação padrão; já o pão com 10% FIEFC apresentou aumento de 12% de proteínas e teor de fibras foi 2,2 vezes maior que o padrão. Já o valor calórico e o teor de lipídeos não foram alterados com a adição das farinhas. Portanto, as farinhas de feijão constituem ingredientes nutricional e economicamente viáveis para a elaboração de pães, conferindo melhoria das características nutricionais (BATISTA; PRUDÊNCIO; FERNANDES, 2011).

Simplício (2013) elaborou pães enriquecidos com FCFC utilizando as cultivares BRS Tumucumaque e BRS Aracê, substituindo a farinha de trigo nas proporções de 25 e 35% para cada cultivar. A adição da FCFC melhorou o valor nutritivo dos pães, destacando-se os teores de minerais como ferro, zinco, magnésio

e fósforo, que atenderam as quantidades das DRI's direcionadas a crianças de 4 a 8 anos de idade. Quanto ao teor de fibras, a autora destaca que os pães enriquecidos são considerados como fonte, pois apresentaram 4,25 e 4,65g/100g nos pães contendo FCFC de BRS Aracê e BRS Tumucumaque, respectivamente. Quanto à análise sensorial, as formulações com 25% de FCFC apresentaram melhores resultados de aceitação e preferência.

Observa-se conforme mencionado nas informações anteriores que a substituição de farinhas tradicionais pela de FCFC promove uma melhoria no valor nutricional dos produtos, o que é de grande importância não apenas para a indústria de alimentos, como também por favorecer a melhoraria na qualidade da alimentação da população (MOREIRA-ARAÚJO; ARAÚJO; ARÊAS, 2008).

2.3 Extrusão de alimentos

A extrusão termoplástica é uma tecnologia originada na indústria de plásticos e tem sido utilizada para produção de uma grande variedade de produtos alimentícios como *snacks*, amidos modificados, massas alimentícias, produtos de confeitaria, proteínas vegetais texturizadas, cereais matinais e outros. Apresenta como vantagens a versatilidade, produção em larga escala e formulação de alimentos com melhores características nutricionais e sensoriais (BRENNAN et al., 2013; MARQUES; MARQUES; COSTA, 2015).

Consiste em um processo térmico de curta duração a temperaturas elevadas, em que materiais amiláceos e/ou proteicos umedecidos são plasticizados e cozidos pela combinação de umidade, pressão, temperatura, cisalhamento mecânico e são modelados ao passar de forma pressurizada através de um orifício de formato desejado para ser reestruturado em novas formas e texturas, podendo melhorar as propriedades sensoriais, assim como a digestibilidade (OLIVEIRA et al., 2004).

O extrusor é constituído pelo silo de alimentação, parafuso ou rosca, cilindro encamisado, matriz e mecanismo de corte. Existem três principais tipos de roscas: rosca única, dupla rosca e cônica; e independente do tipo utilizado, a velocidade de rotação é constante no interior do cilindro, fazendo com o que o material se movimente em um único sentido com pressão e cisalhamento contínuo, então a massa homogênea é pressionada a passar pela matriz. O extrusor de rosca única é mais simples e de menor custo quando comparado ao de dupla rosca, no entanto

apresenta limitação com relação às propriedades das matérias-primas (BRENNAN et al., 2012; REIFSTECK; JEON, 2000).

O controle das condições do processo de extrusão é de grande importância para garantir qualidade dos alimentos, evitar a perda de nutrientes e melhorar a eficiência e economia da operação. Dentre os fatores que influenciam no processo estão as propriedades relacionadas à matéria-prima (teor de umidade, características do amido, teor de gordura, tamanho da partícula e dureza do grão) e parâmetros do processo (velocidade do parafuso, taxa de alimentação, taxa de aquecimento, configuração das roscas e do canhão, etc.) (BRENNAN et al., 2013; CARVALHO; ASCHERI; CAL-VIDAL, 2002).

Algumas propriedades ou características principais devem ser avaliadas para verificar a aplicação tecnológica do produto extrusado, como a solubilidade em água, índice de absorção de água, viscosidade, índice de expansão, cor, textura, dentre outros (LAZOU; KROKIDA, 2010).

2.3.1 Propriedades funcionais de farinha instantânea extrusada

A farinha instantânea apresenta propriedades que são altamente influenciadas pelos componentes da matéria-prima e pelas condições do processo de extrusão. Portanto, para que determinado ingrediente tenha aplicação alimentar, é importante avaliar a absorção de água, solubilidade, capacidade de formação de gel, assim como suas propriedades viscoamilográficas (ASCHERI; CARVALHO, 2014).

O Índice de Solubilidade em Água (ISA) é a medida da capacidade de uma determinada substância dissolver-se em um líquido, indica a intensidade do tratamento térmico e é utilizada para medir a degradação do amido, pois um aumento neste índice indica um aumento das moléculas solúveis na farinha extrusada, embora a solubilidade de outras substâncias presentes na farinha também possa aumentar (HERNANDEZ-DIAZ et al., 2007).

Já o Índice de Absorção de Água (IAA) indica a quantidade de água absorvida pelos grânulos de amidos de uma determinada amostra submetida a um tratamento térmico, está relacionada com a capacidade de formação de gel de grânulos de amido danificados ou que tiveram as cadeias lineares de glicose separadas. Após o processo de extrusão, o amido absorve água rapidamente formando uma pasta à

temperatura ambiente, sendo assim, algumas farinhas extrusadas são comercializadas como farinhas pré-gelatinizadas (CARVALHO; ASCHERI; CAL-VIDAL, 2002).

Os parâmetros de viscosidade de pasta são de suma importância na elaboração de alimentos como mingaus, sopas instantâneas, dentre outros, pois permitem avaliar o comportamento do amido em meio aquoso, aplicando-se diferentes temperaturas durante o processo (NASCIMENTO et al., 2007; TEBA, ASCHERI; CARVALHO, 2009).

As alterações que ocorrem nos grânulos de amido são medidas principalmente pelas mudanças da viscosidade durante o aquecimento e resfriamento de dispersões de amido, sendo utilizado equipamentos como o *Rapid Visco Analyser* (Analisador Rápido de Viscosidade) (OLIVEIRA FILHO; MANCIM, 2009). Esse equipamento avalia alguns parâmetros como descritos nos parágrafos seguintes.

A viscosidade inicial a 25 ºC, também chamada de viscosidade de pasta a frio, indica a capacidade das farinhas de absorver água a temperatura ambiente e formar uma pasta, gel ou líquido viscoso. A viscosidade de pasta a 95 ºC é um parâmetro que mede a resistência do grânulo de amido ao colapso resultante da ação da temperatura e do atrito mecânico no viscoamilógrafo (CARVALHO et al., 2002).

Durante o ciclo de aquecimento até 95 °C ocorre intumescimento e gelatinização dos grânulos de amido, atingindo o pico máximo nessa etapa. No processo de extrusão, dependendo das condições do processo, o tratamento térmico pode destruir a estrutura cristalina do amido, de tal forma que, no ciclo de aquecimento, o viscoamilograma apresenta ausência de pico e valores muito baixos de viscosidade. Porém, se os tratamentos não forem tão severos, parte do amido ou alguns grânulos podem ter conservado a sua estrutura amilácea. Nessa condição, observam-se valores relativamente altos de viscosidade de pasta, pois há maior número de grânulos em condição de intumescimento (CARVALHO et al., 2002).

2.3.2 Efeito da extrusão sobre a qualidade nutricional dos alimentos

A extrusão possui algumas características positivas em comparação com outros processamentos térmicos, pois o material é submetido a um intenso

cisalhamento mecânico que é capaz de quebrar ligações covalentes de biopolímeros, com quebra na estrutura, facilitando a modificação nas propriedades funcionais dos alimentos (SINGH; GAMLATH; WAKELING, 2007).

Com relação ao amido, há uma melhora na digestibilidade do amido devido à gelatinização e degradação parcial, e nas proteínas como resultado da desnaturação durante o processamento. Além disso, o processo inativa enzimas indesejáveis, elimina alguns fatores antinutricionais e diminui de forma significativa a carga microbiana (BHANDARI; D'ARCY; YOUNG, 2001; FELLOWS, 2000).

Essas mudanças foram observadas por Batista, Prudêncio e Fernandes (2010) ao avaliarem os efeitos da extrusão na farinha integral de feijão-caupi utilizando uma extrusora Ceraltec International (CT-L15). Os autores constataram uma redução dos inibidores de tripsina, que apesar da sua estabilidade térmica, foram afetados pela combinação de calor e umidade do processo (possivelmente por interferir no atrito entre as partículas, sendo parte transformada em energia térmica). Eles observaram também que o processamento foi eficaz na destruição dos inibidores de α-amilase e redução no teor de ácido fítico, e que a digestibilidade da proteína da farinha extrusada aumentou em 55,9% em relação à farinha crua, explicando que foi devido à diminuição dos fatores antinutricionais. Houve um aumento da solubilidade em água e do índice de absorção de água, com formação de gel, indicando que a farinha dessa leguminosa tem o potencial para aplicação na preparação de pães, pó para sopa e creme.

Portanto, conhecida a importância nutricional e econômica do feijão-caupi, é de suma importância pesquisas que busquem outras formas para comercialização do grão, incentivando e ou ofertando novas opções para o seu consumo e também melhorando as suas características nutricionais e tecnológicas por meio do processamento.

3 OBJETIVOS

3.1 Geral

Avaliar as propriedades funcionais, características físico-químicas, sensoriais e atividade antioxidante de farinha integral extrusada de feijão-caupi.

3.2 Específicos

- Elaborar uma farinha integral extrusada de feijão-caupi;
- Analisar os efeitos dos parâmetros de extrusão nas propriedades físicas e funcionais da farinha extrusada de feijão-caupi;
- Analisar a composição centesimal e teor de minerais das farinhas crua e extrusada de feijão-caupi;
- Quantificar os compostos fenólicos e atividade antioxidante das farinhas crua e extrusada de feijão-caupi;
- Verificar a aceitação da farinha extrusada desenvolvida.

4 METODOLOGIA

4.1 Local e período de estudo

O processo de extrusão e as análises das propriedades funcionais foram realizados no Laboratório de Propriedades Físicas e na Planta Piloto de Extrusão Termoplástica da Embrapa Agroindústria de Alimentos, no Rio de Janeiro – RJ, as análises de composição centesimal e minerais foram executadas no laboratório de Bromatologia da Embrapa Meio-Norte, em Teresina – PI, a quantificação dos compostos fenólicos e atividade antioxidante no Laboratório de Bromatologia e Bioquímica de Alimentos e a análise sensorial no Laboratório de Desenvolvimento de Produtos e Análise Sensorial de Alimentos no Departamento de Nutrição da Universidade Federal do Piauí, em Teresina – PI. Os estudos foram executados no período de março de 2016 a março de 2017.

4.2 Matéria-prima e protocolo experimental

4.2.1 Preparo da amostra e processo de extrusão

Para a obtenção da farinha utilizou-se grãos integrais de feijão-caupi da cultivar BRS Tumucumaque, desenvolvida pela Embrapa Meio-Norte. Os grãos foram triturados em moinho de facas (Renard MFC-180-75-01) acoplado com uma tela de abertura de 3 mm de diâmetro, seguido da passagem no moinho de rolos (Brabender Quadrumat Senior), dando origem a farinha integral crua. Posteriormente a farinha foi submetida ao processo de extrusão em equipamento de dupla rosca (Clextral Evolum HT25), equipada com matriz de 4 furos de 3,8 mm de diâmetro e taxa de alimentação de 6,79 kg/h, seguindo o delineamento estabelecido. Após a extrusão das amostras, estas foram transferidas para a secagem de acordo com metodologia proposta por Silva (2007), onde os tratamentos foram dispostos em bandejas e colocados na estufa, ajustada a 60 °C e mantidas durante o período de 4 horas. Posteriormente foram recolhidos em sacos de polietileno até o processo de moagem para obtenção das farinhas instantâneas e posterior análises.

4.2.2 Delineamento experimental

Foram consideradas como variáveis independentes do processamento a velocidade de rotação das roscas, temperatura de processo e umidade da farinha antes de ser submetido ao processo de extrusão. A escolha dos parâmetros e os respectivos intervalos utilizados no processo foram definidos por meio de estudos preliminares e baseados em dados da literatura.

Na Tabela 2 está apresentado o delineamento do planejamento experimental com os níveis codificados e reais das variáveis estudadas. Os ensaios foram executados em ordem aleatória por meio de sorteio.

Tabela 2. Delineamento experimental do processo de extrusão da farinha integral de feijão-caupi.

Ensaio	X1	X2	X3	Temperatura (ºC) (X1)	Rotação (RPM) (X2)	Umidade (%) (X3)
1	-1	-1	-1	100	300	18
2	-1	1	-1	100	700	18
3	1	-1	-1	140	300	18
4	1	1	-1	140	700	18
5	-1	-1	1	100	300	22
6	-1	1	1	100	700	22
7	1	-1	1	140	300	22
8	1	1	1	140	700	22
9	-α	0	0	86,4	500	20
10	α	0	0	153,6	500	20
11	0	-α	0	120	163,6	20
12	0	A	0	120	836,4	20
13	0	0	-α	120	500	16,6
14	0	0	α	120	500	23,4
15	0	0	0	120	500	20
16	0	0	0	120	500	20
17	0	0	0	120	500	20
18	0	0	0	120	500	20
19	0	0	0	120	500	20

X1= Temperatura da 3ª zona do extrusor (ºC)
X2= Rotação das roscas (RPM)
X3= Umidade da amostra (%)
α = ± $\sqrt[4]{8}$

Para analisar o efeito combinado dessas variáveis nas características da farinha instantânea foi utilizado um Delineamento do tipo Composto Central

Rotacional (DCCR) de 2ª ordem (2^3), com um total de 19 tratamentos, sendo 8 correspondentes aos pontos fatoriais; 6 pontos axiais; 5 pontos centrais, sendo α = $\sqrt[4]{8}$ = 1,6817..., de acordo com a Metodologia de Superfície resposta (MSR).

4.3 Determinação da granulometria e diâmetro médio da partícula

Para a determinação da granulometria das farinhas foi utilizado um equipamento constituído por um jogo de cinco peneiras em sequência decrescente de abertura de malha, um fundo fechado e uma base vibratória, tamizador (marca Produtest). Os diâmetros de abertura das malhas das peneiras foram de 0,149 mm, 0,25 mm, 0,42 mm, 1 mm, e 2 mm. As amostras de farinha foram colocadas nas peneiras e estas submetidas à vibração, com o reostato ajustado na posição de velocidade 10 por 5 minutos, pesando-se em seguida a quantidade de amostra retida em cada peneira (CEREDA; CATÂNEO, 1986).

A determinação do diâmetro médio da partícula foi realizada pelo método descrito por Henderson e Perry (1976), utilizando a fórmula:

$$D=104,14 \times 2^{MF}$$

Onde: D = diâmetro médio da partícula em micrômetros e MF = módulo de finura. O módulo de finura é definido como a soma das frações retidas acumuladas em cada peneira dividido por 100 (Módulo de Finura (MF) = Σ% retida acumulada/100).

4.4 Propriedades físicas e funcionais das farinhas extrusadas

4.4.1 Índice de expansão radial (IER)

O índice de expansão radial (IER) foi calculado seguindo a metodologia descrita por Alvarez-Martinez et al. (1988) de acordo com a seguinte equação:

$$IER = [D/D_o]$$

Onde:

D=diâmetro do extrusado após atingir a temperatura ambiente

Do=diâmetro da matriz da extrusora

Para a determinação do diâmetro foi utilizado um paquímetro da marca Disma 6'' 150 mm, a medição foi realizada em três pontos distintos de cada extrusado e o diâmetro resultante da média destes pontos, num total de 10 repetições.

4.4.2 Índice de expansão longitudinal (IEL)

O índice de expansão longitudinal foi determinado seguindo a metodologia descrita por Alvarez-Martinez et al. (1988), de acordo com a seguinte equação:

$$IEL = [pd / pe] [1 / IER] [1-Md / 1-Me]$$

Onde:
Pd = é a densidade da massa fundida antes da matriz ou dentro do extrusor, considerada 1400 kg/m^3 (densidade do amido de milho);
Pe = densidade do extrusado;
Md = umidade da massa da amostra no condicionamento em base úmida;
Me = umidade do extrusado em base úmida.

4.4.3 Índice de expansão volumétrico (IEV)

O índice de expansão volumétrico (IEV) foi calculado seguindo a metodologia descrita por Alvarez-Martinez et al. (1988) de acordo com a seguinte equação:

$$IEV = IER \times IEL$$

4.4.4 Índice de absorção em água (IAA) e índice de solubilidade em água (ISA)

A determinação do ISA e IAA foi realizada conforme metodologia descrita por Anderson et al. (1969), com modificações. Pesou-se cerca de 1 g da amostra, de cada tratamento, em tubos de centrífuga, previamente tarados. Com o auxílio de uma pipeta volumétrica, adicionou-se 10 mL de água destilada aos tubos os quais foram submetidos à agitação em sistema mecânico tipo Vortex, que permitiu a homogeneização completa das amostras. Em seguida, os tubos foram colocados em

um agitador horizontal mecânico, da marca Eberback 625, tipo Shaker Bath por 30 minutos e após este período foram centrifugados durante 15 minutos sob rotação de 3.000 rpm em centrífuga da marca Hermle, modelo Z383.

Os líquidos sobrenadantes foram colocados em placas de Petri, previamente taradas e submetidas ao processo de secagem em estufa com circulação de ar durante 4 horas a 105 °C. Após secagem, as placas foram pesadas em temperatura ambiente.

Foi utilizada a seguinte equação para o cálculo do Índice de solubilidade em água (ISA):

$$ISA = \frac{\text{peso do resíduo evaporado (g)}}{\text{peso da amostra (g)}} \times 100$$

Após a retirada do líquido sobrenadante os tubos de centrífuga foram pesados e assim, foi calculado o IAA, de acordo com a seguinte equação adaptada por Hashimoto e Grossmann (2003):

$$IAA = \frac{\text{peso do resíduo centrifugado(g)}}{\text{peso da amostra (g)}} = \text{g gel/g matéria seca}$$

4.4.5 Propriedades viscoamilográficas

A viscosidade das amostras foi determinada com o uso do analisador rápido de viscosidade (Rapid Visco Analyser), modelo 960648 RVA-4D da Newport Scientific Pty. Ltd. provido do software Thermocline, através de metodologia específica (N.S., 1997), com adaptações.

Para a determinação do perfil viscoamilográfico das amostras extrusadas, estas foram moídas em moinho de disco e peneiradas no agitador de peneiras RO-TAP modelo RX-29-10. Segundo Becker, Hilll e Mitchell (2001) a diferença do tamanho das partículas entre as amostras pode ocasionar a má interpretação dos resultados obtidos, logo a fração retida na peneira de 106 µm foi utilizada para esta

análise. Para tal, 3 g de farinha extrusada com umidade corrigida para 14% foi adicionada de água destilada até peso final de 28 g (ASCHERI et al., 2006).

Utilizou-se o perfil de análise “Extrusion 3”, caracterizado por seguir sequencialmente as seguintes etapas: inicialmente o sistema foi mantido a 25 °C durante 2 minutos. O aquecimento ocorreu logo em seguida até alcançar a temperatura máxima de 95 °C aos 7 minutos, onde permaneceu sob ação da hélice agitadora durante 3 minutos. Logo após, foi finalizado com a etapa de resfriamento até retornar à temperatura de 25 °C, totalizando de 20 minutos de análise.

Para a interpretação dos amilogramas, foram utilizados os seguintes parâmetros: temperatura da viscosidade máxima, viscosidade inicial (ou viscosidade a frio), viscosidade máxima, viscosidade mínima de pasta, quebra de viscosidade, viscosidade final no ciclo de resfriamento e tendência à retrogradação.

4.4.6 Análise de reconstituição

O tempo de reconstituição das farinhas extrusadas foi determinado de acordo com a metodologia proposta por Omobuwajo, Busari e Osemwegie (2000), adaptada.

Para a realização desta técnica, 8 g de cada amostra foram dissolvidas em 50 mL de água destilada presente em um béquer de 250 mL, à temperatura ambiente (aproximadamente 30 °C) e agitada continuamente com auxílio de um bastão de vidro. As análises foram conduzidas em triplicata. O tempo necessário para dispersar e solubilizar completamente as amostras foi monitorado por meio de um cronômetro, e considerado como o tempo de reconstituição.

Após 30 minutos de repouso as amostras foram observadas novamente, a fim de verificar possíveis transformações, tais como a separação de fases e a formação de grumos, considerando-se esse tempo como o demandado para consumir uma sopa, caldo ou creme de feijão-caupi.

4.5 Caracterização química da matéria-prima e das farinhas extrusadas

4.5.1 Composição centesimal

4.5.1.1 Umidade

A determinação de umidade foi realizada por meio do método de secagem em estufa (AOAC, 2005). Foram pesados em balança analítica 5 gramas de cada amostra, em triplicata, em cápsulas de porcelana previamente taradas. Posteriormente as cápsulas foram colocadas em estufa a 105 ºC por 24 horas e ao completar o tempo, foram transferidas para um dessecador e mantido por 30 minutos para esfriar, para posterior aferição do peso final. O teor de umidade (%) foi obtido pela fórmula:

Teor de umidade = 100 x N/ P, na qual:
N = n° de gramas de umidade
P = n° de gramas de amostra.

4.5.1.2 Cinzas

O resíduo mineral fixo foi determinado pela metodologia de incineração em forno mufla à temperatura de 550 ºC (AOAC, 2005). Foram pesados 3 gramas de cada amostra (em triplicata) em cadinhos previamente tarados. As amostras foram carbonizadas em forno mufla a 250 °C por 4 horas e posteriormente incineradas por 12 horas a 550 ºC. Ao final, os cadinhos foram colocados em dessecador por 30 minutos para esfriar e em seguida pesados. O teor de cinzas (%) foi obtido pela fórmula:

Teor de cinzas = 100 x N/ P, em que:
N = n° de gramas de cinzas
P = n° de gramas de amostra

4.5.1.3 Proteínas

A determinação de proteínas foi realizada pelo método de *Kjeldahl* (semi-micro), o qual se baseia na destruição da matéria orgânica seguida de destilação, sendo o nitrogênio dosado por volumetria. O fator 6,25 foi utilizado para converter o teor de nitrogênio total em proteína (AOAC, 2005).

A digestão foi realizada com 0,5 mg de amostra, em triplicata, colocada em tubo digestor juntamente com 5 mL de ácido sulfúrico concentrado e mistura catalítica, e submetido à 350 ºC durante 4 horas. Em seguida, as amostras foram destiladas e tituladas para determinação de nitrogênio e posterior cálculo do conteúdo de proteínas, utilizando a fórmula:

Teor de proteína = V x 0,14 x f/p, na qual:
v = volume de ácido sulfúrico utilizado menos volume de Hidróxido de Sódio utilizado na titulação
f = fator de conversão = 6,25
p = peso da amostra

4.5.1.4 Lipídeos

Os teores de lipídios (correspondente à fração extrato etéreo) foram quantificados em extrator intermitente de *Soxhlet*, utilizando hexano PA como solvente (AOAC, 2005). Para a extração, 3 gramas das amostras, em triplicata, foram colocadas em cartuchos de celulose, no sistema foi adicionado a 200 mL de hexano que permeou de forma contínua através da amostra para extração, sendo o processo realizado por 6 horas à 60 ºC. Em seguida, os resíduos foram transferidos para a estufa à 105 ºC, para desidratação, por um período de uma hora, seguida da pesagem, sendo o teor de lipídios (%) determinado pela fórmula:

Teor de lipídios = 100 x N/ P, na qual:
N = n° de gramas de lipídios
P = n° de gramas de amostra

4.5.1.5 Carboidratos

O teor de carboidratos foi calculado por diferença dos demais constituintes da composição centesimal analisados de acordo com a AOAC (2005).

4.5.2 Determinação de elementos minerais (Ca, Mg, Zn, Fe, Cu, Mn, P, Na e K)

A determinação de elementos minerais foi determinada por espectrofotometria de absorção atômica de chama, segundo método descrito por Silva e Queiroz (2002).

Inicialmente foram depositadas 0,2 gramas de amostra (em triplicata) em um tubo de digestão contendo 5,0 mL de solução digestora (ácido nítrico e ácido perclórico na proporção de 2:1). Essa solução foi aquecida por 2 horas em bloco digestor elevando-se gradualmente a temperatura de 100 para 200 ºC. Após a digestão avolumaram-se os tubos com água destilada, para obtenção de 20 mL de extrato.

Para a determinação dos teores dos elemetos minerais Zn, Fe, Cu e Mn, a leitura foi realizada no espectrofotômetro de absorção atômica (modelo 90C Elite, marca GBC) utilizando o extrato obtido, o equipamento forneceu os resultados em partes por milhão (ppm) e para fins de comparação com os dados da literatura esses valores foram convertidos em mg/100g.

O teor do elemento P foi determinado por colorimetria, segundo método descrito por Silva e Queiroz (2002). Após o processo de digestão conforme descrito anteriormente, com o auxílio de uma micropipeta, transferiu-se 0,2 mL do extrato para tubos de ensaio com capacidade de 20 mL que em seguida receberam a adição de 8,4 mL de água destilada, 1 mL de Solução Ácida de Molibdato de Amônia (SAMA) e 0,4 mL de vitamina C a 2%. A suspensão foi então homogeneizada em agitador tipo Vortex e após aguardar 5 minutos para o desenvolvimento da cor (azul) procedeu-se a leitura em espectrofotômetro UV-VIS (modelo 22 PC, marca Spectrumlab) em comprimento de onda de 725 nanômetros.

Para determinação dos teores dos elementos Na e K, transferiu-se 2 mL da solução para um tubo e adicionou-se 2 mL de água destilada para posterior leitura. E para os minerais Ca e Mg foi adicionado a 0,2 mL da amostra, 3,5 mL de lantânio e 3,3 mL de água para compor a solução.

4.6 Compostos fenólicos e atividade antioxidante

4.6.1 Elaboração dos extratos

Realizou-se as análises das amostras dos seis tratamentos que apresentaram os melhores resultados de reconstituição. Inicialmente, foram preparados os extratos das amostras segundo metodologia de Rufino et al. (2007). Os solventes utilizados para extração dos compostos antioxidantes foram o metanol 50% (50:50, v/v), acetona 70% (70:30, v/v) e água, na proporção de 2:2:1. Cerca de 3 g das amostras foram pesadas em tubos para centrífuga (50 mL) e os compostos bioativos foram extraídos com 4 mL de metanol 50% por 30 minutos em ultrassom à temperatura ambiente. Os tubos foram centrifugados (Eppendorf Centrifuge 5702) a 4000 rotações por minuto durante 15 minutos e o sobrenadante foi recolhido em um balão volumétrico (10 mL). Em seguida, 4 mL de acetona 70% foi adicionada ao resíduo, e o processo de extração perdurou por 30 minutos em ultrassom, seguida da posterior centrifugação. Os dois sobrenadantes obtidos foram misturados no balão volumétrico (10 mL), cujo volume foi completado com água Milli- Q.

4.6.2 Compostos Fenólicos Totais

O conteúdo de compostos fenólicos nos extratos foi determinado espectrofotometricamente utilizando o reagente *Folin-Ciocalteau* (SINGLETON; ROSSI, 1965). Uma alíquota de 0,1 mL do extrato foi misturada com 2 mL de água Milli-Q, 0,5 mL do reagente de *Folin-Ciocalteau* e 1,5 mL de carbonato de sódio 20% em balão volumétrico de 10 mL, completando-se o volume com água Milli-Q. Após 2 horas de repouso em ausência de luz e temperatura ambiente, efetuou-se a leitura das absorbâncias a 765 nm em espectrofotômetro (BEL 1102, Monza, Milão, Itália). Os resultados foram expressos em gramas equivalentes a ácido gálico (GAE) por 100 g de amostra.

4.6.3 Flavonoides Totais

Para a determinação de flavonoides totais utilizou-se o método descrito por Kim; Jeong e Lee (2003) e modificado por Blasa et al. (2006). Em um tubo de ensaio, adicionou-se 1 mL do extrato, que foi misturado com 0,3 mL de nitrito de sódio ($NaNO_2$) 5% m/v. Transcorridos 5 minutos, foi adicionado 0,3 mL de cloreto de alumínio ($AlCl_3$) 10% m/v. Após decorridos mais 6 minutos, pipetou-se 2 mL de hidróxido de sódio (NaOH) 1 M, e a seguir, as absorbâncias das amostras foram mensuradas a 425 nm em espectrofotômetro (BEL 1102, Monza, Milão, Itália).

4.6.4 Antocianinas totais

A análise do conteúdo total de antocianinas foi realizada seguindo-se o método de diferença de pH (GIUSTI; WROLSTAD, 2001). Para uma alíquota de 0,2 mL de amostra diluída, foram adicionados 1,8 mL da solução de cloreto de potássio pH 1 (0,025 M) em tubos de ensaio, homogeneizados e armazenados por 10 minutos em ausência de luz, tendo sido realizado procedimento equivalente com solução de acetato de sódio pH 4,5 (0,4 M). A absorbância foi medida em espectrofotômetro (BEL 1102, Monza, Milão, Itália) no comprimento de onda máximo de cada amostra e em 700 nm, em soluções tampão de pH 1,0 e pH 4,5, e o branco mensurado com água destilada. Os resultados foram expressos como concentração de pigmentos monoméricos (mg/100 g) e expressos em equivalente cianidina-3-glicosídeo (ε =26900).

4.6.5 Atividade antioxidante

A atividade antioxidante foi determinada pelo método de captura dos radicais DPPH, desenvolvido por Brand-Williams; Cuvelier e Berset (1995). Inicialmente, preparou-se uma solução do radical DPPH• (100 Mm) dissolvido em metanol a 80% (1:100 v/v), ajustando o valor da absorbância inicial (A0) desta solução para 0,800. Em tubos de ensaio, adicionou-se 100 mL do extrato a 2,9 mL desta solução, homogeneizou-se e manteve-se a mistura em local escuro à temperatura ambiente por 30 minutos. Efetuaram-se as medidas das absorbâncias em espectrofotômetro (BEL 1102, Monza, Milão, Itália) no comprimento de onda de 515 nm, do radical,

antes de adicionar a amostra (A0) e depois de adicionar amostra, com 30 minutos de reação (Af). Um teste branco (B) com 2,9 mL DPPH e 100 mL do solvente foi conduzido paralelamente. O poder de sequestro de radicais pela amostra foi calculado pela fórmula:

$$\% \text{ Inibição} = [1 – (A30 – B)/A0] \times 100.$$

Foi construída uma curva padrão com Trolox em diferentes concentrações (0-100 mg/L) como referência. Os resultados foram expressos em μmol TEAC (Capacidade Antioxidante Equivalente ao Trolox) por 100 g de amostra.

4.7 Análise sensorial

Os testes sensoriais foram realizados no Laboratório de Desenvolvimento de Produtos e Análise Sensorial de Alimentos (LASA) do Departamento de Nutrição da Universidade Federal do Piauí (UFPI). Foram selecionadas amostras dos quatro tratamentos dentre os melhores resultados do teste de reconstituição, as farinhas extrusadas foram reconstituídas em água filtrada aquecida e servidas como caldinho de feijão.

Participaram da análise 100 assessores sensoriais não treinados, de ambos os sexos, com idade entre 18 e 50 anos recrutados na UFPI para análise de quatro tratamentos em dois blocos de análise (manhã e tarde). Os participantes foram esclarecidos quanto ao objetivo do estudo, receberam duas vias do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (APÊNDICE A). Realizou-se o Teste de aceitação (APÊNDICE B) e Teste de intenção de compra (APÊNDICE C), as amostras de caldo de feijão-caupi reconstituídas a partir das respectivas farinhas extrusadas foram servidas a uma temperatura de 60 ºC, em copos descartáveis de 50 mL codificados com três dígitos e oferecidas aos assessores ao mesmo tempo e de forma aleatória, foi fornecida água destilada para fazer o branco e limpeza do palato entre as amostras.

Para a elaboração dos caldos foram realizados testes preliminares para avaliar a quantidade utilizada de cada matéria-prima. Para o preparo, a água foi aquecida até 80 °C e em um recipiente dispersando as partículas da farinha. Preparou-se um refogado com o óleo vegetal, tomate, cebola e o alho e

posteriormente foi acrescentada a suspensão líquida com as partículas de farinha, por último acrescentou-se o sal. Na Tabela 3 estão os percentuais utilizados para o preparo do caldo.

4.8 Critérios éticos

O estudo foi submetido e aprovado pelo Comitê de Ética da UFPI, com parecer de número 1.890.976, de acordo com as normas propostas pelo Ministério da Saúde e do Conselho Nacional de Saúde, para pesquisas envolvendo seres humanos (BRASIL, 2012). A privacidade, a confiabilidade dos dados e o anonimato dos participantes foram garantidos. O uso e a destinação dos dados são de exclusividade para esta pesquisa.

Tabela 3. Formulação da preparação de caldo de feijão com farinha integral extrusada de feijão-caupi.

MATÉRIAS-PRIMAS	QUANTIDADE (%)
Farinha integral extrusada de feijão-caupi	11%
Água	78,9%
Óleo vegetal	2%
Tomate	5%
Cebola	2%
Alho	0,5%
Sal	0,6%
Total	100%

4.9 Análise estatística

Os dados da composição química foram submetidos à análise de variância (ANOVA), Teste de Scott-Knott para comparação de médias e ao Teste de Dunnett para comparação do grão e da farinha crua com as amostras extrusadas, utilizando o Programa Genes com nível de significância $p \leq 0,05$. A análise dos efeitos da extrusão sobre as características funcionais das farinhas foi realizada com o Programa Statistica (versão 10), com nível de significância $p \leq 0,05$. Para a análise dos dados dos testes sensoriais foi realizado o teste de Tukey com nível de significância $p \leq 0,05$, para a comparação de médias no teste de aceitação.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Classificação granulométrica da matéria-prima

A característica granulométrica da farinha é um aspecto importante a ser considerado na elaboração de produtos por extrusão, uma vez que a distribuição do tamanho das partículas influencia na capacidade de absorção de água, no tempo de cozimento, tempo de mistura e características sensoriais como aparência, sabor e textura (BORGES et al., 2003).

Para a farinha utilizada no presente estudo foi verificado maior porcentagem de retenção das partículas na malha com abertura de 0,25 mm (Tabela 4), demonstrando certa homogeneidade da amostra. É desejável que as partículas tenham tamanho uniforme, o que permitirá que sejam adequadamente cozidas no processo de extrusão, evitando produtos com partículas duras ou cozimento parcial (ASCHERI; CARVALHO, 2014).

Tabela 4. Granulometria da farinha integral crua de feijão-caupi.

Abertura das peneiras	Material retido na peneira (%)					
	2 mm	1 mm	0,42 mm	0,25 mm	0,149 mm	Fundo
Farinha crua	0,60	3,61	13,03	38,92	22,64	21,20

Fonte: Dados da pesquisa, 2016.

Com os dados da análise granulométrica obteve-se um diâmetro médio de 308 µm. De acordo com Ascheri e Carvalho (2014), matérias-primas contendo partículas não maiores que 425 µm permitem elaborar produtos finais lisos e homogêneos.

Lira Filho (2002) utilizou farinha integral de feijão-caupi de diâmetro médio de 315,7 µm, que foi utilizada para avaliar os efeitos do processo de extrusão, e destacou que essa granulometria foi viável para ser processada numa extrusora de rosca única.

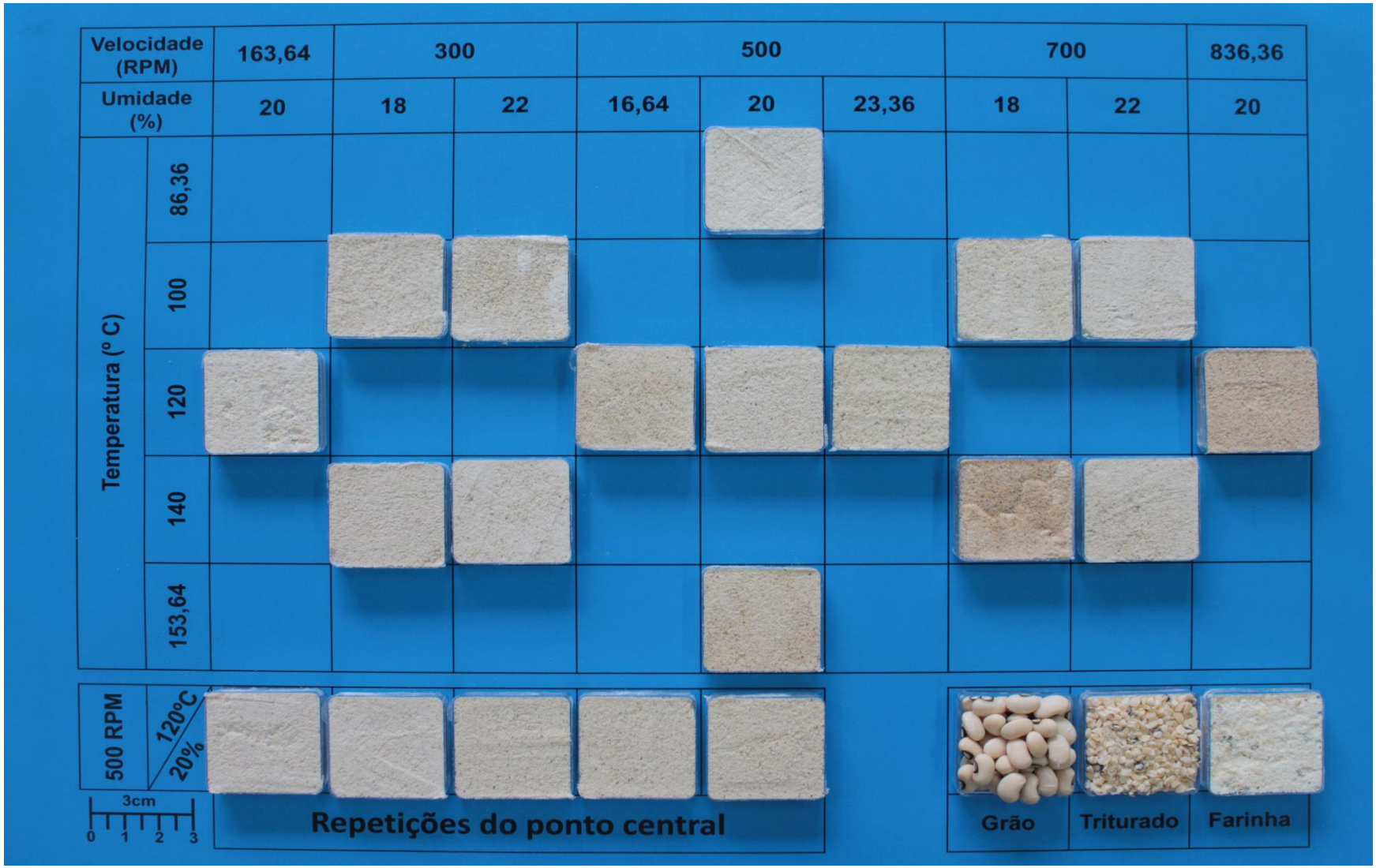


Figura 2. Matéria-prima e farinhas integrais extrusadas de feijão-caupi de acordo com o tratamento realizado.

5.2 Caracterização visual das farinhas

Na Figura 2 estão apresentadas as farinhas extrusadas correspondentes aos produtos dos diferentes tratamentos obtidos no estudo, assim como as matérias-primas utilizadas.

Observa-se nas farinhas extrusadas a diferença na coloração entre os produtos dos tratamentos, sendo os que foram elaborados com 18% de umidade, 700 rpm de rotação e 140 ºC (T04) e com 20%, 836,4 rpm e 120 ºC (T12) apresentaram uma coloração mais escura em relação aos demais tratamentos.

5.3 Efeito dos parâmetros de extrusão nas propriedades físicas e funcionais

5.3.1 Índice de expansão radial (IER)

Os valores de IER dos extrusados da farinha integral variaram de 2,06 a 4,30, (Tabela 5), sendo o maior valor verificado nas amostras do T02 elaborado a 100 ºC, 700 rpm de rotação do parafuso e 18% de umidade, seguido das amostras do T01 que foi elaborado com as mesmas condições de temperatura e umidade, mas com menor velocidade de rotação, 300 rpm, cujo índice de expansão radial foi de 4,21.

Lopes (2010) utilizando uma extrusora de rosca única, com os parâmetros de umidade (14% a 22%) e temperatura (154 ºC a 174 ºC), processando uma farinha de bandinha de feijão-comum obteve valores de expansão de 1,35 a 1,61, inferiores aos encontrados no presente estudo.

A expansão dos produtos depende principalmente da composição do material e das condições do processamento. A literatura relata que a expansão aumenta à medida que aumenta a temperatura, atingindo um máximo a cerca de 170 ºC e a temperaturas maiores há um decréscimo devido à dextrinização excessiva e ao enfraquecimento da estrutura do amido (ASCHERI; CARVALHO, 2014).

No estudo de Lopes (2010), embora a matéria-prima tenha composição química semelhante ao do feijão-caupi, observa-se que os parâmetros do processamento foram diferentes e os valores de temperatura foram superiores aos do presente estudo (86,4 ºC a 153,6 ºC), o que pode explicar os menores valores para o índice de expansão.

Tabela 5. Índice de Expansão Radial de extrusados de farinha integral de feijão-caupi.

Tratamentos	X1	X2	X3	IER
T01	100	300	18	4,21
T02	100	700	18	4,30
T03	140	300	18	3,19
T04	140	700	18	2,69
T05	100	300	22	3,80
T06	100	700	22	3,14
T07	140	300	22	2,36
T08	140	700	22	2,49
T09	86,4	500	20	2,84
T10	153,6	500	20	2,06
T11	120	163,6	20	2,06
T12	120	836,4	20	2,55
T13	120	500	16,6	3,52
T14	120	500	23,4	2,81
T15	120	500	20	2,92
T16	120	500	20	2,94
T17	120	500	20	2,82
T18	120	500	20	3,24
T19	120	500	20	3,35

X1: Temperatura do processamento (ºC); X2: Rotação do parafuso (rpm); X3: Umidade da amostra (%). Fonte: Dados da pesquisa, 2016.

É esperado que materiais extrusados como as farinhas de feijão apresentem menor índice de expansão em relação aos produtos amiláceos, pois a presença de fibras e proteína diminuem a capacidade de expansão dos grânulos de amido por dificultar a evaporação da água presente no grânulo (ANTON; FULCHER; ARNTFIELD, 2009).

Com os resultados obtidos foram calculados os coeficientes de regressão apresentados na Tabela 6. Constata-se que para o índice de expansão radial foram significativos os efeitos linear e quadrático do teor de umidade na farinha e a temperatura de processo, e apenas o efeito quadrático da velocidade de rotação das roscas.

Tabela 6. Coeficiente de regressão e desvio padrão da variável resposta Índice de Expansão Radial (IER) em função da variável da umidade (%), temperatura de processo (°C) e velocidade de rotação das roscas (rpm).

	Coeficientes de regressão	**Erro Padrão**	**t(4)**	**P valor**
Média/Intercepto*	-291,186	61,51961	-4,73323	0,009082
(1)Umidade (%)(L)*	25,368	4,71512	5,38016	0,005768
Umidade (%)(Q)*	-0,618	0,10864	-5,68846	0,004716
(2)Temperatura (ºC)(L)*	2,155	0,38917	5,53723	0,005200
Temperatura (ºC)(Q)*	-0,009	0,00109	-8,12853	0,001246
(3) Rotação (RPM)(L)	0,066	0,03399	1,94051	0,124305
Rotação (RPM)(Q)*	-0,000	0,00001	-6,46493	0,002949
1L by 2L	0,000	0,01398	0,00000	1,000000
1L by 3L	0,000	0,00140	0,00000	1,000000
2L by 3L	0,000	0,00014	0,00000	1,000000
R^2=0,665				

L = efeito linear; Q = efeito quadrático.
* significativo ao nível de 5% de probabilidade

A análise dos valores representados Tabela 7 indicaram que 66,5% da variabilidade da resposta pode ser explicada pelo modelo.

Tabela 7. Análise de variância da variável dependente Índice de Expansão Radial (IER).

Fonte de variação	**GL**	**QM**	**P valor**
Resíduos	9	18,0455	
Falta de ajuste	5	30,4819	0,015577
Erro puro	4	2,5000	
Total	18		

Porcentagem de variação explicada (R2) = 66,5; **SQ**: Soma dos quadrados; **GL**: Graus de Liberdade; **QM**: Quadrados médios.

Na Figura 3 está ilustrado o efeito das variáveis umidade e temperatura. Observa-se que melhores resultados de IER foram verificados com valores de umidade e temperatura próximos ao ponto central e que com aumento no valor dessas variáveis, ocorreu a diminuição da expansão. Os extrusados com menor IER foram os T10 e o T11, elaborados com a maior porcentagem de umidade na farinha

integral de feijão-caupi (20%) e os extrusados do T10, elaborada com a maior temperatura de processo (153,6 °C).

Comportamento semelhante foi verificado por Borba, Sarmento e Leonel (2005), relatando que com baixos teores de umidade os extrusados apresentaram aumento no valor do índice de expansão. Os autores ressaltam que a água tem efeito inverso sobre a expansão agindo como plastificante para materiais amiláceos, reduzindo sua viscosidade e a dissipação da energia mecânica no extrusor e, assim, o produto ficará mais denso e o crescimento de bolhas será comprimido.

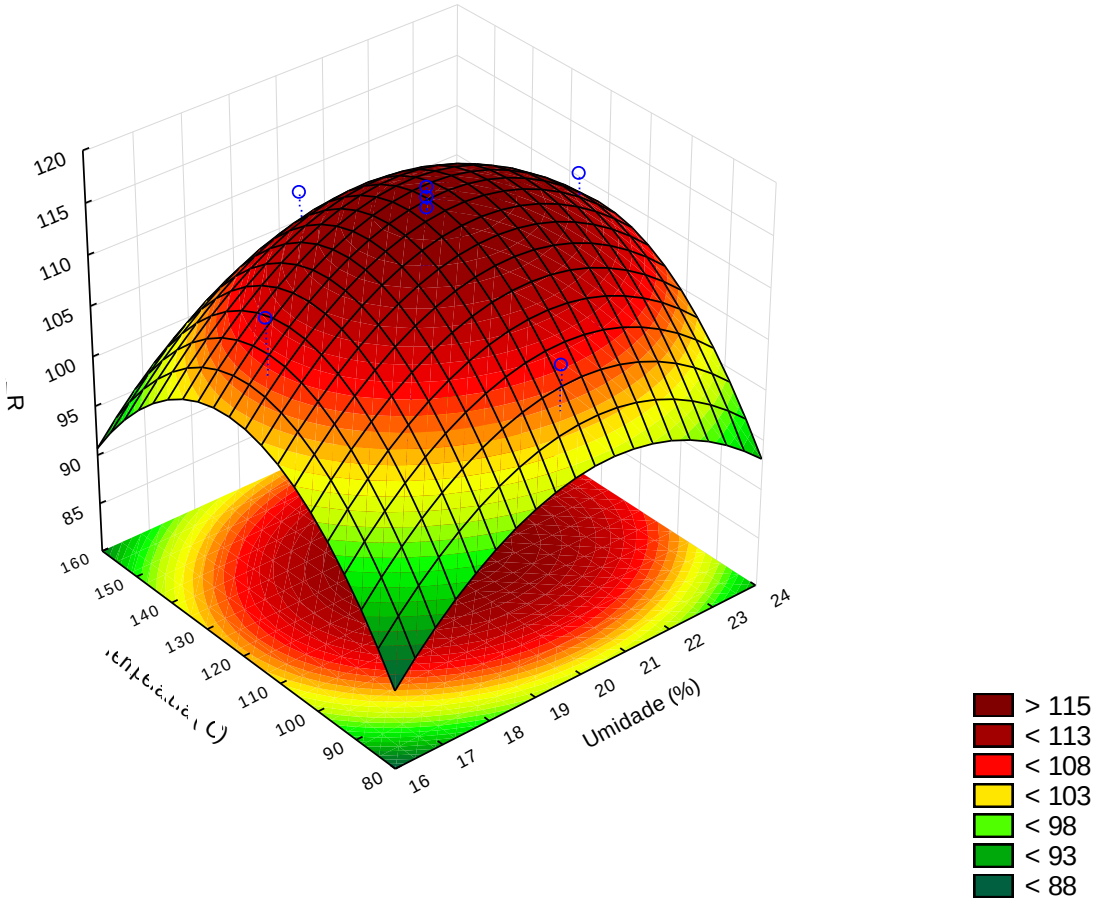


Figura 3. Efeito das variáveis independentes umidade (%) e temperatura (°C) sobre o índice de expansão radial de farinha integral extrusada de feijão-caupi.

5.3.2 Índice de expansão longitudinal (IEL)

Os dados obtidos do índice de expansão longitudinal estão apresentados na Tabela 8. Observa-se que o maior valor foi de IEL obtido para os extrusados do T10 (1,04) que foi elaborado a 153,6 ºC, 500 rpm e 20% de umidade, já o menor valor

foram para os do T11, elaborado com mesmo teor de umidade, 163,64 rpm e a 120 ºC.

O índice de expansão longitudinal é a razão entre a velocidade do material extrusado antes da saída da matriz e quando este deixa a matriz e é inversamente proporcional ao valor do IER (SILVA, 2010).

Tabela 8. Índice de Expansão Longitudinal de extrusados de farinha integral de feijão-caupi.

Tratamentos	X1	X2	X3	IEL
T01	100	300	18	0,48
T02	100	700	18	0,50
T03	140	300	18	0,47
T04	140	700	18	0,90
T05	100	300	22	0,47
T06	100	700	22	0,55
T07	140	300	22	0,69
T08	140	700	22	0,63
T09	86,4	500	20	0,47
T10	153,6	500	20	1,04
T11	120	163,6	20	0,42
T12	120	836,4	20	0,79
T13	120	500	16,6	0,67
T14	120	500	23,4	0,62
T15	120	500	20	0,69
T16	120	500	20	0,63
T17	120	500	20	0,70
T18	120	500	20	0,64
T19	120	500	20	0,62

X1: Temperatura do processamento (ºC); X2: Rotação do parafuso (rpm); X3: Umidade da amostra (%). Fonte: Dados da pesquisa, 2016.

Os extrusados do T10, de maior valor de expansão longitudinal, apresentaram também o menor valor de expansão radial, constatação semelhante ao do estudo de Carvalho et al. (2010).

Pela análise dos coeficientes de regressão (Tabela 9) observa-se que para o IEL foram significativos (p≤0,05) os efeitos linear e quadrático da velocidade de rotação das roscas.

Tabela 9. Coeficiente de regressão e desvio padrão da variável resposta Índice de Expansão Longitudinal (IEL) em função da variação da umidade (%), temperatura de processo (°C) e velocidade de rotação das roscas (rpm).

	Coeficientes de regressão	**Erro Padrão**	**t(4)**	**P valor**
Média/Intercepto	-3,21642	1,402411	-2,29349	0,083535
(1)Umidade (%)(L)	0,29522	0,107606	2,74354	0,051717
Umidade (%)(Q)	-0,00503	0,002474	-2,03155	0,112015
(2)Temperatura (ºC)(L)	-0,00411	0,008923	-0,46041	0,669136
Temperatura (ºC)(Q)	0,00005	0,000025	1,87547	0,133981
(3) Rotação (RPM)(L)*	0,00294	0,000794	3,70498	0,020745
Rotação (RPM)(Q)*	-0,00000	0,000000	-3,55180	0,023760
1L by 2L	-0,00026	0,000323	-0,79225	0,472549
1L by 3L*	-0,00013	0,000032	-4,13367	0,014451
2L by 3L	0,00001	0,000003	2,59565	0,060324
R^2=0,783				

L = efeito linear; Q = efeito quadrático.
* significativo ao nível de 5% de probabilidade

A análise dos valores representados na tabela ANOVA (Tabela 10) indica que 78,3% da variabilidade da resposta pode ser explicada pelo modelo.

Tabela 10. Análise de variância da variável dependente Índice de Expansão Longitudinal (IEL).

Fonte de variação	**GL**	**QM**	**P Valor**
Resíduos	9	0.010779	
Falta de ajuste	5	0.018336	0.012490
Erro puro	4	0.001333	
Total	18		

Porcentagem de variação explicada (R2) = 78,3; **SQ**: Soma dos quadrados; **GL**: Graus de Liberdade; **QM**: Quadrados médios.

O gráfico de superfície resposta para o Índice de Expansão Longitudinal está apresentado na Figura 4, com as variáveis independentes rotação e umidade. Observa-se que a com os maiores valores de rotação e valores de umidade próximos ao ponto central são obtidos os maiores resultados para IEL.

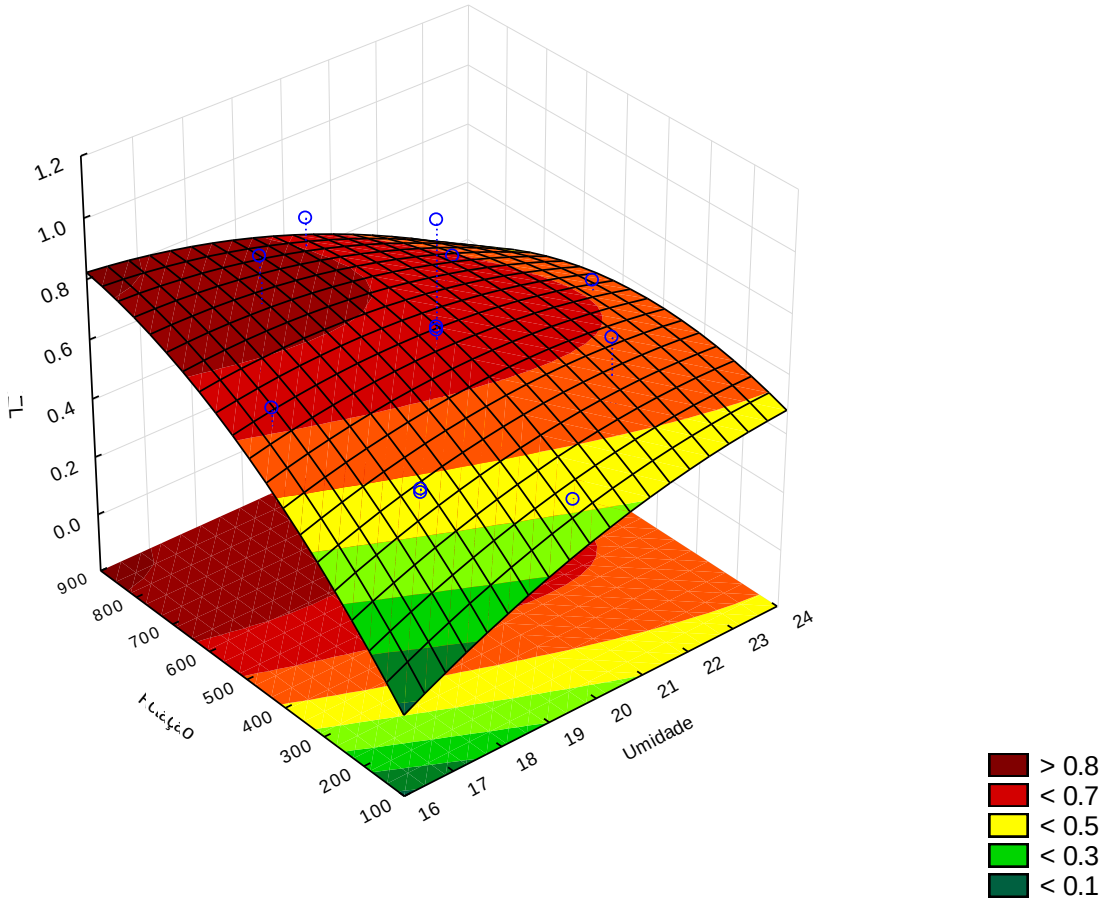


Figura 4. Efeito das variáveis independentes umidade (%) e rotação (rpm) sobre o índice de expansão longitudinal de farinha integral extrusada de feijão-caupi.

5.3.3 Índice de expansão volumétrico (IEV)

O índice de expansão volumétrico é o produto dos índices de expansão radial e longitudinal, ou seja, os fatores que afetam estes dois últimos índices, por sua vez, irão afetar o IEV. Na Tabela 11 estão os valores de IEV observados. Os valores ficaram entre 0,87 e 2,43, sendo o maior valor para os extrusados do T04, elaborado a 140 ºC, 700 rpm e 18% de umidade. Já os extrusados do T11 (120 ºC, 163,64 rpm e 20% de umidade) apresentaram os menores valores.

Silva (2010) avaliou extrusados de misturas de milho e feijão, os valores encontrados (entre 10,8 e 67) foram superiores ao do presente estudo e o autor observou que a umidade e o conteúdo de feijão exerceram efeito linear negativo sobre o IEV, ou seja, com o aumento dessas variáveis, houve diminuição do índice.

Os coeficientes de regressão estão apresentados na Tabela 12. Com esses dados pode-se verificar que para o IEV foram significativos ($p \leq 0,05$) o efeito linear da temperatura e o efeito quadrático da rotação.

Tabela 11. Índice de Expansão Volumétrico de extrusados de farinha integral de feijão-caupi.

Tratamentos	X1	X2	X3	IEV
T01	100	300	18	2,03
T02	100	700	18	1,61
T03	140	300	18	2,03
T04	140	700	18	2,43
T05	100	300	22	1,79
T06	100	700	22	1,74
T07	140	300	22	1,63
T08	140	700	22	1,58
T09	86,4	500	20	1,33
T10	153,6	500	20	2,16
T11	120	163,6	20	0,87
T12	120	836,4	20	2,01
T13	120	500	16,64	2,36
T14	120	500	23,36	1,75
T15	120	500	20	2,01
T16	120	500	20	1,85
T17	120	500	20	1,97
T18	120	500	20	2,06
T19	120	500	20	2,07

X1: Temperatura do processamento (ºC); X2: Rotação do parafuso (rpm); X3: Umidade da amostra (%). Fonte: Dados da pesquisa, 2016.

Tabela 12. Coeficiente de regressão e desvio padrão da variável resposta Índice de Expansão Volumétrico (IEV) em função da variação da umidade (%), temperatura de processo (°C) e velocidade de rotação das roscas (rpm).

	Coeficientes de regressão	**Erro Padrão**	**t(4)**	**P valor**
Média/Intercepto	-3,09093	3,493607	-0,88474	0,426275
(1)Umidade (%)(L)	-0,13693	0,268061	-0,51083	0,636369
Umidade (%)(Q)	0,01218	0,006164	1,97556	0,119407
(2)Temperatura (ºC)(L)*	0,10241	0,022228	4,60740	0,009975
Temperatura (ºC)(Q)	-0,00016	0,000062	-2,54672	0,063526
(3) Rotação (RPM)(L)	0,00238	0,001977	1,20230	0,295553
Rotação (RPM)(Q)*	-0,00000	0,000001	-6,91164	0,002299
1L by 2L*	-0,00353	0,000804	-4,39447	0,011742
1L by 3L	-0,00003	0,000080	-0,33241	0,756268
2L by 3L*	0,00003	0,000008	3,17756	0,033614
R^2=0,703				

L = efeito linear; Q = efeito quadrático.
* significativo ao nível de 5% de probabilidade.

A análise dos valores representados (Tabela 13) indicaram que 70,3% da variabilidade da resposta pode ser explicada pelo modelo.

Tabela 13. Análise de variância da variável dependente Índice de Expansão Volumétrico (IEV).

Fonte de variação	**GL**	**QM**	**P Valor**
Resíduos	9	0,077496	
Falta de ajuste	5	0,132877	0,009378
Erro puro	4	0,008270	
Total	18		

Porcentagem de variação explicada (R2) = 70,3; **SQ**: Soma dos quadrados; **GL**: Graus de Liberdade; **QM**: Quadrados médios.

Para a representação gráfica (Figura 5) foram selecionadas as variáveis que foram significativas, umidade e temperatura, a rotação foi mantida no valor do ponto central (500 rpm). Observou-se que os maiores valores do índice de expansão

volumétrico foram verificados com altos valores de temperatura e valores médios de rotação.

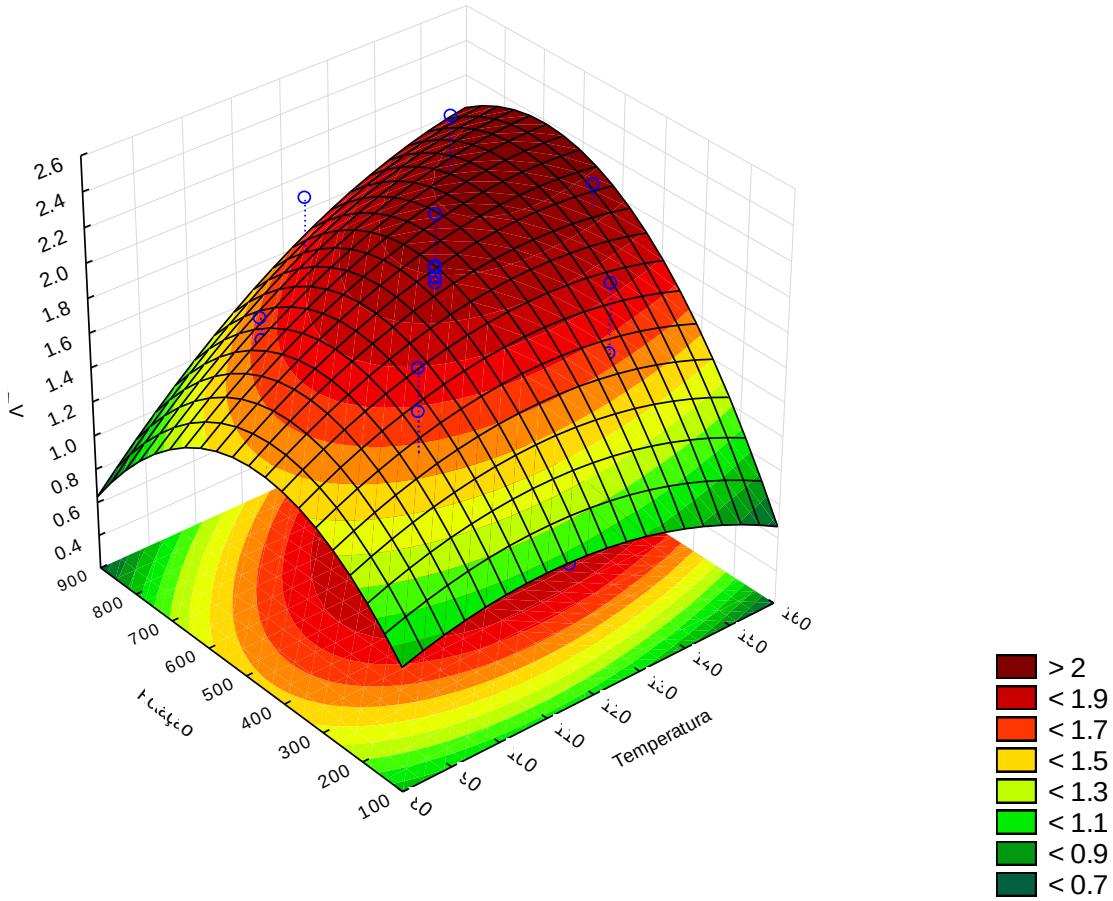


Figura 5. Efeito das variáveis independentes temperatura (°C) e rotação (rpm) sobre o índice de expansão volumétrico de farinha integral extrusada de feijão-caupi.

5.3.4 Índice de absorção em água (IAA)

A absorção de água é uma propriedade indicativa das possibilidades de utilização das farinhas extrusadas, pois mede o grau de gelatinização do amido, refletindo o tratamento térmico aplicado (SILVA et al., 2008).

Os resultados de índice de absorção de água estão na Tabela 14. Os valores das amostras extrusadas variaram entre 2,37 e 3,86 g/g. Lopes (2010) observou índices de absorção de água de 3,75 g/g a 4,48 g/g em farinhas extrusadas de feijão comum, destacando que o maior valor foi do tratamento com alta umidade (22%) e alta temperatura (174 ºC) e que todos os valores foram superiores ao da farinha não extrusada (3,42 g/g), indicando que houve gelatinização em todos os tratamentos.

Batista, Prudêncio e Fernandes (2010) avaliaram farinha extrusada de feijão-caupi processada a 150 ºC, 150 rpm e 25% de umidade, e constatam valor de IAA de 5,39 g/g, superior aos do presente estudo, e para a farinha crua os autores observaram 2,16 g/g.

Tabela 14. Resultado do Índice de Absorção em Água de farinha integral extrusada de feijão-caupi.

Tratamentos	X1	X2	X3	IAA (g/g)
T01	100	300	18	3,59
T02	100	700	18	3,73
T03	140	300	18	3,13
T04	140	700	18	3,34
T05	100	300	22	3,50
T06	100	700	22	2,37
T07	140	300	22	3,30
T08	140	700	22	3,16
T09	86,4	500	20	3,16
T10	153,6	500	20	2,85
T11	120	163,6	20	3,86
T12	120	836,4	20	2,94
T13	120	500	16,6	2,93
T14	120	500	23,4	2,97
T15	120	500	20	2,95
T16	120	500	20	2,84
T17	120	500	20	2,86
T18	120	500	20	2,75
T19	120	500	20	2,92

X1: Temperatura do processamento (ºC); X2: Rotação do parafuso (rpm); X3: Umidade da amostra (%). Fonte: Dados da pesquisa, 2016.

A capacidade de absorção de água do material amiláceo cru torna-se geralmente elevada a partir do momento em que se aplica calor em meio úmido, resultando em um aumento da viscosidade (ASCHERI; CARVALHO, 2014).

Para produtos de preparo rápido são indicados os tratamentos que apresentam elevada viscosidade a frio e elevado índice de absorção de água

(MOURA, 2012), sendo o maior valor encontrado para a farinha extrusada do T11, elaborada a 120ºC, 163,6 rpm e 20% de umidade.

Ao analisar os coeficientes de regressão (Tabela 15) observa-se que foram significativos os efeitos linear e quadrático das variáveis umidade e temperatura, e quanto à rotação das roscas, apenas o efeito quadrático. Assim como a interação da umidade com a temperatura, e da rotação com a temperatura.

Tabela 15. Coeficiente de regressão e desvio padrão da variável resposta Índice de Absorção em Água (IAA) em função da variação da umidade (%), temperatura de processo (°C) e velocidade de rotação das roscas (rpm).

	Coeficientes de regressão	**Erro Padrão**	**t(4)**	**P valor**
Média/Intercepto*	22,76512	3,021358	7,53473	0,001662
(1)Umidade (%)(L)*	-1,01302	0,231569	-4,37458	0,011925
Umidade (%)(Q)*	0,01688	0,005336	3,16338	0,034074
(2)Temperatura (ºC)(L)*	-0,16160	0,019113	-8,45482	0,001072
Temperatura (ºC)(Q)*	0,00022	0,000053	4,07424	0,015170
(3) Rotação (RPM)(L)	0,00298	0,001669	1,78473	0,148862
Rotação (RPM)(Q)*	0,00000	0,000001	5,19445	0,006541
1L by 2L*	0,00450	0,000686	6,55630	0,002799
1L by 3L*	-0,00051	0,000069	-7,37584	0,001801
2L by 3L*	0,00003	0,000007	4,82617	0,008485
R^2=0,584				

L= efeito linear; Q = efeito quadrático.
* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 16. Análise de variância da variável dependente Índice de Absorção em Água (IAA).

Fonte de variação	**GL**	**QM**	**P Valor**
Resíduos	9	0,113196	
Falta de ajuste	5	0,198928	0,002395
Erro puro	4	0,006030	
Total	18		

Porcentagem de variação explicada (R2) = 58,4; **SQ**: Soma dos quadrados; **GL**: Graus de Liberdade; **QM**: Quadrados médios.

O valor do coeficiente de determinação constatado foi muito baixo (0,584) para

que o modelo fosse considerado preditivo. Desta forma, como o R^2 foi menor que 0,60, não foram elaborados os gráficos de superfície de resposta.

5.3.5 Índice de solubilidade em água (ISA)

O ISA está relacionado com a quantidade de moléculas solúveis na amostra seca, mede indiretamente a dextrinização e juntamente com o ISA são parâmetros importantes para caracterizar de forma funcional as farinhas extrusadas.

Na Tabela 17 estão apresentados os valores de ISA para as farinhas integrais extrusadas de feijão-caupi. Os resultados observados variaram de 26,38% a 39,51%, sendo o maior valor verificado para a farinha extrusada do T06, quando o processo foi realizado a 100 ºC, 700 rpm e 22% de umidade na farinha. E o menor valor foi o da farinha extrusada do T11 (120 ºC, 163,64 rpm e 20% de umidade).

Tabela 17. Resultado do Índice de Solubilidade em Água de farinha integral extrusada de feijão-caupi.

Tratamentos	X1	X2	X3	ISA (%)
T01	100	300	18	28,72
T02	100	700	18	30,34
T03	140	300	18	31,44
T04	140	700	18	33,49
T05	100	300	22	29,74
T06	100	700	22	39,51
T07	140	300	22	30,58
T08	140	700	22	32,58
T09	86,4	500	20	31,74
T10	153,6	500	20	36,53
T11	120	163,6	20	26,38
T12	120	836,4	20	34,82
T13	120	500	16,6	33,29
T14	120	500	23,4	35,34
T15	120	500	20	36,21
T16	120	500	20	35,47
T17	120	500	20	37,67
T18	120	500	20	38,97
T19	120	500	20	36,78

X1: Temperatura do processamento (ºC); X2: Rotação do parafuso (rpm); X3: Umidade da amostra (%). Fonte: Dados da pesquisa, 2016.

Batista, Prudêncio e Fernandes (2010) verificaram solubilidade de 34,93% em farinha de feijão-caupi extrusada em mono rosca a 150 ºC, 25% de umidade e 150 rpm.

Pela análise de regressão multivariada (Tabela 18) foi observado que o valor de ISA foi influenciado pelos efeitos lineares, quadráticos e de interação das variáveis umidade e temperatura.

A análise dos valores representados na tabela ANOVA (Tabela 19) indica que 61,4% da variabilidade da resposta pode ser explicada pelo modelo.

Tabela 18. Coeficiente de regressão e desvio padrão da variável resposta Índice de Solubilidade em Água (ISA) em função da variação da umidade (%), temperatura de processo (°C) e velocidade de rotação das roscas (rpm).

	Coeficientes de regressão	**Erro Padrão**	**t(4)**	**P valor**
Média/Intercepto*	-244,426	52,71049	-4,63715	0,009755
(1)Umidade (%)(L)*	16,764	4,03995	4,14954	0,014266
Umidade (%)(Q)*	-0,328	0,09309	-3,52090	0,024430
(2)Temperatura (ºC)(L)*	1,716	0,33345	5,14524	0,006767
Temperatura (ºC)(Q)*	-0,003	0,00093	-3,69177	0,020986
(3) Rotação (RPM)(L)	0,010	0,02912	0,33620	0,753620
Rotação (RPM)(Q)	-0,000	0,00001	-2,67713	0,055394
1L by 2L*	-0,037	0,01197	-3,12128	0,035483
1L by 3L	0,003	0,00120	2,11391	0,102040
2L by 3L	-0,000	0,00012	-1,91557	0,127923
R^2=0,614				

L = efeito linear; Q = efeito quadrático.
* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 19. Análise de variância da dependente variável Índice de Solubilidade em Água (ISA).

Fonte de variação	**GL**	**QM**	**P Valor**
Resíduos	9	10,02874	
Falta de ajuste	5	16,58349	0,026625
Erro puro	4	1,83530	
Total	18		

Porcentagem de variação explicada (R2) = 61,4; **SQ**: Soma dos quadrados; **GL**: Graus de Liberdade; **QM**: Quadrados médios.

Na Figura 6 está apresentada a relação entre as variáveis temperatura e umidade, cujos valores dos coeficientes de regressão foram significativos. Para a representação gráfica a rotação das roscas foi mantida em 500 RPM (valor do ponto

central). Observou-se que os maiores valores de solubilidade da farinha foram constatados em temperaturas e umidades acima do ponto central e que há um aumento dessa propriedade com aumento do valor dessas variáveis. Lopes (2010) também observou que a solubilidade em água também aumentou com o aumento da umidade.

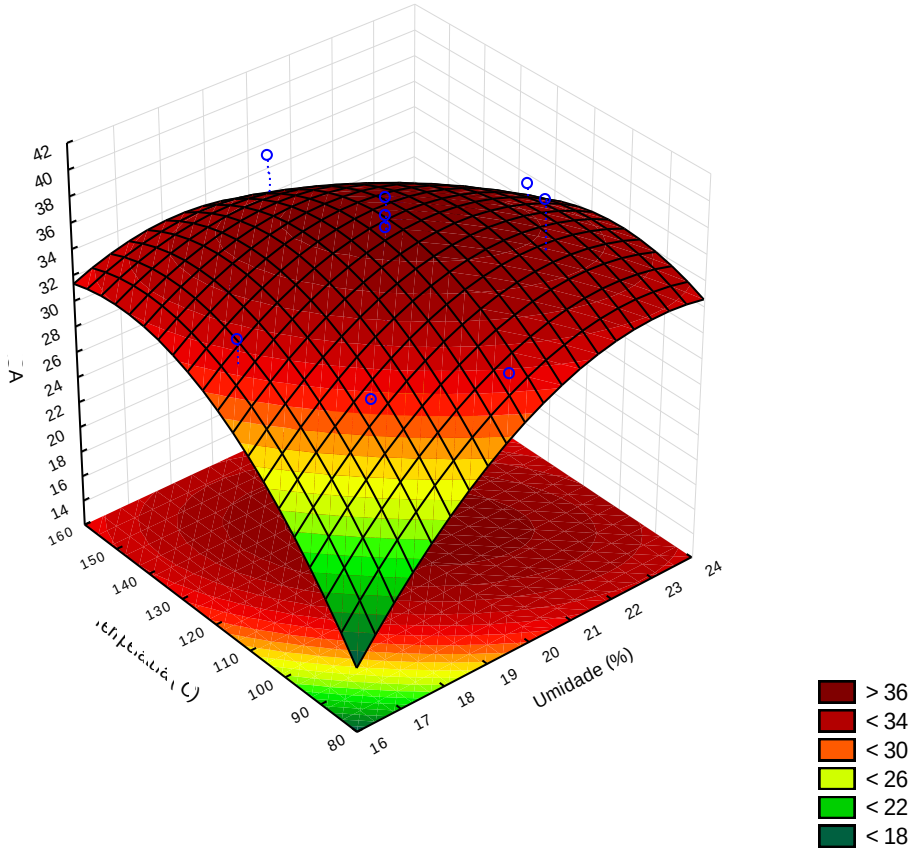


Figura 6. Efeito das variáveis independentes umidade (%) e temperatura (ºC) sobre o índice de solubilidade em água de farinha integral extrusada de feijão-caupi.

5.3.6 Propriedades viscoamilográficas

Os parâmetros avaliados para as farinhas extrusadas de feijão-caupi estão apresentados na Tabela 20.

5.3.6.1 Viscosidade inicial a 25ºC (VI)

Os valores de viscosidade inicial variaram de 245,50 cP a 1274,00 cP, caracterizando significativa diferença entre as amostras. O maior valor observado foi para a farinha extrusada do T12 (120ºC, 836,36 rpm e 20% de umidade), seguido pelas do T13 (120 ºC, 500 rpm e 16,64% de umidade).

Tabela 20. Resultados da caracterização de viscosidade de pasta de farinha integral instantânea de feijão-caupi.

Tratamentos	X1	X2	X3	VI 25 (cP)	Vmáx (Cp)	Vmin (Cp)	*Breakdown* (Cp)	Vfinal (Cp)	*Setback* (Cp)
T01	100	300	18	300,50	173,00	74,00	99,00	117,50	59,00
T02	100	700	18	462,50	268,00	85,50	182,50	148,00	65,50
T03	140	300	18	385,00	261,00	65,00	196,00	95,00	33,00
T04	140	700	18	342,50	351,00	57,50	293,50	81,00	61,00
T05	100	300	22	336,50	334,00	61,00	273,00	100,00	45,00
T06	100	700	22	292,00	226,50	64,50	162,00	84,50	24,50
T07	140	300	22	335,00	285,50	68,50	217,00	132,00	66,50
T08	140	700	22	245,50	211,00	39,00	172,00	68,00	29,00
T09	86,4	500	20	315,50	200,00	53,00	147,00	90,50	42,00
T10	153,6	500	20	453,50	420,00	58,00	362,00	81,50	55,00
T11	120	163,6	20	366,00	270,50	70,50	200,00	133,00	73,00
T12	120	836,4	20	1274,00	483,00	45,50	437,50	156,00	355,50
T13	120	500	16,6	978,50	467,00	54,00	413,00	80,50	40,00
T14	120	500	23,4	922,00	256,00	40,50	215,50	53,00	13,00
T15	120	500	20	532,50	303,00	15,00	288,00	25,50	19,00
T16	120	500	20	453,50	187,50	8,50	179,00	48,50	44,00
T17	120	500	20	356,50	298,00	1,50	296,50	34,00	43,00
T18	120	500	20	712,00	501,50	10,50	491,00	59,00	125,50
T19	120	500	20	481,00	373,50	21,00	352,50	53,50	36,50

VI 25: viscosidade de pasta inicial a 25 ºC (Cp); Vmáx: viscosidade de pasta máxima (Cp); Vmín: viscosidade de pasta mínima (Cp); Breakdown: quebra de viscosidade (Cp); Vfinal: viscosidade de pasta final (Cp); Setback: tendência a retrogradação (Cp). Fonte: dados da pesquisa, 2016.

Moura (2012) observou valores de VI de 430,5 cP a 990,0 cP em farinha mista de milho *grits* (30%), feijão (35%) e arroz (35%), com maior valor obtido pelo tratamento desenvolvido a 180 °C, 160 rpm e 24% de umidade.

Os valores observados no presente estudo foram satisfatórios quando comparados aos estudos de Moura (2012) e Silva et al. (2013), e a farinha extrusada do T13 apresentou valor superior a todos os outros relatados.

As farinhas pré-gelatinizadas são produtos formadores de pasta em presença água fria, característica medida pela viscosidade inicial, portanto as condições de processamento utilizadas favoreceram a obtenção dessa característica.

A análise de regressão (Tabela 22) O coeficiente de determinação obtido foi baixo (R^2 = 0,553) para ser explicar a variação da variável resposta. Quanto às variáveis independentes, observou-se que houve significância nos efeitos quadráticos e temperatura e rotação.

Tabela 21. Coeficiente de regressão e desvio padrão da variável resposta Viscosidade Inicial a 25 ºC (VI) em função da variação da umidade (%), temperatura de processo (°C) e velocidade de rotação das roscas (rpm).

	Coeficientes de regressão	**Erro Padrão**	**t(4)**	**P valor**
Média/Intercepto	-232,636	121,1796	-1,91976	0,127306
(1)Umidade (%)(L)	20,258	9,2877	2,18121	0,094617
Umidade (%)(Q)	-0,490	0,2140	-2,29097	0,083768
(2)Temperatura (ºC)(L)	2,060	0,7666	2,68783	0,054782
Temperatura (ºC)(Q)*	-0,008	0,0021	-3,94264	0,016922
(3) Rotação (RPM)(L)	0,056	0,0669	0,84204	0,447167
Rotação (RPM)(Q)*	-0,000	0,0000	-2,86521	0,045689
1L by 2L*	0,000	0,0275	0,00000	1,000000
1L by 3L	0,000	0,0028	0,00000	1,000000
2L by 3L	0,000	0,0003	0,00000	1,000000
R^2=0,553				

L = efeito linear; Q = efeito quadrático.
* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 22. Análise de variância da variável dependente Índice Viscosidade Inicial a 25ºC (VI).

Fonte de variação	GL	QM	P Valor
Resíduos	9	24,0830	
Falta de ajuste	5	35,5893	0,115963
Erro puro	4	9,7000	
Total	18		

Porcentagem de variação explicada (R2) = 55,3; **SQ**: Soma dos quadrados; **GL**: Graus de Liberdade; **QM**: Quadrados médios.

5.3.6.2 Viscosidade máxima (Vmáx)

A Vmáx é alcançada quando, durante o ciclo de aquecimento até 95 ºC, ocorre o intumescimento e gelatinização dos grânulos de amido, que depende da estrutura granular do amido, da sua distribuição ramificada e da sua proporção de amilose e amilopectina (TORRES et al., 2005).

O maior valor de Vmáx foi observado para a farinha extrusada do T18 (501,50 cP), processada a 120 ºC, 500 rpm e 20% de umidade. Silva et al. (2013) ao avaliar farinhas pré-gelatinizadas de milho e feijão observaram valores de 38 a 298 Cp.

Observa-se que as variáveis temperatura e rotação apresentaram efeito quadrático significativo (Tabela 23) e por meio do coeficiente de determinação (Tabela 24) verifica-se que 66,6% da variação total pode ser explicada pelo modelo aplicado.

Tabela 23. Coeficiente de regressão e desvio padrão da variável resposta Viscosidade Máxima (Vmáx) em função da variação da umidade (%), temperatura de processo (°C) e velocidade de rotação das roscas (rpm).

	Coeficientes de regressão	Erro Padrão	t(4)	P valor
Média/Intercepto	-320,120	61,51961	-5,20354	0,006500
(1)Umidade (%)(L)	26,588	4,71512	5,63880	0,004869
Umidade (%)(Q)	-0,649	0,10864	-5,96909	0,003957
(2)Temperatura (ºC)(L)	2,440	0,38917	6,27020	0,003302
Temperatura (ºC)(Q)*	-0,010	0,00109	-9,22251	0,000768
(3) Rotação (RPM)(L)	0,069	0,03399	2,03259	0,111882
Rotação (RPM)(Q)*	-0,000	0,00001	-6,81443	0,002424
1L by 2L*	0,000	0,01398	0,00000	1,000000
1L by 3L	0,000	0,00140	0,00000	1,000000
2L by 3L	0,000	0,00014	0,00000	1,000000
R^2=0,666				

L = efeito linear; Q = efeito quadrático.* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 24. Análise de variância da variável dependente Índice Viscosidade Máxima (Vmáx).

Fonte de variação	GL	QM	P Valor
Resíduos	9	21,1347	
Falta de ajuste	5	36,0424	0,011463
Erro puro	4	2,5000	
Total	18		

Porcentagem de variação explicada (R2) = 66,6; **SQ**: Soma dos quadrados; **GL**: Graus de Liberdade; **QM**: Quadrados médios.

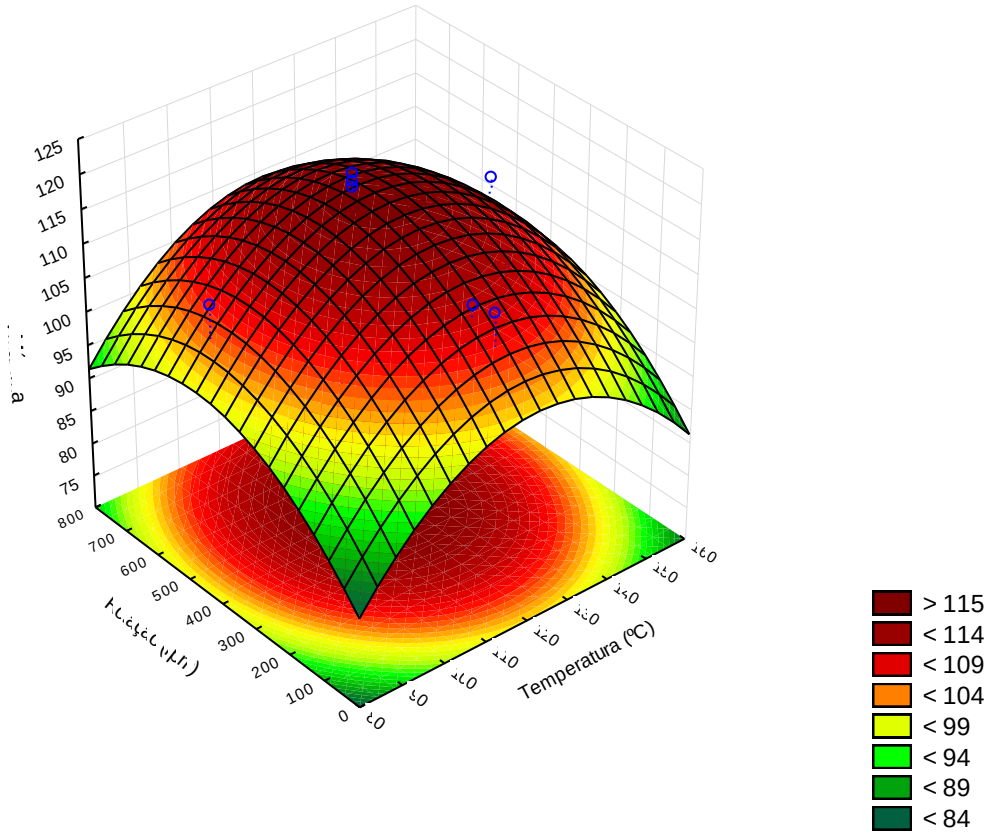


Figura 7. Efeito das variáveis independentes umidade (%) e temperatura (ºC) sobre a viscosidade máxima de farinha integral extrusada de feijão-caupi.

Na Figura 7 está representada a relação entre a viscosidade máxima com rotação e temperatura e observa-se que os melhores resultados foram verificados em valores próximos ao ponto central para ambas as variáveis.

5.3.6.3 Viscosidade mínima (Vmin)

A Vmin corresponde ao menor valor de viscosidade após o pico de gelatinização, que no caso das farinhas extrusadas, ocorreu a uma temperatura inferior a 95°C.

No presente estudo, o maior valor de Vmin foi observado para o T02 que foi realizado com os menores valores de temperatura e umidade (100ºC e 18%) e maior valor de rotação (700 rpm).

Moura (2012) observou, em extrusado de arroz, milho e feijão, menor valor de Vmin para o tratamento T09 que foi elaborado com o menor valor de temperatura (126°C) e com os pontos centrais de rotação e umidade (140 rpm e 21%).

Pela análise de regressão (Tabela 25) observa-se que os efeitos lineares e quadráticos para umidade e temperatura foram significativos e quanto à rotação, apenas o efeito quadrático. O valor de R^2 foi de 0,834, sendo considerado o modelo preditivo para a viscosidade mínima.

Tabela 25. Coeficiente de regressão e desvio padrão da variável resposta Viscosidade Mínima (Vmin) em função da variação da umidade (%), temperatura de processo (°C) e velocidade de rotação das roscas (rpm).

	Coeficientes de regressão	**Erro Padrão**	**t(4)**	**P valor**
Média/Intercepto*	2251,128	283,4579	7,94167	0,001361
(1)Umidade (%)(L)*	-153,709	21,7254	-7,07510	0,002106
Umidade (%)(Q)*	3,716	0,5006	7,42357	0,001758
(2)Temperatura (ºC)(L)*	-11,214	1,7931	-6,25382	0,003334
Temperatura (ºC)(Q)*	0,044	0,0050	8,87990	0,000889
(3) Rotação (RPM)(L)	0,035	0,1566	0,22542	0,832700
Rotação (RPM)(Q)*	0,000	0,0000	6,89148	0,002324
1L by 2L	0,059	0,0644	0,92207	0,408675
1L by 3L	-0,009	0,0064	-1,45590	0,219129
2L by 3L	-0,002	0,0006	-2,52356	0,065110
R^2=0,834				

L = efeito linear; Q = efeito quadrático.
* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 26. Análise de variância da variável dependente Viscosidade Mínima (Vmin).

Fonte de variação	**GL**	**QM**	**P Valor**
Resíduos	9	203,693	
Falta de ajuste	5	324,187	0,052029
Erro puro	4	53,075	
Total	18		

Porcentagem de variação explicada (R^2) = 83,4; **SQ**: Soma dos quadrados; **GL**: Graus de Liberdade; **QM**: Quadrados médios.

Ao observar o gráfico de superfície resposta (Figura 8), pode-se verificar que os maiores valores de viscosidade mínima foram verificados nos pontos extremos dos valores de umidade e temperatura, os menores valores foram das repetições do ponto central.

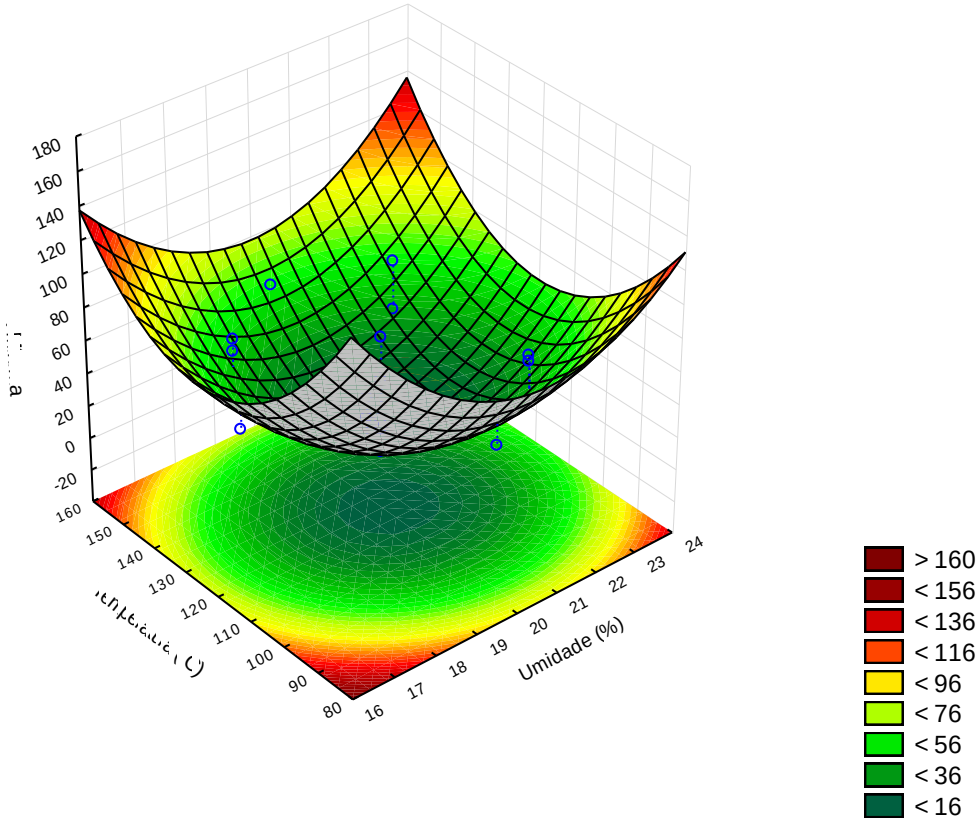


Figura 8. Efeito das variáveis independentes umidade (%) e temperatura (ºC) sobre a viscosidade mínima de farinha integral extrusada de feijão-caupi.

De acordo com Teba, Ascheri e Carvalho (2009), elevados teores de umidade diminuem o atrito e com isso uma quantidade menor de grânulos sofre degradação. Então, como a viscosidade mínima está relacionada à ruptura dos grânulos de amido, é necessário um menor valor de umidade para que este fenômeno ocorra com maior intensidade, pois assim, as moléculas tornam-se mais susceptíveis à ação do cisalhamento.

5.3.6.4 Breakdown

Através da propriedade de quebra de viscosidade (*breakdown*) é possível avaliar a estabilidade do amido em temperaturas elevadas por agitação mecânica,

indicando, indiretamente, a capacidade do produto se manter íntegro durante o cozimento (LUTOSA et al., 2009).

Os valores observados para as amostras extrusadas foram de 99,00 a 491,00. Teba; Ascheri e Carvalho (2009) observaram valores de 20,00 a 944,00 cP em massa alimentícia de arroz e feijão com a utilização de uma extrusora de rosca simples e o coeficiente linear da umidade e o percentual de farinha de feijão afetaram significativamente a quebra de viscosidade. Moura (2012), ao avaliar farinha mista de arroz, milho e feijão, utilizando um extrusor de rosca simples, observou valores de 29,00 a 135,00 cP, concluindo que a uma temperatura constante (160 ºC), maiores valores foram encontrados aumentando-se a umidade e a rotação do parafuso.

Verifica-se (Tabela 27) que para esse parâmetro nenhuma das variáveis foi significativa (p>0,05) e através da ANOVA constata-se que variação explicada pelo modelo foi de apenas 44,7%, e, portanto, o modelo não é preditivo.

Tabela 27. Coeficiente de regressão e desvio padrão da variável resposta *Breakdown* em função da variação da umidade (%), temperatura de processo (°C) e velocidade de rotação das roscas (rpm).

	Coeficientes de regressão	**Erro Padrão**	**t(4)**	**P valor**
Média/Intercepto	-6583,33	4369,527	-1,50665	0,206373
(1)Umidade (%)(L)	366,21	335,269	1,09228	0,336085
Umidade (%)(Q)	-5,71	7,709	-0,74107	0,499799
(2)Temperatura (ºC)(L)	42,87	27,801	1,54187	0,197964
Temperatura (ºC)(Q)	-0,11	0,077	-1,42551	0,227146
(3) Rotação (RPM)(L)	2,49	2,473	1,00744	0,370721
Rotação (RPM)(Q)	-0,00	0,001	-0,68785	0,529360
1L by 2L	-0,79	1,005	-0,78956	0,473954
1L by 3L	-0,11	0,101	-1,04757	0,353962
2L by 3L	0,00	0,010	0,24868	0,815854
R^2=0,447				

L = efeito linear; Q = efeito quadrático.
* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 28. Análise de variância da variável dependente *Breakdown*.

Fonte de variação	GL	QM	P Valor
Resíduos	9	12931,29	
Falta de ajuste	5	12927,38	0,514613
Erro puro	4	12936,18	
Total	18		

Porcentagem de variação explicada (R2) = 44,7; **SQ**: Soma dos quadrados; **GL**: Graus de Liberdade; **QM**: Quadrados médios.

5.3.6.5 Viscosidade final (Vfinal)

A retrogradação do amido ocorre por efeito da recristalização das moléculas de amilose e amilopectina, decorrente do agrupamento das partes lineares das moléculas do amido, principalmente amilose, através da formação de novas ligações de hidrogênio (CARVALHO, et al., 2002).

Os maiores valores de viscosidade final, 148 e 156 cP foram observados em amostras processadas a 100 ºC, 700 rpm e 18% de umidade (T02) e a 120 ºC, 836,34 rpm e 20% de umidade (T12), respectivamente. No estudo de Moura (2012), com farinha mista de arroz, feijão e milho, os maiores valores foram constatados no tratamento processado a 193 ºC, 140 rpm e 21% de umidade.

Na Tabela 29 estão apresentados os coeficientes de regressão da Vfinal, observa-se que para esse parâmetro foram significativos (p≤0,05) os efeitos linear e quadrático da temperatura e o efeito quadrático de rotação.

Tabela 29. Coeficiente de regressão e desvio padrão da variável resposta Viscosidade Final em função da variação da umidade (%), temperatura de processo (°C) e velocidade de rotação das roscas (rpm).

	Coeficientes de regressão	Erro Padrão	t(4)	P valor
Média/Intercepto*	2058,787	535,6826	3,84330	0,018408
(1)Umidade (%)(L)	-110,154	41,1024	-2,68000	0,055229
Umidade (%)(Q)	2,050	0,9451	2,16902	0,095915
(2)Temperatura (ºC)(L)*	-14,426	3,4082	-4,23274	0,013341
Temperatura (ºC)(Q)*	0,037	0,0094	3,97135	0,016520
(3) Rotação (RPM)(L)	0,048	0,3031	0,15851	0,881738
Rotação (RPM)(Q)*	0,001	0,0001	9,45218	0,000699
1L by 2L	0,328	0,1232	2,66237	0,056251
1L by 3L	-0,030	0,0123	-2,43417	0,071658
2L by 3L	-0,003	0,0012	-2,35810	0,077824
R^2=0,935				

L = efeito linear; Q = efeito quadrático.

* significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Através da ANOVA (Tabela 29) constatou-se que 93,5% da variabilidade da resposta pode ser explicada pelo modelo. Na Figura 9 estão ilustrados os efeitos das variáveis temperatura e rotação sobre a viscosidade final da farinha extrusada, mantendo-se o valor da umidade constante no valor do ponto central (20%). Observa-se que os maiores valores para viscosidade final foram verificados nos valores extremos de ambas variáveis.

Tabela 30. Análise de variância da variável dependente Viscosidade Final.

Fonte de variação	**GL**	**QM**	**P Valor**
Resíduos	9	182,94	
Falta de ajuste	5	173,75	0,558936
Erro puro	4	194,43	
Total	18		

Porcentagem de variação explicada (R2) = 93,5; **SQ**: Soma dos quadrados; **GL**: Graus de Liberdade; **QM**: Quadrados médios.

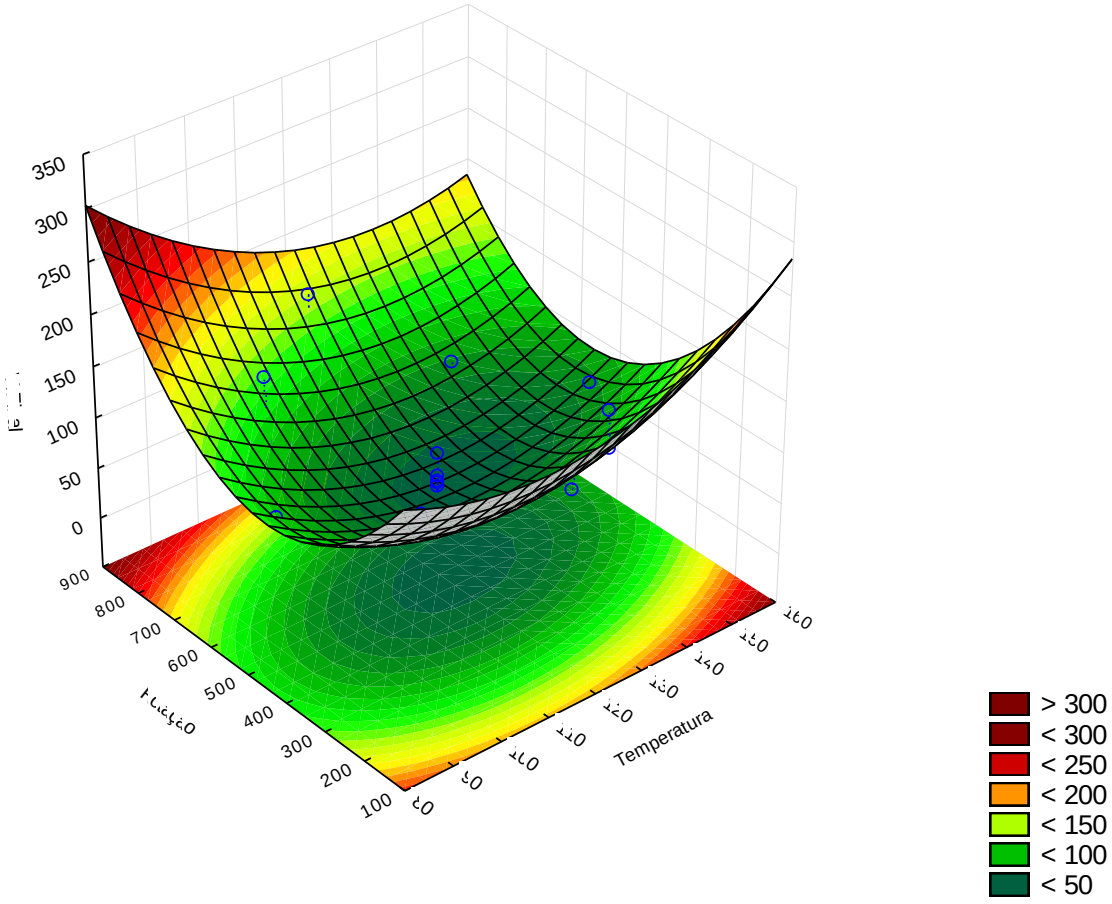


Figura 9. Efeito das variáveis independentes temperatura (ºC) e rotação (rpm) sobre a viscosidade final de farinha integral extrusada de feijão-caupi.

5.3.6.6 Setback

Os valores variaram entre 13,00 e 355,50 cP, com o maior valor no T12, elaborado a 120ºC, 836,34 rpm de rotação e 20% de umidade e o menor valor do T14, elaborado com a mesma temperatura, a 500 rpm de rotação e 23,36 % de umidade. Lopes (2010) ao avaliar extrusados de bandinha de feijão comum, utilizando uma extrusora de rosca simples, observou o menor valor à tendência à retrogradação no tratamento elaborado nas condições intermediárias de umidade (18%) e alta temperatura (178 ºC).

Observa-se na Tabela 31 que apenas o efeito quadrático da rotação foi significativo (p≤0,05). O coeficiente de regressão obtido foi baixo (0,596), sendo o modelo considerado não preditivo.

Tabela 31. Coeficiente de regressão e desvio padrão da variável resposta *Setback* em função da variação da umidade (%), temperatura de processo (°C) e velocidade de rotação das roscas (rpm).

	Coeficientes de regressão	**Erro Padrão**	**t(4)**	**P valor**
Média/Intercepto	-2042,11	1591,405	-1,28321	0,268719
(1)Umidade (%)(L)	194,97	122,107	1,59675	0,185557
Umidade (%)(Q)	-5,13	2,808	-1,82829	0,141508
(2)Temperatura (ºC)(L)	4,07	10,125	0,40220	0,708103
Temperatura (ºC)(Q)	-0,03	0,028	-1,13158	0,321053
(3) Rotação (RPM)(L)	-0,42	0,901	-0,46774	0,664318
Rotação (RPM)(Q)*	0,00	0,000	4,09506	0,014913
1L by 2L	0,18	0,366	0,48223	0,654843
1L by 3L	-0,03	0,037	-0,78949	0,473990
2L by 3L	0,00	0,004	0,03841	0,971203
R^2=0,596				

L = efeito linear; Q= efeito quadrático.
* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 32. Análise de variância da variável dependente *Setback.*

Fonte de variação	**GL**	**QM**	**Valor de P**
Resíduos	9	4497,53	
Falta de ajuste	5	6722,81	0,105158
Erro puro	4	1715,93	
Total	18		

Porcentagem de variação explicada (R2) = 59,6; **SQ**: Soma dos quadrados; **GL**: Graus de Liberdade; **QM**: Quadrados médios.

5.3.7 Reconstituição e comportamento das farinhas extrusadas

Na Tabela 33 estão apresentados os resultados da reconstituição das farinhas extrusadas.

Tabela 33. Tempo de reconstituição e características de farinhas integrais extrusadas de feijão-caupi a 30 ºC.

Tratamentos	Tempo (s)	Observações	Após 30 minutos
T01	16		
T02	23		
T03	35	Formação de grumos	Separação de fase de até 10 cm
T04	25		
T05	23	Formação de grumos	
T06	21		Separação de fases de até 4 cm
T07	17	Formação de grumos	
T08	14	Formação de grumos	Separação de fases de até 6 cm
T09	14	Formação de grumos	Separação de fases de até 3 cm
T10	15		Separação de fases de até 8 cm
T11	20	Formação de grumos	
T12	15		Separação de fases de até 2 cm
T13	12	Formação de grumos	Separação de fases de até 9 cm
T14	13		Separação de fases de até 8 cm
T15	15	Formação de grumos	Separação de fases de até 9 cm
T16	14	Formação de grumos	Separação de fases de até 11 cm
T17	13	Formação de grumos	Separação de fases de até 8 cm
T18	12		Separação de fases de até 6 cm
T19	12		Separação de fases de até 8 cm

Fonte: Dados da pesquisa, 2016.

A designação de alimentos instantâneos é empregada para descrever alimentos em pó que são facilmente miscíveis em água fria e esses produtos apresentam propriedades físicas como solubilidade, tamanho e dispersão das partículas, que definem os parâmetros do processo de produção (VISSOTTO et al., 2006).

Com os dados obtidos, verifica-se que as amostras com as melhores características foram as farinhas extrusadas dos T01, T02, T04, T05, T07 e T11, levando em consideração o tempo de reconstituição, características durante a dissolução e após 30 minutos em temperatura ambiente.

Os tempos de reconstituição dos melhores tratamentos variaram entre 16 e 25 segundos e as características observadas foram a não formação de grumos obtendo assim uma consistência mais pastosa e não haver separação de fases.

5.4 Composição química

Na Tabela 34 estão apresentadas a composição centesimal das amostras cruas de feijão-caupi e dos tratamentos após o processamento.

Com relação à umidade, as amostras do grão e da farinha crua apresentaram os maiores valores, 12,46% e 12,05%, respectivamente. Todas as amostras extrusadas apresentaram redução no teor de umidade e os tratamentos T04, T05, T06, T07, T08, T09 e T12 demonstraram os menores valores, 8,17% em média, e foram estatisticamente iguais. Ruiz-Ruiz et al. (2008) ao avaliar extrusados expandidos também observaram uma redução aproximadamente de 12% para 8% em relação a amostra crua, destacando um dos efeitos do processo de extrusão que, por ser realizado a elevadas temperaturas, promove a secagem do produto. Ressalta-se também, que após a extrusão, as amostras foram submetidas a secagem em estufa a 60 °C por 4 horas.

As cinzas fornecem estimativas sobre o conteúdo total de minerais dos alimentos e, quanto a esse componente, os valores observados ficaram entre 3,47% para o grão e 4,38% para o tratamento T01, o que condiz com o valor de 3,85% da amostra extrusada de feijão-caupi no estudo realizado por Batista (2010). Os tratamentos extrusados T17 e T18 não sofreram modificação no teor de cinzas quando comparados com a matéria-prima.

Tabela 34. Composição centesimal do grão, farinha crua e amostras extrusadas de feijão-caupi integral, valores apresentados em base seca.

Tratamentos	Umidade (%)	Cinzas (%)	Proteínas (%)	Lipídeos (%)	Carboidratos (%)
Grão	12,46± 0,05 aA	3,46± 0,02 bA	24,46± 0,05 bA	2,02± 0,13 aA	70,06± 0,16 cA
Farinha crua	12,05± 0,10 bB	3,55± 0,06 bB	24,76± 0,17 aB	1,97± 0,18 aB	69,73± 0,32 cB
T01	8,51± 0,10 c	4,38± 0,14 a	24,13± 0,06 c	1,21± 0,26 c	70,29± 0,39 c
T02	8,61± 0,06 c	3,88± 0,07 a	24,07± 0,08 c	0,96± 0,02 c	71,09± 0,20 b
T03	8,58± 0,23 c	3,95± 0,55 a	24,10± 0,15 c	1,35± 0,03 b	70,60± 0,49 c
T04	8,15± 0,07 d	4,11± 0,27 a	24,25± 0,05 c	1,36± 0,10 b	70,29± 0,33 c
T05	8,22± 0,08 d	3,81± 0,10 a	25,18± 0,22 a	1,15± 0,19 c	70,20± 0,28 c
T06	8,33± 0,26 d	4,01± 0,14 a	24,90± 0,08 a	1,06± 0,14 c	70,03± 0,12 c
T07	8,22± 0,22 d	3,74± 0,12 b	24,72± 0,03 aB	1,16± 0,19 c	70,37± 0,44 c
T08	8,01± 0,14 d	3,96± 0,50 a	24,15± 0,18 c	1,09± 0,08 c	70,80± 0,65 b
T09	8,18± 0,17 d	4,03± 0,03 a	24,11± 0,05 c	1,48± 0,13 b	70,39± 0,26 c
T10	8,98± 0,02 c	3,89± 0,03 a	24,01± 0,12 c	0,93± 0,02 c	71,18± 0,10 b
T11	8,49± 0,19 c	3,93± 0,07 a	24,26± 0,05 c	1,57± 0,14 b	70,25± 0,07 c
T12	8,11± 0,13 d	3,91± 0,06 a	24,35± 0,15 b	1,34± 0,25 b	70,40± 0,39 c
T13	8,49± 0,08 c	3,99± 0,09 a	24,23± 0,03 c	1,16± 0,08 c	70,61± 1,05 c
T14	8,74± 0,06 c	3,97± 0,12 a	24,41± 0,11 bA	1,30± 0,24 b	70,31± 0,03 c
T15	8,94± 0,04 c	3,91± 0,01 a	23,69± 0,17 e	1,22± 0,15 c	71,17± 0,20 b
T16	8,55± 0,18 c	3,98± 0,05 a	23,79± 0,23 d	1,32± 0,02 b	70,91± 0,23 b
T17	8,74± 0,11 c	3,55± 0,02 bAB	23,64± 0,21 e	1,09± 0,13 c	71,72± 0,26 a
T18	8,76± 0,08 c	3,55± 0,05 bAB	23,89± 0,12 d	1,37± 0,14 b	71,20± 0,26 b
T19	8,42± 0,03 c	3,57± 0,06 bB	23,54± 0,12 e	1,20± 0,06 c	71,68± 0,04 a
CV(%)	2,75	1,96	0,54	11,22	0,41
Média geral	8,83	4,88	24,20	1,30	70,63

Todos os valores estão apresentados como médias ± desvio padrão de três determinações. Letras minúsculas iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott (p≤0,05). Letras maiúsculas iguais na mesma coluna são semelhantes às testemunhas grão e farinha crua pelo Teste de Dunnett (p≤0,05). Fonte: Dados da pesquisa, 2016.

Os teores de proteína observados no estudo corroboram com os valores encontrados na literatura para o feijão-caupi, que estão entre 23,54% e 25,18% dentre as amostras extrusadas, a que apresentou maior valor foi o tratamento T05, com 25,18%.

O feijão é uma importante fonte de proteína e apesar de não ser de elevada qualidade devido à deficiência de alguns aminoácidos essenciais, pode ser complementada pela combinação com outras matérias-primas como o arroz (FROTA; SOARES; ARÊAS, 2008; RIOS, 2014).

Quanto ao conteúdo de lipídeos, observa-se que os maiores valores foram das matérias-primas, com média de 2,00%, já as farinhas extrusadas apresentaram uma redução significativa, com valores entre 0,93% e 1,57%. Batista, Prudêncio e Fernandes (2010) encontraram valores de 0,90% para a farinha crua integral de feijão-caupi e 0,91% para a extrusada, não havendo diferença entre as amostras.

A literatura relata que em processos de extrusão utilizando temperaturas acima de 200 ºC e rotação de parafuso superior a 300 rpm há degradação lipídica e formação de complexos lipídio-amilose. No presente estudo, apenas o tratamento T11 foi processado em rotação inferior a esse valor (163,64 rpm) e apresentou menor redução quando comparado à matéria-prima, característica que pode ter influenciado na diferença encontrada nas demais amostras após o processamento (DE PILLI et al., 2008).

Os valores de carboidratos das farinhas extrusadas ficaram entre 70,03% e 71,72%, superiores ao encontrado por Batista, Prudêncio e Fernandes (2010) em amostra extrusada de feijão-caupi (62,56%). Já no grão e farinha crua obteve-se 70,06% e 69,73%, respectivamente, estando de acordo com outros trabalhos realizados com o grão (BARROS, 2014; FROTA; SOARES; ARÊAS, 2008).

O conteúdo dos elementos minerais das amostras estão apresentados na Tabela 35. A cultivar utilizada no presente estudo é biofortificada em ferro e zinco, minerais de grande interesse para a saúde pública, uma vez que sua deficiência acarreta prejuízos no crescimento e desenvolvimento, afetando principalmente crianças e mulheres em idade reprodutiva.

O processamento térmico além de melhorar a palatabilidade dos alimentos, também influencia na biodisponibilidade e digestibilidade dos nutrientes, fatores que devem ser avaliados como forma de assegurar que os produtos elaborados possuem adequado valor nutritivo.

Tabela 35. Conteúdo de minerais do grão, farinha crua e das amostras extrusadas de feijão-caupi integral.

Tratamentos	Ferro (mg/100g)	Zinco (mg/100g)	Cobre (mg/100g)	Manganês (mg/100g)	Fósforo (mg/100g)	Magnésio (mg/100g)	Potássio (mg/100g)
Grão	8,97± 0,52 cA	4,41± 0,02 bA	0,60± 0,01 aA	1,00± 0,11 aA	464,05± 4,95 bA	271,69± 3,58 aA	1539,45± 16,93 bA
Farinha	8,08± 0,28 dB	4,16± 0,14 bB	0,58± 0,03 aB	0,99± 0,04 aB	517,40± 28,74aB	243,68± 0,01 cB	1522,06± 3,32 bB
T01	7,64± 0,14 e	3,20± 0,02 c	0,46± 0,02 b	0,91± 0,04 a	521,28±9,25 aB	276,34± 2,81 a	1483,10± 43,61 c
T02	7,23± 0,15 e	3,12± 0,01 c	0,49± 0,01 b	0,93± 0,07 a	502,13± 3,78 a	265,92± 2,42 b	1440,83± 11,31 c
T03	9,90± 0,34 a	3,14± 0,04 c	0,53± 0,02 b	0,98± 0,02 aAB	507,94± 3,24 a	291,40± 1,01 a	1450,66± 11,82 c
T04	8,28± 0,07 d	3,05± 0,08 c	0,62± 0,18 a	1,00± 0,04 aAB	496,18± 1,42 b	277,15± 8,17 a	1437,95± 18,78c
T05	7,60± 0,25 e	3,03± 0,04 c	0,53± 0,00 b	0,93± 0,05 a	499,16± 6,82 b	259,49± 15,95 b	1377,04± 21,38 d
T06	7,59± 0,06 e	3,04± 0,02 c	0,53± 0,00 b	0,98± 0,01 aAB	522,54± 18,53 aB	273,91± 8,52 aA	1385,92± 8,32 d
T07	8,60± 0,07 c	2,99± 0,03 c	0,54± 0,01 b	0,96± 0,04 a	494,56± 3,47 b	275,23± 4,99 aA	1377,12± 35,98 d
T08	7,53± 0,11e	2,99± 0,03 c	0,54± 0,01 b	0,91± 0,00 a	485,16± 13,57 b	264,83± 3,38 b	1433,10± 28,73 c
T09	7,97± 0,09 dB	3,01± 0,02 c	0,53± 0,01 b	0,94± 0,05 a	505,10± 2,96 a	279,81± 5,86 a	1405,38± 44,91 d
T10	7,48± 0,10 e	3,08± 0,07 c	0,54± 0,00 b	0,97± 0,07 aB	510,86± 7,42 aB	280,02± 5,37 aA	1428,86± 19,78 c
T11	7,39± 0,03 e	3,01± 0,04 c	0,54± 0,01 b	0,96± 0,03 a	486,53± 13,67 b	273,37± 6,18 a	1413,22± 20,63 d
T12	9,29± 0,03 c	4,04± 0,94 b	0,57± 0,04 aB	0,97± 0,03 aB	508,35± 13,03 a	282,01± 7,74 aA	1364,61± 24,21 c
T13	7,59± 0,19 e	4,97± 0,10 a	0,61± 0,01 aA	0,98± 0,05 aB	493,09± 9,17 b	274,23± 3,64 a	1410,49± 43,66 d
T14	8,83± 1,07 cA	5,02± 0,21 a	0,61± 0,02 aA	1,01± 0,07 aAB	485,55± 28,32 b	282,64± 5,89 a	1426,52± 49,38 c
T15	10,31± 0,12a	4,86± 0,13 a	0,62± 0,02 a	0,99± 0,02 aAB	494,52± 10,39 b	276,88± 14,03 a	1570,62± 23,67 a
T16	9,55± 0,38 b	4,84± 0,04 a	0,61± 0,01 aA	1,01± 0,02 aA	496,11± 7,40 b	286,99± 0,65 a	1625,53± 29,62 a
T17	9,98± 0,54 a	4,81± 0,09 a	0,61± 0,01 aA	1,02± 0,06 aA	506,74± 26,69 a	280,14± 16,80 a	1430,82± 19,88 c
T18	9,04± 0,16 cA	4,75± 0,13 a	0,61± 0,01 aA	0,96± 0,02 a	489,75± 23,75 b	274,57± 3,67 Aa	1571,89± 40,19 a
T19	9,44± 0,31 b	4,61± 0,04 a	0,61± 0,01 aA	0,98± 0,03 aAB	485,44± 15,01 b	276,83± 11,96 a	1595,31± 34,40 a
CV(%)	3,96	5,79	7,36	4,94	2,94	2,87	2,00
Média geral	8,49	3,82	0,56	0,97	498,69	274,63	1461,45

Todos os valores estão apresentados como médias ± desvio padrão de três determinações. Letras minúsculas iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott (p≤0,05). Letras maiúsculas iguais na mesma coluna são semelhantes às testemunhas grão e farinha crua pelo Teste de Dunnett (p≤0,05). Fonte: Dados da pesquisa, 2016.

O teor de ferro na farinha crua e no grão foi de 8,08 mg/100g e 8,97 mg/100g, respectivamente, valores superiores ao encontrado por Carvalho et al. (2012) para o grão da mesma cultivar de feijão-caupi (7,5 mg/100g).

Nas amostras extrusadas houve um aumento no teor de ferro nos T03, T15 e T17, que não diferiram entre si ($p \geq 0,05$) e apresentaram valores de 10,06 g/100g, em média. Já as farinhas dos T01, T02, T05, T06, T08, T10, T11 e T13 demonstraram valores menores que os do grão e farinha crua, com 7,51, g/100g em média.

Quanto ao zinco, os valores observados para a farinha crua e o grão não diferiram entre si ($p \geq 0,05$), com média de 4,29 mg/100g, valor superior ao relatado por Carvalho et al. (2012), que foi de 3,6 mg/100g.

E quanto ao teor desse mineral nas farinhas extrusadas, houve redução nas amostras do T01 ao T11 (média de 3,06 g/100g), quando comparadas às matérias-primas, e aumento nos T13 ao T19 (média de 4,84 mg/100g).

Nkundabombi, Nakimbugwe e Muyonga (2015) ao analisarem os efeitos da extrusão em farinhas de feijão-comum, também observaram aumento no teor de ferro (16,5% em média), o que pode ser atribuído à migração de ferro das peças da extrusora. Quanto ao teor de zinco, os autores observaram menores valores nas amostras extrusadas, com redução de aproximadamente 11,6%.

Em pesquisas que avaliaram a influência do cozimento na composição química do feijão-caupi, foi observada uma redução nos teores de ferro e zinco dos grãos da cultivar BRS Tumucumaque. No estudo de Pereira et al. (2014), com diferentes métodos de cocção, constataram redução de até 69,6% no teor de ferro e 67,6% no teor de zinco. Já Barros (2014) observou que o teor de ferro diminuiu em 55,7% e o de zinco em 49,2%.

Em comparação ao método convencional de cozimento, forma mais utilizada para consumo do feijão, as perdas foram menores com a utilização da extrusão termoplástica. No presente estudo, nos tratamentos em que houve redução no teor de Fe, foi de 16,3% em média em relação ao grão, e a redução no teor de Zn foi de 30,6% em média.

De acordo com a Portaria Nº 27, de 13 de Janeiro de 1998, da ANVISA – Regulamento Técnico referente à Informação Nutricional Complementar, alimentos fonte de minerais são aqueles com mínimo de 15% da IDR/100g do produto pronto e alimentos com elevado teor, apresentam um mínimo de 30% da IDR/100g no

produto. Para adultos, a ingestão diária recomendada de Fe é de 15 mg/dia e de Zn é de 10 mg/dia (BRASIL, 1998; INSTITUTE OF MEDICINE, 2001).

Portanto, os valores observados mostram que a farinha extrusada T15 se apresenta como produto com elevado teor de Fe, atingindo 69% da ingestão diária recomendada para adultos e o tratamento T14 possui elevado teor de Zn, suprindo 50,2% da ingestão diária desse mineral.

Para o elemento mineral Cu, os valores observados foram de 0,60 e 0,58 mg/100g para o grão e farinha crua, respectivamente, superiores ao encontrados por Barros (2014) para o grão cru (0,33 mg/100g). As farinhas extrusadas do T04 e do T12 ao T19 foram iguais às matérias-primas ($p \geq 0,05$) e os demais tratamentos demonstraram valores inferiores, com média de 0,52 mg/100g, que significou uma média de redução de 11,8%.

O teor de Mn não apresentou redução significativa ($p \geq 0,05$) após o processamento, com valores entre 0,91 mg/100 g (T08) e 1,02 mg/100 g (T17). Carvalho et al. (2012) observou teor de 2,00 mg/100 g de Cu para o grão cru da mesma cultivar.

Com relação aos teores de P, os maiores valores foram para a farinha crua e nas amostras dos T01, T02, T03, T06, T09, T10, T12 e T17, que foram iguais entre si e com média de 511,37 mg/100g.

Para o elemento Mg, a maioria das farinhas extrusadas não diferiu do grão (271,69 mg/100g), havendo uma redução apenas nos tratamentos T02, T05 e T08, que apresentaram média de 263,41 mg/100g e redução de aproximadamente 3%. Barros (2014) observou redução de 53,6% no teor de cobre de grão após o cozimento.

E para o elemento K, os teores observados foram de 1364,71 mg/100g (T12) a 1625,53 mg/100g (T16), valores condizentes com o encontrado por Carvalho et al. (2012) para o grão cru, que foi de 1106,00 mg/100g.

5.5 Compostos fenólicos e atividade antioxidante

Na Tabela 36 estão apresentados os teores dos compostos fenólicos analisados e atividade antioxidante pelo método DPPH das amostras extrusadas com melhores resultados na análise de reconstituição, assim como das matérias-primas.

Tabela 36. Teor de fenólicos totais, flavonoides e antocianinas do grão, farinha crua e amostras extrusada de feijão-caupi integral.

Tratamentos	Fenólicos totais (mg GAE/100g*)	Flavonoides (mg EQ/100g**)	Antocianinas (mg GAE/100*)
Grão	100,86± 3,98 bA	100,73± 3,38 aA	0,33± 0,01 bA
Farinha crua	98,44± 3,97 bB	83,06± 3,38 bB	0,56± 0,00 aB
T01	58,19± 3,16 c	28,32± 3,35 e	0,11± 0,01 d
T02	106,11± 3,17 aAB	53,75± 3,3 c	0,06 ± 0,00 e
T04	97,24± 3,18 bAB	36,35± 3,38 d	0,05 ± 0,01 e
T05	65,96± 3,09 d	39,14± 3,29 d	0,12 ± 0,01 d
T07	82,37± 5,50 c	42,12± 3,37 d	0,11 ± 0,01 d
T11	61,27± 3,13 d	47,24± 6,64 c	0,17 ± 0,01 c
CV(%)	4,45	7,29	3,35
Média geral	83,81	53,84	0,19

* Equivalentes de Ácido Gálico (GAE) **Equivalentes de Quercetina (EQ)
Todos os valores estão apresentados como médias ± desvio padrão de três determinações. Letras minúsculas iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott (p≤0,05). Letras maiúsculas iguais na mesma coluna são semelhantes às testemunhas grão e farinha crua pelo Teste de Dunnett (p≤0,05). Fonte: Dados da pesquisa, 2016.

Com relação ao teor de fenólicos totais, o grão e a farinha crua apresentaram valores de 100,86 mg GAE/100g e 98,44 mg GAE/100g, respectivamente. Dentre as amostras extrusadas, o maior valor foi do T02 (106,11 mg GAE/100g) e o menor do T01, com 58,19 mg GAE/100g. Após o processamento, observou-se que as farinhas extrusadas dos tratamentos T02 e T04 não diferiram (p≥ 0,05) das matérias-primas, já nos demais tratamentos houve diminuição desse composto.

No estudo de Korus, Gumul e Czechowska (2007) avaliou-se o efeito da extrusão sobre os fenólicos totais de três variedades de feijão-comum. Os autores observaram que esse efeito depende da cultivar analisada, contudo, nas três variedades houve menor redução com a temperatura de processamento de 120 °C do que utilizando 180 °C. E em ambas as temperaturas de extrusão, foram observadas menores perdas em amostras com umidade inicial mais elevada.

No presente estudo, o tratamento com maior redução (T01) foi processado a 100 ºC, com 300 rpm e 18% de umidade; já o T02 e T04 que não tiveram redução significativa, foram processados a 100 ºC e 140 ºC, respectivamente, e com os mesmos parâmetros de rotação e umidade (700 rpm e 18%). Ou seja, a diferença quanto ao efeito dos parâmetros de extrusão foi observada na rotação, onde os melhores resultados para fenólicos totais foram obtidos com o maior valor dessa variável, possivelmente relacionada ao menor tempo de residência no interior do

canhão da extrusora, e consequentemente, ao menor tempo sob a ação térmica do processo.

Quanto ao conteúdo de flavonoides, o maior valor observado foi do grão, com 100,73 mg EQ/100g, resultado superior ao encontrado por Barros (2014) para a mesma cultivar, de 45, 80 mg EQ/100g. Houve redução significativa ($p \leq 0,05$) em todos os tratamentos, com menor valor para o T01 (28,32 mg EQ/100g).

Essa redução também foi observada em estudos que avaliaram o conteúdo de flavonoides totais em diferentes cultivares de feijão-caupi, o que pode ter sido ocasionado pelo processamento térmico úmido que pode afetar os fitoquímicos pela quebra térmica (BARROS, 2014; PINHEIRO, 2013; VOLDEN et al., 2008).

Quanto aos resultados de antocianinas, os valores observados ficaram entre 0,05 mg GAE/100 (T04) e 0,56 mg GAE/100 (farinha crua) e após a extrusão houve redução ($p \leq 0,05$) desse composto nos tratamentos comparados ao grão e a farinha crua. Pinheiro (2013) observou valores de antocianinas de 8,33 mg GAE/100 a 27,76 mg GAE/100 em três genótipos de feijão-caupi e com relação ao grão cozido, não foram detectadas antocianinas nos genótipos estudados.

A atividade antioxidante do grão, da farinha crua e dos tratamentos extrusados está demonstrada na Tabela 37.

A partir dos valores referentes à análise de DPPH, percebe-se que, o grão apresentou maior atividade antioxidante (517,19 µmol TEAC/100g), valor condizente com o observado por Barros (2014) para o grão cru da mesma cultivar, que foi de 551,5 µmol TEAC/100g.

Quando comparadas ao grão, houve redução da atividade antioxidante em todas as farinhas extrusadas, com menores valores para o T01 e T11, que não diferiram entre si, com 325,19 e 333,76 µmol TEAC/100g, respectivamente.

Barros (2014) também observou diminuição significativa ($p \leq 0,05$) ao avaliar o efeito do cozimento em quatro cultivares de feijão-caupi, encontrando valor de 278,4 µmol TEAC/100g no grão cozido da cultivar BRS Tumucumaque, o que representou uma redução de 49,5 % em relação ao grão cru. Já no presente estudo, a maior redução observada foi de 37,1% para amostras do T01 e de 35,5% para o T11.

A redução da capacidade antioxidante após a extrusão pode ter ocorrido devido à destruição dos compostos fenólicos pelo processamento térmico, diminuição que foi verificada nos valores descritos anteriormente, ou até mesmo pela formação de novos compostos com ação pró-oxidante.

Tabela 37. Atividade antioxidante do grão, farinha crua e amostras extrusada de feijão-caupi integral.

Amostras	DPPH (µmol TEAC/100g*)
Grão	517,19± 8,46 aA
Farinha crua	306,70± 8,45 dB
T01	325,19± 6,72 dB
T02	467,17± 6,75 b
T04	382,56± 0,0 c
T05	356,53±32,56 c
T07	370,06± 0,0 c
T11	333,76± 6,66 dB
CV(%)	3,38
Média geral	382,40

* Capacidade Antioxidante Equivalente ao Trolox (TEAC).
Todos os valores estão apresentados como médias ± desvio padrão de três determinações. Letras minúsculas iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott (p≤0,05). Letras maiúsculas iguais na mesma coluna são semelhantes às testemunhas grão e farinha crua pelo Teste de Dunnett (p≤0,05). Fonte: Dados da pesquisa, 2016.

5.6 Análise sensorial

Quanto aos assessores sensoriais, 86% encontravam-se na faixa etária de 18 a 25 anos, 11% tinham entre 26 e 35 anos e 3% entre 36 e 45 anos. Os resultados do teste de aceitação para os tratamentos analisados estão apresentados na Tabela 38.

Tabela 38. Aceitação global de farinha integral extrusada de feijão-caupi.

Tratamentos	Aceitação global (pontuação)
T01	6,39 ± 1,84 a
T02	4,22 ± 2,01 b
T04	5,89 ± 1,86 a
T07	6,04 ± 1,77 a
CV (%)	27,96
Média geral	5,64

Todos os valores estão apresentados como médias ± desvio padrão de três determinações. Letras minúsculas iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey (p≤0,05). Fonte: Dados da pesquisa, 2017.

Com a comparação de médias observa-se que a dispersão preparada em água aquecida com a farinha do T02 diferiu (p≤0,05) das demais e apresentou a

menor nota, referente a “desgostei levemente” de acordo com a escala hedônica. Já os demais tratamentos não diferiram entre si, a dispersão preparada com a farinha do T04 apresentou como descrição indicativa de “indiferente” e as dispersões preparadas com as farinhas dos T01 e T07 foram as que apresentaram as maiores notas, referente a “gostei levemente”.

Na Figura 10 está ilustrado o resultado do teste de intenção de compra. Observa-se que a amostra preparada com a farinha do T01 apresentou maior porcentagem de intenções positivas, igual a 62% (certamente compraria e provavelmente compraria), e a amostra preparada com a farinha do T02 apresentou maior rejeição em relação a intenção de compra, apresentando 66%, referente às respostas “provavelmente não compraria” e “certamente não compraria”.

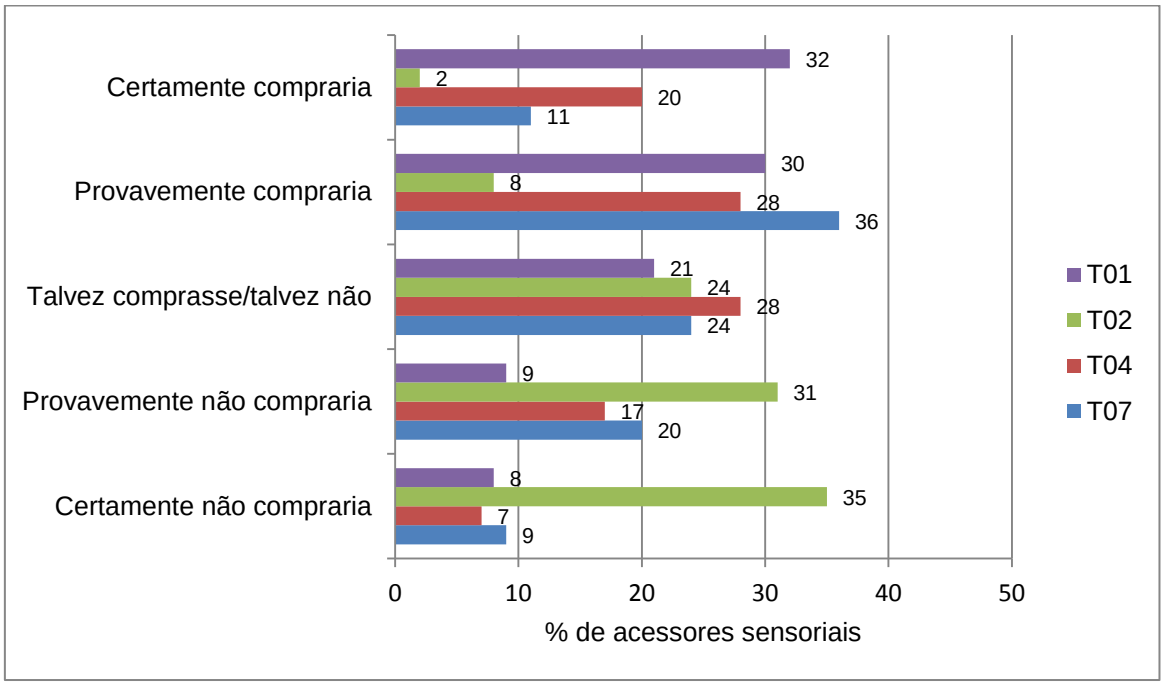


Figura 10. Intenção de compra para farinha integral extrusada de feijão caupi.

Silva (2010) ao avaliar a aceitação de sopa elaborada com farinha extrusada de feijão e milho também observou que as médias obtidas em todos os quesitos estavam relacionadas as opiniões “não gostei nem desgostei" e “gostei ligeiramente”, não havendo diferença significativa entre as amostras. O autor destacou que o preparo de sopas no ato do consumo exige certos cuidados, pois cada consumidor possui uma preferência no que se refere por exemplo a consistência e concentração dos ingredientes.

Um fator que pode ter influenciado na aceitação dos caldos elaborados foi a ausência de ingredientes utilizados na preparação típica de “caldinho de feijão”, como torresmo e pimenta, porém como o intuito do trabalho foi de avaliar as modificações do processamento na farinha do feijão, foram utilizados temperos naturais em uma mesma proporção que não interferisse na diferença entre os tratamentos

6 CONCLUSÕES

- Os extrusados de farinha integral de feijão-caupi mostraram ser uma excelente opção nutritiva para a elaboração de farinha pré-cozida para uso na alimentação;
- Os resultados das propriedades funcionais mostraram que os diferentes tratamentos estudados, apresentaram opções de uso distintos. Sendo alguns, por suas características de viscosidade e, propriedade de absorção e solubilidade em água, apropriados para alimentos mais consistentes, como sopas cremosas, outras pela severidade do tratamento para bebidas e / ou até “snacks” expandidos.
- Do ponto de vista nutricional, através deste processo disponibiliza-se uma farinha instantânea para preparo rápido de caldo e / ou sopas, fonte de proteínas, carboidratos e de minerais, com destaque para as concentrações de ferro e zinco;
- Embora a severidade dos tratamentos tenha sido alta, os compostos fenólicos se mantiveram presentes, embora com uma diminuição em relação à farinha crua, o que era esperado, devido às condições de processamento por extrusão, velocidades maiores na rotação das roscas diminuíram a degradação, relacionada ao menor tempo de exposição à energia térmica.
- Na análise sensorial, a amostra preparada com a farinha T01 apresentou maior porcentagem de intenções positivas no teste de intenção de compra.

REFERÊNCIAS

ALVAREZ-MARTINEZ, L.; KONDURY, K. P.; HARPER, J. M. A general-model for expansion of extrused products. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 53, n. 2, p. 609-615, 1988.

ANDRADE, F. N.; ROCHA, M. M.; GOMES, R. L. F.; FREIRE FILHO, F. R.; RAMOS, S. R. R. Estimativas de parâmetros genéticos em genótipos de feijão-caupi avaliados para feijão fresco. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 2, p. 253-258, abr-jun, 2010.

ANTON, A. A.; FULCHER, R. G.; ARNTFIELD, S. D. Physical and nutritional fortification of corn starch-based extrused snacks with common bean flour: effects of bean addition and extrusion cooking. **Food Chemistry**, v. 113, p. 989-996, 2008.

AOAC, ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 16. Ed. Arlington: AOAC, 2005.

ASCHERI, J. L. R.; CARVALHO, C. W. P. **Processo de extrusão de alimentos: aspectos tecnológicos para o desenvolvimento e produção de alimentos para o consumo humano e animal.** Embrapa, Rio de Janeiro – RJ, 2014.

ASCHERI, D. P. R.; ASCHERI, J. L. R.; CARVALHO, C. W. P. Caracterização da farinha de bagaço de jabuticaba e propriedades funcionais dos extrusados. **Ciência Tecnologia. Alimentos**, v. 26, n. 4, Dec. 2006.

BARROS, N. V. A. **Influência do cozimento na composição centesimal, minerais, compostos bioativos e atividade antioxidante de cultivares de feijão caupi.** 2014. 90 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Alimentos e Nutrição, Universidade Federal do Piauí, Teresina-PI, 2014.

BATISTA, K. A**. Extrusão de farinha de feijão hard-to-cook: características bioquímicas e propriedades funcionais.** 2010. 116 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de pós-graduação em Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia-GO, 2010.

BATISTA, K. A.; PRUDÊNCIO, S. H.; FERNANDES, K. F. Changes in the biochemical and functional properties of the extruded hard-to-cook cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.). **International Journal of Food Science and Technology**, v. 45, p. 794–799, 2010.

BATISTA, K. A.; PRUDÊNCIO, S. H.; FERNANDES, K. F. Wheat Bread Enrichment with Hard-to-Cook Bean Extruded Flours: Nutritional and Acceptance Evaluation. **Journal of Food Science**, v. 76, n. 1, p. 108-113, 2011.

BECKER, A.; HILL, S. E.; MITCHELL, J. R. Milling – a further parameter affecting the rapid visco analyser (rva) profile. **Cereal Chemistry**, n.78, p.166-172, 2001.

BHANDARI, B., D'ARCY, B.; YOUNG, G. Flavour retention during high temperature short time extrusion cooking process: a review. **International Journal of Food Science and Technology**, v.36, n.1, p. 453–461, 2001.

BLASA, M.; CANDIRACCI, M.; ACCORSI, A.; PIACENTINI, M. P.; ALBERTINI, M. C.; PIATTI, E. Raw *Millefiori* honey is packed full of antioxidants. **Food Chemistry**, v.97, n. 2, p. 217-222, 2006.

BORBA, A. M.; SARMENTO, S. B. S.; LEONEL, M. Efeito dos parâmetros de extrusão sobre as propriedades funcionais de extrusados da farinha de batata-doce. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.25, n. 4, p. 835-843, 2005.

BORGES, J. T. S.; ASCHERI; J. L. R.; ASCHERI, D. R.; NASCIMENTO, R. E.; FREITAS, A.S. Propriedades de cozimento e caracterização físico-química de macarrão pré-cozido à base de farinha integral de quinoa (*Chenopodium quinoa*, Wild) e de farinha de arroz (*Oryza sativa*, L.) polido por extrusão termoplástica. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v.21, n.2, p.303-322, 2003.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate activity. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie**, França, v. 28, n. 1, p. 25-30, 1995.

BRASIL, Ministério da Saúde. **Resolução nº 466 de 12 de dezembro de 2012**. Diretrizes e normas regulamentadoras de pesquisa envolvendo seres humanos. Brasília, 2012. Publicada no D.O.U nº 12, 13 de junho de 2013, Seção 1, Página 59.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 12** de 28 mar. 2008.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria nº 27, de 13 de janeiro de 1998. **Aprova o regulamento técnico referente à informação nutricional complementar,** 1998.

BRENNAN, A. M.; DERBYSHIRE, E.; TIWARI, B. K.; BRENNAN, C. S. Ready to eat snack products: the role of extrusion technology in developing consumer acceptable and nutritious snacks. **International Journal of Food Science & Technology**, n. 48, v. 1, p. 893–902, 2013.

BRENNAN, M. A.; DERBYSHIRE, E.; TIWARI, B. K.; BRENNAN, C. S. Enrichment of extruded snack products with coproducts from chestnut mushroom (*Agrocybe aegerita)* production: interactions between dietary fiber, physicochemical characteristics, and glycemic load. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, n. 60, v. 1, p. 4396−4401, 2012.

CAPRILES, V. D.; SOARES, R. A. M.; ARÊAS, J. A. G. Development and assessment of acceptability and nutritional properties of a light snack. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 3, p. 562-566, 2007.

CARVALHO, A. F.U.; SOUSA, M. N.; FARIAS, D. F.; ROCHA-BEZERRA, L. C. B.; SILVA, R. M. P.; VIANA, M. P.; GOUVEIA, S. T.; SAMPAIO, S. S.; SOUSA, M. B.; LIMA, G. P. G.; MORAIS, S. M.; BARROS, C. C.; FREIRE FILHO, F. R. Nutritional ranking of 30 Brazilian genotypes of cowpeas including determination of capacity and vitamins. **Journal of Food Composition and Analysis,** v. 26, p. 81-88, 2012.

CARVALHO, R. V.; ASCHERI, J. L. R.; CAL-VIDAL, J. Efeito dos parâmetros de extrusão nas propriedades físicas de pellets (3G) de misturas de farinhas de trigo, arroz e banana. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 26, n. 5, p.1006-1018, 2002.

CARVALHO, C. W. P.; TAKEITI, C. Y.; ONWULATA, C. I.; PORDESIMO, L. O. 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**, n. 98, p. 103-109, 2010.

CAVALCANTE, E. S.; FREIRE FILHO, F. R.; ROCHA, M. M.; GOÉS, A. C. P.; RIBEIRO, V. Q.; SILVA, K. J. D. BRS Tumucumaque: Cultivar de feijão-caupi para o Amapá e Outros Estados do Brasil. Comunicado Técnico. **Embrapa**, 2014.

CAVALCANTE; R. B. M.; MORGANO, M. A.; SILVA, K. J. D. S.; ROCHA, M. M.; ARAÚJO, M. A. M.; MOREIRA-ARAÚJO, R. S. R. Cheese bread enriched with biofortified cowpea flour. **Ciência e agrotecnologia**. v.40, n.1, p. 97-103, 2016.

CEREDA, M. P.; CATÂNEO, A. Avaliação de parâmetros de qualidade da fécula fermentada de mandioca**. Revista Brasileira de Mandioca**, Cruz das Almas, v. 5, n. 2, p. 55-62, 1986.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento**. Acompanhamento da safra brasileira de grãos – monitoramento agrícola – safra 2016/17**. V.4, n.5, p. 1-166, 2017.

DE PILLI, T.; JOUPPILA, K.; IKONEN, J.; KANSIKAS, J.; DEROSSI, A.; SEVERINI, C. Study on formation of starch–lipid complexes during extrusion-cooking of almond flour. **Journal of Food Engineering**, v. 87, p. 495–504, 2008.

EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO. **Dados conjunturais da produção de feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) e feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.) no Brasil (1985-2015): área, produção e rendimento**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão. 2016. Disponível em < http://www.cnpaf.embrapa.br/socioeconomia/index.htm>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2017.

EMBRAPA. Cultivar de feijão-caupi com ampla adaptação e rica em ferro e zinco. **Embrapa Meio Norte**. Folder. Teresina, 2009.

EMBRAPA. Cultivares de feijão-caupi ricas em ferro e zinco. **Embrapa Meio Norte**. Folder. Teresina, 2010.

FELLOWS, P. **Food processing technology: principles and practice**. P. 177–182. Cambridge: Woodhead Publishing Ltd., 2000.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; ROCHA, M. M.; SILVA, K. J. D.; NOGUEIRA, M. S. R.; RODRIGUES, E. V. Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios. **Embrapa Meio Norte**, Teresina. 84 p., 2011.

FROTA, K. G. M.; SOARES, R. A. M. ARÊAS, J. A. G. Composição química do feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.), cultivar BRS-Milênio. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v. 28, n. 2, p. 470-476, 2008.

FROTA, K. M. G.; SANTOS, R. D.; RIBEIRO, V. Q.; ARÊAS, J. A. G. Cowpea protein reduces LDL-cholesterol and apolipoprotein B concentrations, but does not improve biomarkers of inflammation or dysfunction in adults with moderate hypercholesterolemia. **Nutricíon Hospitalaria**, v. 31, n. 4, p. 1611-1619, 2015.

FROTA, K. M. G.; MORGANO, M. A.; SILVA, M. G.; ARAÚJO, M.A.M; MOREIRA-ARAÚJO, R. S. R. Utilização da farinha de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.) na elaboração de produtos de panificação. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.30, suppl. 1, p. 44-50, 2010.

GIUSTI, M. M.; WROLSTAD, R. E. In: R. E. Wrolstad (Ed.), Anthocyanins: Characterization and measurement with UV-visible spectroscopy. **Current Protocols in Food Analytical Chemistry.** New York: J. Wiley, & and Sons, p.1-13, 2001.

GONÇALVES, A. et al. Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.), a renewed multipurpose crop for a more sustainable agri-food system: nutritional advantages and constraints. **Journal of the Science and Food and Agriculture**, v. 96, n. 9, p. 2016 2941-2951, 2016.

GOMES, G. M. S.; REIS, R. C.; SILVA, C. A. D. T. Obtenção de farinha de feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.14, n.1, p.31-36, 2012.

GOMES, J. C.; SILVA, C. O.; COSTA, N. M. B.; PIROZI, M. R. Desenvolvimento e caracterização de farinhas de feijão. **Revista Ceres**. n.53, p. 548-558, 2006.

HASHIMOTO, J. M.; GROSSMANN, M. V. E. Effects of extrusion conditions on quality of cassava bran/cassava starch extrudates. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 38, n. 5, p. 511-517, 2003.

HENDERSON, S. M.; PERRY, R. L**. Agricutural process engineering.** 3 ed. Westport: AVI Publishing, 1976. 442 p. 130-159, 1976.

HERNANDEZ-DIAZ, J. R.; QUINTERO-RAMOS, A.; BARNARD, J.; BALANDRÁN-QUINTANA, R. R. Functional properties of extrudates prepared with blends of wheat flour/pinto bean meal with added wheat bran. **Food Science and Technology International**, n. 13, v. 1, p. 301–308, 2007.

INSTITUTE OF MEDICINE. **Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc**, 2001.

JOYNER, J. J; YADAV, B. K. Microwave assisted dehulling of black gram (*Vigna mungo* L.). **International Journal of Food Science and Technology**, v.52, n.4, p. 2003–2012, 2015.

KAPRAVELOU, G.; MARTINÉZ, R.; ANDRADE, A. M.; LÓPEZ, C. C.; LÓPEZ-JURADO, M.; ARANDA, P.; ARREBOLA, F.; CAÑIZARES, F. J.; GALISTEO, M.; PORRES, J. M. Improvement of the antioxidant and hypolipidaemic effects of cowpea flours (*Vigna unguiculata*) by fermentation: results of *in vitro* and *in vivo* experiments. **Journal of the Science of Food and Agriculture** n. 95, p. 1207-1216, 2015.

KORUS, J.; GUMUL, D.; CZECHOWSKA, K. Effect of Extrusion on the Phenolic Composition and Antioxidant Activity of Dry Beans of *Phaseolus vulgaris* L. **Food Technology and Biotechnology**. N. 45, v. 2, p. 139–146, 2007.

LAZOU, A.; KROKIDA, M. Functional properties of corn and corn–lentil extrudates. **Food Research International,** v. 43, n. 1, p. 609–616, 2010.

LIMA, E. D. P. A.; JERÔNIMO, E. S.; LIMA, C. A. A.; GONDIM, P. J. S.; ALDRIGUE, M. L.; CAVALCANTE, L. F. Características físicas e químicas de grãos verdes de linhagens e cultivares de feijão-caupi para processamento tipo conserva. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 1, p. 129-134, 2003.

LIRA FILHO, J. F. **Efeitos da extrusão termoplástica sobre propriedades tecnológicas e nutritivas das proteínas da farinha integral do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.).** 2002. 165 f. Tese (doutorado). Universidade Estadual de Campinas. Campinas-SP, 2002.

LOPES, L. C. M. **Determinação das melhores condições de extrusão e caracterização de farinha de feijão para utilização como ingrediente de alimentos instantâneos.** 2010. 89 f. Dissertação (mestrado). Universidade federal de Goiás. Goiânia-GO, 2010.

LUSTOSA, B. H. B.; LEONEL, M.; MISCHAN, M. M. Parâmetros de extrusão na produção de snacks de farinha de mandioca enriquecidos com caseína. **Ciências Agrárias**, v. 31, n. 1, p. 109-126, 2010.

MARQUES, E. C.; MARQUES, R. C. 2, COSTA, S. R. R. Aspectos da tecnologia de extrusão termoplástica em alimentos sobre a saúde do consumidor. **Revista Eletrônica Gestão & Saúde**. V. 6, n. 2, p. 1935-1951, 2015.

MESQUITA, F. R.; CORRÊA, A. D.; ABREU, C. M. P.; LIMA, R. A. Z.; ABREU, A. F. B. Linhagens de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.): composição química e digestibilidade proteica. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 4, p. 1114-1121, 2007.

MOREIRA-ARAÚJO, R.S.R.; ARAÚJO, M.A.M.; ARÊAS, J.A.G. Fortified food made by extrusion of a mixture of chickpea, corn and bovine lung controls iron-deficiency anemia in preschool children. **Food Chemistry**. V.107, n.1, p.158-164. 2008.

MOURA, L. S. M. **Caracterização físico-química e reológica de farinhas mistas instantâneas de arroz, milho e feijão por extrusão termoplástica.** 2012. 123 f. Dissertação (Mestrado). Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ. 2012.

NASCIMENTO, K. O.; WANG, S. H.; ASCHERI, J. L. R.; CARVALHO, C. W. P. Propriedades de pasta de farinhas de trigo-soja pré-cozidas por extrusão. **Alimentos e Nutrição**, v.18, n.4, p. 387-395, 2007.

NKUNDABOMBI, M. G.; NAKIMBUGWE, D.; MUYONGA, J. H. Effect of processing methods on nutritional, sensory, and physicochemical characteristics of biofortified bean flour. **Food Science &** Nutrition, n. 4, v.3, p. 384-397, 2016.

NYOMBAIRE, G.; SIDDIQ, A.; DOLAN, K.D. Physico-chemical and sensory quality of extruded light red kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.*)* porridge. **Food Science and Technology**, v. 44, n. 1, p. 1597-1602, 2011.

OLIVEIRA, M. F.; WANG, S. H.; COSTA, P. S.; ASCHERI, J. L. R. Qualidade de cozimento de massas de trigo e soja pré-cozidas por extrusão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 5, p. 501-507, 2004.

OLIVEIRA FILHO, J. H.; MANCIM, A. C. Aditivos e ingredientes e seus reflexos sobre propriedades viscoamilográficas de amido de milho. **Brazilian Journaul of food technology**. VII BMCFB. junho, 2009.

OMOBUWAJO, T. O.; BUSARI, O. T.; OSEMWEGIE, A. A. Thermal agglomeration of chocolate drink. **Journal of Food Engineering**, n. 46, p. 73-81, 2000.

PEREIRA, E. J.*;* CARVALHO, L. M. J.; DELLAMORA-ORTIZ, G. M.; CARDOSO, F. S. N.; CARVALHO, J. L. V.; VIANA, D. S.; FREITAS, S. C*;* ROCHA, M. M. Effects of cooking methods on the iron and zinc in cowpea (*Vigna unguiculata*) to combat nutritional deficiencies in Brazil. **Food & Nutrition Research**, v.58, p. 1-7, 2014.

RE, R.; PELLEGRINI, N.; PROTEGGENTE, A.; PANNALA, A.; YANG, M.; RICEEVANS, C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation descolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 26, p. 1231-1237, 1999.

REIFSTECK, B. M.; JEON, I. J. Retention of volatile flavors in confections by extrusion processing. **Food Reviews International**, v. 16, n. 4, p. 435-452, 2000.

RIOS, M. J. B. L. **Caracterização de farinhas de cultivares comerciais de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.).** 2014. 71 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Alimentos e Nutrição, Universidade Federal do Piauí, Teresina-PI, 2014.

RUFINO, M. do S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. D.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH. **Comunicado Técnico 127**, Fortaleza, p. 1-4, 2007.

RUIZ-RUIZ, J.; MARTÍNEZ-AYALA, A.; DRAGO, S.; GONZÁLEZ, R.; BETANCUR-ANCONA, D.; CHEL-GUERRERO, L. Extrusion of a hard-to-cook bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and quality protein maize (*Zea mays* L.) flour blend. LWT – **Food Science and Technology**, p. 1-9, 2008.

SIDDIQ, M.; KELKAR, S.; HARTE, J. B.; DOLAN, K. D.; NYOMBAIRE, G. Functional properties of flour from low-temperature extruded navy and pinto beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Food Science and Technology**, v. 50, n.1, p. 215-219, 2013.

SINGLETON, V. I.; ROSSI, J. Colorimetry of total phenolic with phosphomolybdicphosphotungstic acid. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 16, n. 3, p. 144-158, 1965.

SILVA, R. F.; ASCHERI, J. L. R.; ASCHERI, D. P. R.; TEBA, C. S. Efeito da extrusão termoplástica nas características de viscosidade de pasta, solubilidade e absorção de água de farinhas pré-gelatinizadas de milho e feijão carioca (BRS Pontal). **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 31, n. 1, p. 99-114, 2013.

SILVA, R. F.; ASCHERI, J. L. R.; PEREIRA, R. G. F. A. Composição química de farinhas pré-cozidas por extrusão elaboradas com arroz e café torrado. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v.67, n. 1, p. 52-58, 2008.

SILVA, E. M. M.; ASCHERI, J. L. R.; ASCHERI, D. P. R. CARVALHO, L. J. Efeitos dos parâmetros de extrusão nas características de viscosidade de pasta e índice de absorção de água de macarrões pré-cozidos elaborados a partir de farinha mista de arroz integral e milho obtidos por extrusão. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 26, n.2, p.239-254, 2008.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análise de alimentos**: métodos químicos e biológicos. 3 ed. Viçosa: UFV, 2002. 235p.

SILVA, E. M. M. **Desenvolvimento e caracterização físico-química de extrusados de milho e feijão.** 2010. 230 f. Tese (doutorado). Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro – RJ, 2010.

SIMPLÍCIO, A. P. M. **Desenvolvimento de pão integral enriquecido com farinha de cultivares de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.).** 2013. 61 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Alimentos e Nutrição, Universidade Federal do Piauí, Teresina-PI, 2013.

SINGH, S.; GAMLATH, S.; WAKELING, L. Nutritional aspects of food extrusion: a review. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 42, n. 1, p. 916–929, 2007.

SUCUPIRA, N. R.; SILVA, A. B.; PEREIRA, G.; COSTA, J. N. Métodos para a determinação da atividade antioxidante de frutos**. Unopar Científica Ciências Biológicas e da Saúde**, v. 14, n.4, p.263-269, 2012.

TEBA, C. S.; ASCHERI, J. L. R.; CARVALHO, C. W. P. Efeitos dos parâmetros de extrusão sobre as propriedades de pasta de massas alimentícias pré-cozidas de arroz e feijão. **Alimentos e Nutrição**, v. 20, n.3, p. 413-428, 2009.

TORRES, L. L. G. et al. Efeito da umidade e da temperatura no processamento de farinha de banana verde (*Musa acuminata*, grupo AAA) por extrusão termoplástica. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 23, n. 2, p. 273-290, 2005.

VASCONCELOS, I. M.; MAIA, F. M. M.; FARIAS, D. F.; CAMPELLO, C. C.; CARVALHO, A. F. U.; MOREIRA, R. A.; OLIVEIRA, J. T. A. Protein fractions, amino acid composition and antinutritional constituents of high-yielding cowpea cultivars. **Journal of Food Composition and Analysis**, n.23, p. 54-60, 2010.

VISSOTTO, F. Z.; MONTENEGRO, F. M.; SANTOS, J. M.; OLIVEIRA, S. J. R. Avaliação da influência dos processos de lecitinação e de aglomeração nas propriedades físicas de achocolatado em pó. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 3, p. 666-671, 2006.

VOLDEN, J.; BORGE, G. I. A; BENGTSSON, G. B.; HANSEN, M.; THYGESEN, I. E.; WICKLUND, T. Effect of thermal treatment on glucosinolates and related parameters in red cabbage (*Brassica oleracea* L. ssp. *Capitata* f. *rubra*). **Food Chemistry**, Oxford, v. 109, p. 595-605, 2008.

WANG, S. H.; FERNANDES, J. L. R.; ASCHERI, S. A.; COSTA, S. A. J.; OLIVEIRA, M. F. Mingau semi-instantâneo de canjiquinha-soja (80:20) obtido pelo processo de extrusão. **Alimentos e Nutrição**, v. 13, n.1, p. 49-67, 2002.

ZABIDI, M. A.; AZIZ, N. A. A. In vitro starch hydrolysis and estimated glycaemic index of bread substituted with percentage of chempedak (*Artocarpus integer*) seed flour. **Food Chemistry**, Londres, v.117, p.64-68, 2009.

ZIA-UL-HAQ, M., AHMAD, S.; AMAROWICZ, R.; DE FEO, V. Antioxidant activity of the extracts of some cowpea (*Vigna unguiculata* (L) Walp.) cultivars commonly consumed in Pakistan. **Molecules**, n.18, p.2005-2017, 2013.

APÊNDICES

APÊNDICE A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Título do Projeto: Desenvolvimento de farinha integral e caldo instantâneo de feijão-caupi (*Vigna Unguiculata* (L.) Walp.)
Pesquisador Responsável: Jéssica Pinheiro Mendes Sampaio
Instituição/ Departamento: Universidade Federal do Piauí – UFPI; Programa de Pós Graduação em Alimentos e Nutrição/Nível Mestrado. Teresina Piauí.
Telefone para contato (inclusive a cobra): (89) 9 9939-8292

Prezado (a) Senhor (a),

Você está sendo convidado (a) para participar, como voluntário (a), em uma pesquisa. Você precisa decidir se quer participar ou não. Por favor, não se apresse em tomar a decisão. Leia cuidadosamente o conteúdo a seguir e pergunte ao responsável pelo estudo qualquer dúvida que você tiver. Após ser **esclarecido (a)** sobre as informações a seguir, no caso de aceitar fazer parte do estudo, assine ao final deste documento, que está em duas vias. Uma delas é sua e a outra é do pesquisador responsável. Em caso de recusa em participar da pesquisa a qualquer momento, você não será penalizado (a) nem perderá benefícios aos quais tenha direito.

Objetivo do estudo: desenvolver uma farinha integral e caldo instantâneo a partir da farinha de feijão-caupi e realizar o teste de aceitabilidade.
Riscos: O presente trabalho apresenta baixo risco à população estudada, uma vez que envolve metodologias acreditadas por organismos de pesquisa internacionais, bem como materiais (alimentos e ou ingredientes) com comprovação de uso tradicional, não causadores de danos à saúde, com evidências abrangentes da literatura científica, organismos internacionais de saúde e legislação internacionalmente reconhecida.

Como medidas de prevenção de riscos previsíveis, são utilizados na pesquisa apenas alimentos e/ou ingredientes produzidos de acordo com o Padrão de Identidade e Qualidade (PIQ) e/ou Regulamento Técnico (RT) específico, aprovados pela autoridade competente, bem como segundo as normas de Boas Práticas de Fabricação de Alimentos, garantindo segurança alimentar no consumo. No que se refere aos riscos de alergias ou intolerâncias a algum dos componentes dos alimentos, por ocasião da coleta de informações, mediante preenchimento da ficha de recrutamento de provadores, são automaticamente excluídos da pesquisa indivíduos que mencionem e/ou comprovem ser portadores de patologias incompatíveis ao consumo e/ou degustação do produto a ser analisado. Além disto, a população envolvida é cientificada sobre os alimentos e/ou ingredientes contidos nas preparações avaliadas, tendo ampla autonomia para recusar a participação por decisão voluntária, não sendo necessária uma justificativa.

É importante salientar que a Análise Sensorial é usada para provocar, medir, analisar e interpretar as reações produzidas pelas características dos alimentos e materiais, como elas são percebidas pelos órgãos da visão, olfato, gosto, tato e audição (Institute of Food Science and Technology, 1981; ABNT, 1993). Portanto, testes sensoriais podem limitar-se a avaliação de um único atributo sensorial ou envolver a verificação de mais de um atributo, que podem ser aparência, aroma, sabor, textura/consistência e ruído dos alimentos. Ratifica-se, no entanto, que, os casos que envolvem avaliações de sabor e/ou textura gustativa não implicam, necessariamente, na ingestão do alimento, sendo disponibilizado meio adequado para desprezo do mesmo.

Os pesquisadores acreditam que os conjuntos dos fatores mencionados contribuirão significativamente para minimização dos riscos à saúde do voluntário, no entanto, somado às tais medidas, comprometem-se à ofertar assistência médica gratuita e imediata para garantir o controle dos riscos imprevisíveis.

Procedimentos: O teste sensorial, em única sessão, estará sendo realizado após aprovação do CEP/UFPI. Você tem o direito de retirar o **consentimento** a qualquer tempo, sem qualquer prejuízo da continuidade do acompanhamento / tratamento usual. Sua participação nesta pesquisa consistirá apenas na análise sensorial das amostras do caldo preparado com farinha integral instantânea de feijão-caupi, quanto ao grau de aceitação das amostras (escala hedônica) e intenção de compra, e junto às amostras haverá um copo com água com o propósito de lavar / limpar o palato entre as degustações de cada amostra analisada.
Benefícios: Esta pesquisa trará maior conhecimento sobre o tema abordado, sem benefício direto para o participante/voluntários, pois tem apenas o caráter descritivo. Além disso, têm o intuito de encontrar um produto aceitável e passível de inserção no mercado fornecedor, ampliando desta forma as opções de consumo do feijão-caupi e agregando valor à matéria-prima.
Sigilo: Se você concordar em participar do estudo, seu nome e identidade serão mantidos em sigilo. A menos que requerido por lei ou por sua solicitação, somente o pesquisador, a equipe do estudo, Comitê de Ética independente e inspetores de agências regulamentadoras do governo (quando necessário) terão acesso às suas informações para verificar as informações do estudo.

A qualquer momento você poderá retirar o consentimento de participação da pesquisa.

Consentimento de Participação da Pessoa como Sujeito

Eu,_____, RG_____, CPF_____ abaixo assinado, concordo em participar do estudo "Desenvolvimento de farinha integral e caldo instantâneo de feijão-caupi (*Vigna Unguiculata* (L.) Walp.)", como sujeito". Fui suficientemente informado a respeito das informações que li ou que foram lidas para mim, descrevendo o estudo. Discuti com os pesquisadores responsáveis sobre a minha decisão em participar deste estudo. Ficaram claros pra mim quais são os propósitos do estudo, os procedimentos a serem realizados, seus desconfortos e riscos, as garantias de confidencialidade e de esclarecimentos permanentes. Concordo voluntariamente em participar deste estudo e poderei retirar o meu consentimento a qualquer momento, antes ou durante o mesmo, sem penalidades ou prejuízo ou perda de qualquer benefício que eu possa ter adquirido.

Teresina, _____ de _____ de 20__.

_____
Nome e Assinatura do sujeito ou responsável

Testemunhas (não ligadas à equipe de pesquisadores):
Nome:_____
RG:_____ Assinatura: _____
Nome:_____
RG:_____ Assinatura: _____

Declaro que obtive de forma apropriada e voluntária o Consentimento Livre e Esclarecido deste sujeito de pesquisa ou representante legal para a participação neste estudo.

Jéssica Pinheiro Mendes Sampaio CPF: 021.889.603-43
Pesquisador Responsável

Observações complementares
Se você tiver alguma consideração ou dúvida sobre a ética da pesquisa, entre em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa – UFPI – Campus Universitário Ministro Petrônio Portela – Bairro Ininga. Teresina – PI. CEP: 64.049-550
Tel.: (86) 3237-2332 – e-mail: cep.ufpi@upi.edu.br, web: www.ufpi.br/cep.

APÊNDICE B – TESTE DE ACEITAÇÃO

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA – MEC
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ – UFPI
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ALIMENTOS E NUTRIÇÃO – PPGAN

TESTE DE ACEITAÇÃO

Faixa etária: ( ) 18-25 ( ) 26-35 ( ) 36-45 ( ) 46-50 ( ) acima de 50

Você está recebendo 04 amostras de caldo de feijão-caupi. Prove a amostra e utilize a escala abaixo para expressar o quanto você gostou ou desgostou das amostras.

9. Gostei muitíssimo
8. Gostei muito
7. Gostei moderadamente
6. Gostei levemente
5. Indiferente
4. Desgostei levemente
3. Desgostei moderadamente
2. Desgostei muito
1. Desgostei muitíssimo

Amostra nº	**Valor**
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____

Comentários

_____
_____
_____
_____
_____

APÊNDICE C – TESTE DE INTENÇÃO DE COMPRA

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA – MEC
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ – UFPI
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ALIMENTOS E NUTRIÇÃO – PPGAN

INTENÇÃO DE COMPRA

Faixa etária: ( ) 18-25 ( ) 26-35 ( ) 36-45 ( ) 46-50 ( ) acima de 50

Você está recebendo 04 amostras de caldo de feijão-caupi. Prove a amostra e utilize a escala abaixo para descrever sua intenção de compra.

5. Certamente compraria
4. Provavelmente compraria
3. Talvez comprasse / talvez não comprasse
2. Provavelmente não compraria
1. Certamente não compraria

Amostra nº	**Valor**
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____

Comentários

_____
_____
_____
_____
_____