

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

DISSERTAÇÃO

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E REOLÓGICA DE FARINHAS MISTAS
PRÉ-GELATINIZADAS DE ARROZ, MILHO E FEIJÃO POR EXTRUSÃO
TERMOPLÁSTICA

Luciana Silva de Mattos Moura

2012



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

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E REOLÓGICA DE FARINHAS MISTAS
INSTANTÂNEAS DE ARROZ, MILHO E FEIJÃO POR EXTRUSÃO
TERMOPLÁSTICA**

LUCIANA SILVA DE MATTOS MOURA

Sob a Orientação do Professor Doutor
José Luis Ramirez Ascheri

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

Seropédica, RJ
Março de 2012

664.72

Moura, Luciana Silva de Mattos, 1985-

M929c

T

Caracterização físico-química e reológica de farinhas mistas instantâneas de arroz, milho e feijão por extrusão termoplástica / Luciana Silva de Mattos Moura - 2012.

123 f.: il.

Orientador: José Luis Ramirez Ascheri.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Bibliografia: f. 87-96.

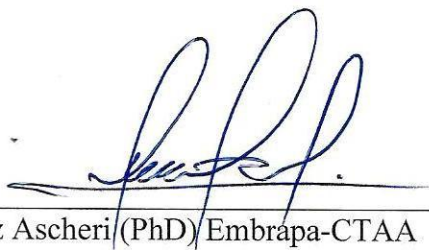
1. Farinhas - Teses. 2. Arroz - Processamento - Teses. 3. Milho - Processamento - Teses. 4. Feijão - Processamento - Teses 5. Tecnologia de alimentos - Teses. 6. Processo de extrusão - Teses. I. Ascheri, José Luis Ramirez, 1955-. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. III. Título.

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

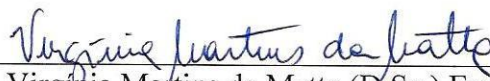
LUCIANA SILVA DE MATTOS MOURA

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

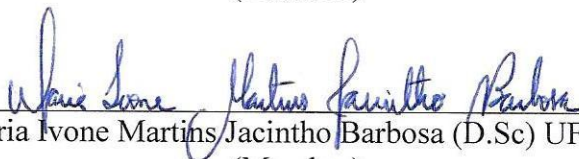
DISSERTAÇÃO APROVADA EM 21/03/2012



José Luis Ramirez Ascheri (PhD) Embrapa-CTAA
(Orientador)



Virginia Martins da Matta (D.Sc.) Embrapa-CTAA
(Membro)



Maria Ivone Martins Jacintho Barbosa (D.Sc) UFRRJ
(Membro)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, que foi minha fortaleza durante estes dois anos de curso, e à Ele toda a minha gratidão e o meu amor!

À minha mãe/tia Zena que viveu todo esse período junto comigo, me auxiliando, me cobrando e dando muito amor e palavras de carinho. Minha grande amiga.

À minha mãe Léa por ser meu grande exemplo de fé e perseverança e de me fazer acreditar que somos capazes de tudo, é só querermos.

Aos meus amigos queridos, os antigos e os novos, por estarem comigo, me fazendo rir, chorar, orar... em fim, por serem meus amigos de fé e meus irmãos camaradas.

AMO VOCÊS!

AGRADECIMENTOS

A DEUS, quem mais recorri nos momentos de desespero, muito obrigado por sempre ter me atendido com a PAZ!

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela oportunidade de realizar o curso. E à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo durante a realização do mestrado.

À Embrapa Agroindústria de Alimentos, nas figuras da M.Sc. Marília Regini Nutti e do M.Sc. José Luiz Viana de Carvalho, coordenadores dos programas HarvestPlus e AgroSalud por toda infra-estrutura oferecida para desenvolvimento das atividades laboratoriais, pelo fornecimento de todos os materiais necessários para a realização desse estudo, além da paciência, conhecimento fornecido, dedicação e oportunidades oferecidas.

Ao meu orientador D.Sc. José Luis Ramirez Ascheri, por ter me permitido tê-lo como orientador, por toda a paciência e atenção dedicados a mim para a confecção deste trabalho.

Ao Ph.D. Carlos Wanderlei Piler de Carvalho, como co-orientador, pelo estímulo e atenção oferecidos. Aos técnicos, analistas e pesquisadores da Embrapa, principalmente Adriana, Vanessa, Sr. Francisco, Davi, Mariana, Simão, Juliana, Tânia, PS, Marreta, por terem me permitido utilizar suas instalações como laboratórios e plantas experimentais, por terem me ajudado tanto, por me fazerem rir e por toda solicitude, amizade e carinho dedicados durante os anos de mestrado e de estágio.

A minha mãe Léa e ao meu padrasto Waldo pelo carinho, amor e confiança dedicados a mim.

A minha querida tia Zena pelo imenso carinho, amor, amizade, dedicação, pelas sugestões e conselhos e pelas cobranças, que se fizeram necessárias, por toda a minha vida e que me fizeram chegar até onde eu cheguei. Muito Obrigada!

A todos os estagiários da planta e dos laboratórios da Embrapa, por terem me ajudado a realizar minhas análises e extrusões. Especialmente o Emerson, Jefinho e Ronaldo. E a minha querida amiga Carolina Claudio, por ter me ajudado muito nas minhas análises, como companhia nos dias de Embrapa e nas difíceis tarefas que cumpríamos.

À Dra. Érika Madeira Moreira da Silva que me acompanha desde o estágio de graduação e que me ajudou e me incentivou muito na escolha do curso de mestrado e qual área seguir. Obrigada pelo carinho, amizade e apoio de sempre.

Aos meus grandes amigos que ganhei durante o mestrado Carla da Silva Teba e Juan Antonio Ruano Ortiz que me ajudaram muito na realização das análises e na discussão dos resultados, e nas nossas conversas longas sobre a vida. O carinho de vocês foi indispensável.

Aos meus amigos de turma, em especial Gabi, Kelita, Felipe, Rodrigo e Mariana. Vocês literalmente fizeram os meus dias na UFRRJ muito mais agradáveis e as minhas idas e voltas de Seropédica muito mais divertidas. Amo vocês!

Aos grandes amigos da vida que dividiram os bons e os difíceis momentos comigo e me fizeram acreditar em amizades verdadeiras e para sempre: Elaine, Juliana Rocha, Aline, Tati, Cissa, Márcia (minha eterna orientadora), aos meus amigos queridos da Igreja, (que graças a Deus são tantos que não citarei para não esquecer ninguém) e a todos familiares que contribuíram direta e indiretamente para a conclusão de mais esta jornada da minha vida.

MUITO OBRIGADA!

RESUMO

MOURA, Luciana Silva de Mattos. **Caracterização físico-química e reológica de farinhas mistas pré-gelatinizadas de arroz, milho e feijão por extrusão**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Instituto de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2012.

Arroz, milho e feijão, biofortificados ou não constituem uma importante fonte calórica-proteica. O uso destas matérias primas no desenvolvimento de produtos é uma alternativa na contribuição da qualidade e segurança alimentar. Em consequência, o objetivo desse trabalho foi caracterizar físico-química e reologicamente as farinhas mistas pré-gelatinizadas por extrusão de arroz, feijão e milho visando a sua utilização na elaboração de outros produtos como massas para pães, bolos, biscoitos e macarrão pré-cozido. A concentração da mistura foi de 30% de milho, 35% de feijão e 35% de arroz. Para análise dos resultados foi desenvolvido um delineamento composto central rotacional (DCCR), sendo os dados analisados por superfície de resposta, com 17 tratamentos e 3 variáveis independentes, sendo elas a umidade da massa antes da extrusão (16; 18; 21; 24; 26%), a temperatura da 3ª zona de extrusão (126; 140; 160; 180; 193 °C) e a rotação do parafuso da extrusora (106; 120; 140; 160; 173 rpm). Foram realizadas análises de índice de expansão e densidade aparente, índices de solubilidade e absorção em água, propriedades viscoamilográficas. Além da composição centesimal, perfil de minerais e análise de cor (luminosidade, cromaticidade a* e b*) dos melhores tratamentos. Os valores de Índice de Expansão variaram de 1,34 a 6,87, sendo o maior valor encontrado no tratamento T3 elaborado com 140°C, 160rpm e 18% de umidade. A umidade e a temperatura tiveram um efeito negativo sobre a expansão, um incremento nessas duas variáveis leva a uma diminuição na expansão do produto. Esse parâmetro é um dos mais importantes para caracterização de um produto expandido de alta qualidade. Baixos conteúdos de umidade podem levar a uma maior dextrinização do amido e aumentar a solubilidade da mistura, então, tratamentos como o T3, apresentaram solubilidade elevada. Um aumento da umidade levou a um aumento da absorção em água, alcançando aos maiores resultados com as condições de 180°C de temperatura, 160 rpm de rotação e 24% de umidade. Essas condições também foram ideais para obtenção de soluções de viscosidade elevada e baixa tendência a retrogradação. Os tratamentos T3: 140°C, 160 rpm e 18%; T4: 180°C, 160 rpm e 18%; T5: 140°C, 120 rpm e 24%; T8: 180°C, 160 rpm e 24%; T10: 193°C, 140 rpm e 21% de umidade, foram considerados as melhores formulações e a eles foram realizadas análises de cor, composição centesimal e perfil de minerais. A coloração das farinhas foi afetada com a extrusão devido a reações de escurecimento não enzimático que acontecem com as amostras. O feijão BRS Pontal se destacou por fornecer maiores teores de proteínas (21,34g/100g) e elevado teor de minerais, inclusive ferro na amostra (7,0 mg/100g) quando comparado com as outras matérias-primas enquanto que o tratamento 8 se destacou pelo seu alto conteúdo de minerais e por bom aporte de fibra (acima de 8,5g/100g). Conclui-se que a farinha T3, por apresentar melhor qualidade de expansão e solubilidade pode ser utilizada na elaboração de snacks e farinhas solúveis, enquanto o tratamento T8 tem a viabilidade para incrementar sopas cremosas, molhos, por sua alta viscosidade e baixa tendência a endurecer pela retrogradação.

Palavras-chave: Expansão. Praticidade. Solubilidade

ABSTRACT

MOURA, Luciana Silva de Mattos. **Physico-chemical and rheological characterization of pre-gelatinized flour mixed with corn, rice and common beans by extrusion.** Dissertation (MSc in Food Science and Technology). Institute of Food Technology. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2012.

Rice, corn and beans, biofortified or not constitute an important source of protein-calorie. The use of these raw materials in product development is an alternative to the contribution of food quality and safety. In consequence, the objective of this study was to characterize the physicochemical and rheological flour mixed pre-gelatinized by extrusion of rice, beans and corn for their application in developing other products like pasta for breads, cakes, biscuits and pasta pre-cooked. The concentration of the mixture prepared in this study was 30% corn, 35% bean and 35% rice. To analyze the results was developed a central composite rotational design (CCRD), and the data analyzed by response surface, with 17 treatments and three independent variables, which were the moisture of the dough prior to extrusion (16, 18, 21, 24; 26%), the temperature of the extrusion zone 3 (126, 140, 160, 180, 193 ° C) and rotation of the extruder screw (106, 120, 140, 160, 173 rpm). Analyses of expansion ratio and bulk density, water solubility index (WSI) and water absorption index (WAI), viscoamylographic properties. Besides the chemical composition, mineral profile and analysis of color (brightness, chromaticity a * and b *) of the best treatments. The values of radial expansion index ranged from 1.34 to 6.87, being the highest value found in T3 prepared with 140 ° C, 160rpm and 18% moisture. The moisture and temperature had a negative effect on the expansion, an increase in these two variables leads to a decrease in the expansion of the product. This parameter is one of the most important for the characterization of an expanded product of high quality. Lower moisture contents can lead to greater dextrinization of starch and increase the solubility of the mixture, then, treatments such as T3, showed high solubility. An increase in moisture lead to an increased water absorption, achieving the highest values in the conditions of temperature 180 ° C, 160 rpm rotation and 24% moisture (U). These conditions were also suitable for obtaining solutions of high viscosity and low tendency to retrogradation. The T3: 140 ° C, 160 rpm and 18%, T4: 180 ° C, 160 rpm and 18%, T5: 140 ° C, 120 rpm and 24%, T8, 180 ° C, 160 rpm and 24%; T10: 193 ° C, 140 rpm and 21% of moisture, were considered the best formulations and they were analyzed in terms of color, composition and mineral profile. The thermoplastic extrusion process affected the color of the flour due to non-enzymatic browning reactions that occur with the samples. Moreover, the beans BRS Pontal stood out to provide higher levels of proteins (21.34 g/100 g) and high levels of minerals, including iron in the sample (7.0 mg/100 g) when compared with the other raw materials while that treatment 8 also stood out for its high mineral content and good fiber intake (greater than 8.5 g/100g). It was concluded that flour T3, due to its expansion and better solubility in water, can be used for preparing snacks, and soluble flour, while the treatment 8 is to increase the viability soups, sauces, because of its high viscosity and low tendency to solidify, due to the retrogradation.

Key words: Expansion. Convenience. Solubility.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Níveis das variáveis independentes a serem estudadas no processo de extrusão.	18
Tabela 2.	Delineamento completo do desenho experimental.	19
Tabela 3	Índice de Expansão e Densidade Aparente dos extrudados expandidos contendo milho, arroz e feijão BRS Pontal, com os valores codificados e os valores reais do desenho experimental.	31
Tabela 4	Coeficiente de regressão e desvio padrão da variável resposta Índice de Expansão Radial (IER) em função da variação de temperatura da 3ª zona do extrusor (°C), da umidade inicial (%) e da rotação do parafuso (rpm).	32
Tabela 5	Análise de variância simplificada da variável resposta Índice de Expansão Radial (IER).	33
Tabela 6	Coeficiente de regressão e desvio padrão da variável resposta Densidade Aparente (DA) em função da variação de temperatura da 3ª zona do extrusor (°C), da umidade inicial (%) e da rotação do parafuso (rpm).	37
Tabela 7	Análise de variância simplificada da variável resposta Densidade Aparente (DA)	38
Tabela 8	Índice de solubilidade em água (ISA) das farinhas cruas de milho, arroz e feijão.	42
Tabela 9	Resultados de Índice de Solubilidade e Índice de Absorção das farinhas pré-cozidas de milho, arroz e feijão.	44
Tabela 10	Coeficiente de regressão e desvio padrão da variável resposta Índice de Solubilidade em função da variação de temperatura da 3ª zona do extrusor (°C) da umidade inicial (%) e da rotação do parafuso (rpm).	45
Tabela 11	Análise de variância simplificada da variável resposta Índice de Solubilidade (ISA).	45
Tabela 12	Índice de solubilidade em água (ISA), índice de absorção de água (IAA) das farinhas cruas de arroz branco polido, feijão Carioca e milho	47
Tabela 13	Coeficiente de regressão e desvio padrão da variável resposta Índice de Absorção de água (IAA) em função da variação de temperatura da 3ª zona do extrusor (°C), da umidade inicial (%) e da rotação do parafuso (rpm)	48
Tabela 14	Teste de Tukey para o Índice de absorção em água (IAA) das farinhas extrudadas a base de milho, arroz e feijão.	49

Tabela 15	Resultados da caracterização de viscosidade de pasta das farinhas mistas extrudadas de milho, arroz e feijão.	51
Tabela 16	Coeficiente de regressão e desvio padrão da variável resposta Viscosidade Inicial a 25°C em função da variação de temperatura da 3ª zona do extrusor (°C), da umidade inicial (%) e da rotação do parafuso (rpm).	52
Tabela 17	Análise de variância simplificada da variável resposta Viscosidade Inicial a 25°C (VI).	53
Tabela 18	Coeficiente de regressão e desvio padrão da variável resposta Viscosidade Máxima a 95°C em função da variação de temperatura da 3ª zona do Extrusor (°C), da umidade inicial (%) e da rotação do parafuso (rpm).	56
Tabela 19	Teste de Tukey para a Viscosidade Máxima a 95°C das farinhas extrudadas a base de milho, arroz e feijão..	57
Tabela 20	Coeficiente de regressão e desvio padrão da variável resposta Viscosidade Mínima em função da variação de temperatura da 3ª zona do extrusor (°C), da umidade inicial (%) e da rotação do parafuso (rpm).	58
Tabela 21	Teste de Tukey para a Viscosidade Máxima a 95°C das farinhas extrudadas a base de milho, arroz e feijão..	59
Tabela 22	Coeficiente de regressão e desvio padrão da variável resposta Breakdown em função da variação de temperatura da 3ª zona do extrusor (°C), da umidade inicial (%) e da rotação do parafuso (rpm).	60
Tabela 23	Análise de variância simplificada da variável resposta <i>Breakdown</i> (cP).	60
Tabela 24	Coeficiente de regressão e desvio padrão da variável resposta Viscosidade Final (cP) em função da variação de temperatura da 3ª zona do extrusor (°C), da umidade do processo e da rotação do parafuso (RPM).	64
Tabela 25	Teste de Tukey para a Viscosidade Final (cP) das farinhas extrudadas a base de milho, arroz e feijão.	65
Tabela 26	Coeficiente de regressão e desvio padrão da variável resposta Setback (cP) em função da variação de temperatura da 3ª zona do extrusor (°C), da umidade inicial (%) e da rotação do parafuso (rpm).	66
Tabela 27	Teste de reconstituição de farinhas mistas extrudadas de milho, arroz e feijão, para o 1º grupo: tratamentos T1 ao T9.	69

Tabela 28	Teste de reconstituição de farinhas mistas extrudadas de milho, arroz e feijão, para o 2º grupo: tratamentos de T10 ao T17.	70
Tabela 29	Análise de cor dos melhores tratamentos das farinhas extrudadas de milho, arroz e feijão.	71
Tabela 30	Composição centesimal (%) do milho (grits), feijão Carioca BRS Pontal com casca e sem casca, arroz branco polido variedade Chorinho e amostras extrudadas.	75
Tabela 31	Perfil de Minerais para a farinha mista crua e para os melhores tratamentos das farinhas extrudadas	78
Tabela 32	Composição em aminoácidos essenciais (mg aminoácido/g de proteína), em base seca, do grits de milho, feijão BRS Pontal com casca, e sem casca e recomendações da FAO/WHO, para crianças de 2 a 5 anos e adultos.	81
Tabela 33	Escore de aminoácidos do grits de milho e feijão BRS Pontal, segundo as recomendações da FAO/WHO (1998) para crianças de 2 a 5 anos de idade.	82
Tabela 34	Escore de aminoácidos do grits de milho e feijão BRS Pontal, segundo as recomendações da FAO/WHO (1998) para adultos.	83

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Consumo Per Capita de Arroz e Feijão no Brasil - (1981-2009)	8
Figura 2	Segmentação da máquina extrusora em função da interação com a massa.	12
Figura 3	Extrusor monorosca, marca Brabender, modelo DSE 20 DN (Duisburg, Alemanha).	20
Figura 4	Fluxograma de obtenção das farinhas pré-gelatinizadas à base de milho, arroz e feijão.	22
Figura 5	Amilograma obtido com amido de arroz a 12% (p/v) no RVA (CARVALHO, ASCHERI e TAKEITI, 2011).	25
Figura 6	Diagrama de representação do espaço de cores CIELCH: disposição tridimensional,, mostrando as coordenadas L*, C* e H° (A) e disposição bidimensional, mostrando as coordenadas C* e h° (B).	26
Figura 7	Classificação granulométrica do feijão tipo Carioca variedade BRS Pontal, grits de milho, arroz branco polido variedade Chorinho e farinha mista.	30
Figura 8	Efeito das variáveis quantitativas temperatura (°C) e rotação (rpm) sobre o Índice de Expansão dos extrudados expandidos de milho, arroz e feijão.	34
Figura 9	Efeito das variáveis quantitativas rotação do parafuso (rpm) e umidade (%) sobre o índice de expansão dos extrudados expandidos de milho, arroz e feijão.	35
Figura 10	Efeito das variáveis quantitativas: rotação do parafuso (rpm) e umidade (%) sobre a densidade aparente dos extrudados expandidos de milho, arroz e feijão.	38
Figura 11	Efeito das variáveis quantitativas: temperatura (°C) e umidade (%) sobre a densidade aparente dos extrudados expandidos de milho, arroz e feijão.	39
Figura 12	Efeito das variáveis quantitativas temperatura (°C) e umidade (%) sobre o Índice de solubilidade em água das farinhas extrudadas de milho, arroz e feijão.	46
Figura 13	Efeito das variáveis quantitativas umidade (%) e rotação do parafuso (rpm) no índice de solubilidade em água das farinhas extrudadas de milho, arroz e feijão.	47

Figura 14	Efeito das variáveis quantitativas temperatura (°C) e umidade (%) na Viscosidade inicial a 25°C das farinhas extrudadas de milho, arroz e feijão.	53
Figura 15	Efeito das variáveis quantitativas rotação (RPM) e umidade (%) na Viscosidade inicial a 25°C das farinhas extrudadas de milho, arroz e feijão.	54
Figura 16	Efeito das variáveis quantitativas temperatura (°C) e umidade (%) no valor do Breakdown das farinhas extrudadas de milho, arroz e feijão.	61
Figura 17	Efeito das variáveis quantitativas rotação (rpm) e umidade (%) no valor do Breakdown das farinhas extrudadas de milho, arroz e feijão.	62
Figura 18	Perfis das curvas de viscosidade de pasta dos tratamentos 3 (160°C, 140rpm, 18% de umidade); 4: 180°C, 160 rpm e 18% de umidade; 5: 140°C, 120 rpm e 24%; 8 (180°C, 160 rpm, 24% de umidade). 10: 193°C, 140 rpm e 21% de umidade	67
Figura 19	Composição centesimal das matérias-primas: arroz, feijão e milho.	74
Figura 20	Resultados de fibra alimentar para os melhores tratamentos das farinhas extrudadas de milho, arroz e feijão..	77
Figura 21	Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 1 (140°C, 120 rpm e 18% de umidade)	97
Figura 22	Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 2 (180°C, 120 rpm e 18% de umidade)	97
Figura 23	Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 3 (140°C, 160 rpm e 18% de umidade)	98
Figura 24	Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 4 (180°C, 160 rpm e 18% de umidade)	98
Figura 25	Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 5 (140°C, 120 rpm e 24% de umidade)	99

Figura 26	Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 6 (180°C, 120 rpm e 24% de umidade)	99
Figura 27	Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 7 (140°C, 160 rpm e 24% de umidade)	100
Figura 28	Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 8 (180°C, 160 rpm e 24% de umidade)	100
Figura 29	Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 9 (126°C, 140 rpm e 21% de umidade)	101
Figura 30	Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 10 (193°C, 140 rpm e 21% de umidade)	101
Figura 31	Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 11 (160°C, 106 rpm e 21% de umidade)	102
Figura 32	Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 12 (160°C, 173 rpm e 21% de umidade)	102
Figura 33	Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 13 (160°C, 140 rpm e 16% de umidade)	103
Figura 34	Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 14 (160°C, 140 rpm e 26% de umidade)	103
Figura 35	Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 15 (160°C, 140 rpm e 21% de umidade)	104
Figura 36	Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 16 (160°C, 140 rpm e 21% de umidade)	104
Figura 37	Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 17 (160°C, 140 rpm e 21% de umidade)	105

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Extrudados expandidos de arroz, feijão e milho em função das variáveis independentes estudadas: temperatura da 3ª zona do extrusor (°C), umidade inicial (%) e rotação do parafuso (rpm)	41
-----------------	--	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivo Geral	2
1.2. Objetivo Específico	2
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 Situação Nutricional no Brasil	3
2.2 Arroz (<i>Oryza sativae</i> , L.)	4
2.3 Milho (<i>Zea mays</i> L.)	5
2.4 Feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	7
2.5 Biofortificação de Alimentos	9
2.5 Extrusão	10
2.6 Propriedades funcionais dos extrudados	12
2.6.1 Índice de absorção de água (IAA)	13
2.6.2 Índice de solubilidade em água (ISA)	13
2.7 Propriedades viscoamilográficas	14
2.8 Utilização de amidos modificados e farinhas pré-gelatinizadas	15
3 METODOLOGIA	
3.1 Matéria-prima	16
3.2 Equipamentos	16
3.3 Métodos	16
3.3.1 Produção da farinha de arroz branco	16
3.3.2 Produção da farinha de feijão comum BRS Pontal sem casca	17
3.3.3 Produção da farinha mista de milho, arroz e feijão para extrusão	17
3.3.4 Classificação Granulométrica das matérias-primas	17
3.3.5 Delineamento Experimental	17
3.3.6 Condicionamento da Matéria-Prima	19
3.4 Processo de Extrusão	20

3.4.1	Condições de processo	20
3.4.2	Extrusão	21
3.5	Propriedades físicas dos extrudados de milho, arroz e feijão.	23
3.5.1	Índice de expansão radial (IER)	23
3.5.2	Densidade Aparente (ρ_e) dos extrudados expandidos	23
3.6	Propriedades funcionais dos extrudados de milho, arroz e feijão.	23
3.6.1	Índice de solubilidade em água (ISA) e índice de absorção de água (IAA)	23
3.6.2	Propriedades viscoamilográficas	24
3.6.1	Reconstituição e comportamento das farinhas	26
3.7	Análise de Cor	26
3.8	Caracterização química das matérias-primas e das farinhas mistas extrudadas de milho, arroz e feijão.	27
3.8.1	Composição centesimal	27
3.8.2	Análise do perfil de minerais	27
3.8.3	Composição de aminoácidos	27
3.9	Análise Estatística	28
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1	Classificação granulométrica das matérias-primas	29
4.2	Propriedades físicas dos extrudados de milho, arroz e feijão.	30
4.2.1	Índice de expansão (IE)	30
4.2.2	Densidade aparente (DA)	36
4.3	Caracterização visual dos extrudados	40
4.4	Propriedades funcionais dos extrudados de milho, arroz e feijão.	42
4.4.2	Índice de solubilidade em água (ISA)	43
4.4.3	Índice de absorção em água (IAA)	47
4.5	Propriedades Viscoamilográficas	50

4.5.1	Viscosidade de pasta inicial a 25°C (VI)	51
4.5.2	Viscosidade máxima a 95°C (VMáx)	54
4.5.3	Viscosidade de pasta mínima (VMin)	57
4.5.4	<i>Breakdow</i>	59
4.5.5	Viscosidade Final (VF)	63
4.5.6	<i>Setback</i>	65
4.5.7	Perfil de Viscosidade de pasta	66
4.6	Teste de reconstituição de sopas	68
4.7	Análise da cor	70
4.8	Otimização das condições de processo das condições físicas e reológicas das farinhas extrudadas de milho, arroz e feijão.	72
4.9	Caracterização química das matérias-primas e das farinhas mistas extrudadas de milho, arroz e feijão.	73
4.5.7	Composição centesimal	73
4.8.2	Perfil de minerais	77
4.8.3	Perfil de aminoácidos	81
5	CONCLUSÃO	84
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86
	ANEXOS	95

1 INTRODUÇÃO

Um dos grandes objetivos para as indústrias alimentícias, atualmente, tem sido a busca por melhores condições tecnológicas e melhor controle das condições de processamento a fim de conseguir produtos de melhor qualidade, visando principalmente a praticidade do mundo atual e a preservação das qualidades sensoriais do produto a ser consumido.

As mudanças na vida cotidiana dos consumidores, em geral, contribuíram para a popularização da alimentação rápida, sendo que as donas de casa, cada vez mais, sendo introduzidas no mercado de trabalho, buscam alternativas que facilitam a vida das famílias, mas têm a peculiaridade de tornar menos atrativa a comida trivial, no caso o arroz e o feijão, levando à sua substituição por alimentos mais elaborados e menos nutritivos.

O arroz é rico em amido, oferecendo assim uma boa fonte de energia para o organismo. Além disso, é rico em proteínas, minerais e vitaminas do complexo B. Já o feijão, uma fonte considerável de fibras e ferro, é um dos vegetais mais ricos em proteínas, sendo o mesmo é rico em lisina, pouco presente no arroz, e deficiente em aminoácidos sulfurados, como a metionina e a cistina, os quais têm excelente fonte no arroz. Assim, a combinação de feijão com arroz fornece uma proteína de alta qualidade, com valores protéicos acima de 80%, além de ser baixo conteúdo de lipídeos e não conter de colesterol. É considerada como benéfica à saúde, prevenindo as doenças da vida moderna, como diabetes tipo 2, dislipidemia e pressão alta.

O milho (*Zea mays* L.) é um alimento de baixo custo e esta presente na mesa de muitos brasileiros constituindo a matéria-prima base para os produtos extrudados, pelo seu alto percentual de amido. Em função de seu potencial produtivo, composição química e valor nutritivo, torna-se um dos mais importantes cereais cultivados e consumidos no mundo.

A extrusão termoplástica tem sido explorada como processo alternativo às modificações químicas tradicionais; é uma tecnologia vantajosa de alta versatilidade e eficiência, baixo custo, alta produtividade, curto tempo de reação e ausência de geração de resíduos. Há uma importância tecnológica que o processo de extrusão termoplástica representa frente aos alimentos de preparo rápido ditos de conveniência, como, as farinhas pré-cozidas, instantâneas, pré-gelatinizadas e gelatinizadas, entre outras.

Utiliza-se de matérias-primas de alto teor e boa qualidade de amido, como milho e o arroz, e pode vir associado a outros nutrientes como fibras, proteínas, que podem interferir no processo, mas com adequação dos parâmetros, consegue-se desenvolver produtos de alta qualidade e de agradável sabor e textura.

As principais propriedades funcionais do amido extrudado quando disperso em água, são o índice de absorção de água (IAA) e o índice de solubilidade em água (ISA). O aumento de solubilidade do material é a base para a elaboração de alimentos instantâneos, como é o caso das sopas, por exemplo. Sendo assim, após a cocção por extrusão, as farinhas de alguns cereais são comercializadas como farinhas pré-gelatinizadas. As propriedades de pasta representam o seu comportamento durante o aquecimento e permite avaliar as características da pasta formada, pelas modificações estruturais das moléculas de amido e também pela tendência a retrogradação durante o resfriamento. Isso é importante no desenvolvimento de farinhas pré-gelatinizadas e definem a utilização desses produtos para fins industriais.

Desta forma, esta tecnologia é de grande interesse em programas de alimentação suplementar em países em desenvolvimento que buscam tecnologia para produção de alimentos

nutritivos de baixo custo, destinado às populações mal-nutridas, pessoas em dietas especiais e com patologias que exigem uma alimentação diferenciada.

Diversos setores da indústria de alimentos dependem do domínio deste processo, como para fabricação das farinhas pré-gelatinizadas, mistura de matérias-primas como arroz, milho e feijão, amidos de diferentes fontes, que fornecem além de um maior aporte de proteínas (provenientes do feijão) um aporte maior de micronutrientes (minerais e aminoácidos) e fibras dietéticas; essas farinhas podem ser utilizadas para usos em mingaus, sopas instantâneas, e bebidas de rápido preparo.

Os aspectos apresentados são indicativos da necessidade de uma estratégia para ampliar o mercado a partir de matérias-primas de uso tradicional, como o arroz, milho e feijão por meio do desenvolvimento de farinhas que tenham melhores propriedades funcionais para serem aplicadas em produtos e formulações, ou que possam ser moldadas para alimentos de conveniência, ou para fins especiais.

1.1 Objetivo Geral

Desenvolver e caracterizar físico-química e reologicamente farinhas pré-gelatinizadas, elaboradas através do processo de extrusão, contendo milho, feijão e arroz como matérias-primas.

1.2 Objetivo Específico

- Avaliar os parâmetros de extrusão na elaboração de extrudados expandidos utilizando grits de milho acrescidos de farinha de feijão e farinha de arroz;
- Realizar a caracterização físico-química das matérias-primas cruas e extrudadas quanto à composição centesimal, perfil de minerais e aminoácidos;
- Analisar os efeitos dos parâmetros de extrusão nas propriedades funcionais e viscoamilográficas das farinhas mistas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Situação Nutricional no Brasil

A boa nutrição envolve diferentes aspectos biológicos e sociais, e para que ela seja adequada é necessário que a agricultura, a economia, os hábitos, as tradições, a educação, o abastecimento e a mídia colaborem com os seus objetivos. A alimentação ideal deveria conter todos os nutrientes de que o ser humano necessita e todas as pessoas deveriam ter acesso a uma alimentação equilibrada. Mas certos nutrientes nem sempre estão disponíveis para a população, ou nem todos podem ter acesso a eles (ZANCUL, 2004).

É nesse contexto que também emerge a concepção da promoção das práticas alimentares saudáveis, na qual a alimentação tem sido colocada como uma das estratégias para a promoção da saúde.

Por outro lado, o processo de urbanização do país trás consigo distúrbios alimentares importantes como o excesso de peso e a obesidade, que tem crescido muito não só no Brasil como em diversos países do mundo, as doenças crônicas não transmissíveis e outras associadas à alimentação que estão também fortemente ligadas às mudanças ocorridas nas formas de se produzir, comercializar, transformar, industrializar e preparar os alimentos. Se antes a população que vivia no meio rural produzia praticamente todos os alimentos que consumia, atualmente os alimentos são produzidos em larga escala em lavouras mecanizadas e vendidos numa ampla rede varejista. Uma crescente quantidade de produtos chega aos consumidores após serem processados ou industrializados, contendo altos teores de açúcares, gorduras, sal e aditivos químicos. Isso, somado a outros aspectos da vida moderna, como a baixa atividade física, tem gerado aumento nas taxas de sobrepeso e obesidade e outras doenças crônicas (BRASIL, 2010).

Embora o Brasil seja um dos maiores produtores de alimento do mundo, uma parcela significativa da população não tem acesso aos alimentos básicos necessários para a vida cotidiana. Situações de insegurança alimentar e nutricional podem ser detectadas a partir de diferentes tipos de problemas, tais como fome, obesidade, doenças associadas à má alimentação, o consumo de alimentos de qualidade duvidosa ou prejudicial à saúde, estrutura de produção de alimentos predatória em relação ao ambiente natural ou às relações econômicas e sociais; alimentos e bens essenciais com preços abusivos e a imposição de padrões alimentares que não respeitam a diversidade cultural.

Segurança Alimentar e Nutricional é a realização do direito de todos ao acesso regular e permanente a alimentos de qualidade, em quantidade suficiente, sem comprometer o acesso a outras necessidades essenciais, tendo como base práticas alimentares promotoras de saúde, que respeitem a diversidade cultural e que sejam social, econômica e ambientalmente sustentáveis (Projeto de Lei Orgânica de Segurança Alimentar e Nutricional - PL 6047/2005 - em tramitação no Congresso Nacional).

De acordo com a Pesquisa Nacional por amostra de domicílios – Segurança Alimentar, realizada em 2004 pelo IBGE em parceria com o Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome, em 65,2 % dos cerca de 52 milhões de domicílios particulares onde havia situação de segurança alimentar residiam 109 milhões de pessoas, enquanto nos restantes 34,8% (nos quais viviam 72 milhões de pessoas) foi detectada situação de insegurança alimentar (leve, moderada ou grave). A insegurança alimentar moderada ou grave, que significa limitação de

acesso quantitativo aos alimentos, com ou sem o convívio com a situação de fome, ocorreu em 18,8 % dos domicílios, nos quais viviam 39,5 milhões de pessoas (IBGE, 2006).

No Brasil, assim como no restante do mundo, as carências mais estudadas, em termos de saúde pública, são as deficiências de ferro, de vitamina A e de iodo, devido às altas prevalências da anemia *ferropriva* e da hipovitaminose A, e à associação que apresentam com a morbimortalidade infantil. Uma em cada três pessoas no mundo é afetada pela deficiência de vitamina A, ferro ou iodo (BRASIL, 2002).

A anemia representa, em termos de magnitude, o principal problema carencial do país, aparentemente sem grandes diferenciações geográficas, afetando, em proporções semelhantes, todas as macrorregiões (BATISTA FILHO, 1999) a deficiência de vitamina A, que deveria ter sido controlada até o ano 2000 (UNICEF, 1990), persistiria com características endêmicas em vários espaços do território nacional em anos recentes. Contrariando as tendências de melhoria no cenário das carências nutritivas, a anemia estaria aumentando sua prevalência, apresentando uma elevação de 110% (caso de São Paulo) e de 88% (caso da Paraíba), num intervalo de 21 e 10 anos, respectivamente.

Ultimamente a família brasileira vem substituindo a sua dieta tradicional, baseada em arroz com feijão, por outros alimentos, de menor valor nutricional e complementaridade. Dados da POF 2003, que indicam que o brasileiro está gastando mais com refeições fora do domicílio, especialmente nas áreas urbanas. A mudança de modelo da sociedade moderna, onde cada vez mais mulheres ingressam no mercado de trabalho, e a necessidade de ganhar tempo na cozinha, levam a dona de casa a optar por pratos de preparo rápido, em detrimento do tradicional arroz com feijão.

2.2 Arroz (*Oryza sativae*, L.)

O arroz é o cereal mais consumido no mundo, e é considerado um alimento básico para aproximadamente dois terços da população mundial. No Brasil, o consumo de arroz é de aproximadamente 12 milhões de toneladas/ano, com tendência crescente, face ao aumento do poder aquisitivo dos consumidores e ao lançamento de novos produtos formulados. Esta demanda interna é suprida pela produção brasileira e complementada por importações provenientes do Uruguai, Argentina e, esporadicamente, dos Estados Unidos e de países asiáticos.

O Brasil produz cerca de 90% do arroz que consome e importa praticamente quase a metade do trigo necessário ao consumo nacional. O Brasil está, portanto, mais próximo da auto-suficiência na produção de arroz do que de trigo, podendo, segundo alguns estudos prospectivos, vir a ser exportador de arroz, um grão que é produzido em quase todas as regiões nacionais, enquanto a produção tritícola mais expressiva se restringe à região sul do país. (CONAB, 2006).

O grão de arroz é formado por três componentes básicos: amido, proteínas e lipídios, que constituem cerca de 98% da matéria seca, podendo este percentual variar de acordo com o grau de processamento do grão. O principal constituinte do arroz é representado pelos carboidratos, cujo teor varia, em base seca de 84 a 87%, no grão descascado, sendo de 90 a 92% no grão polido (SILVA, 2007)

Durante as etapas do processamento do arroz são gerados grãos quebrados. Destes, apenas 10% podem ser adicionados ao produto final. O restante será utilizado como matéria-prima para outras finalidades, como a produção de farinha de arroz, sendo esta um item praticamente desconhecido e inexistente no mercado. Entretanto, a chave para o aumento do

mercado de farinha de arroz pode ocorrer com melhorias nas propriedades funcionais em produtos e formulações que a utilizam.

Esse subproduto tem diversas propriedades, algumas associadas com mudanças ocasionadas durante o processo de obtenção da farinha, como a moagem e, no caso da pré-gelatinizada, a extrusão – processo que combina diversas operações unitárias como cocção e homogeneização (CASTIGLIONI et. al., 2007). O objetivo principal da extrusão consiste em ampliar a variedade de alimentos que compõem a dieta, elaborando-se, a partir de ingredientes básicos, alimentos distintos em textura e cor (FELLOWS, 2006).

A farinha de arroz, devido à fácil digestão, é utilizada no preparo de alguns alimentos como: sopas, alimentos infantis instantâneos, cereais matinais, macarrão, pão, sobremesas, entre outros.

Um estudo realizado por Pizzinatto et. al. (1994), mostrou que a adição de 10% de farinha de arroz na elaboração do pão francês apresentou bons resultados, no entanto os produtos ficaram com uma textura mais áspera, não acontecendo o mesmo quando a adição foi de 5%. Além disso, verificaram que o menor diâmetro de partícula na farinha de arroz parece ter um papel relevante na consistência do produto. Essa propriedade está provavelmente associada com o teor de amilose do amido do arroz, uma vez que a consistência ou corpo de um produto contendo amido de arroz desenvolve-se após o resfriamento do amido gelatinizado.

De acordo com Castiglioni et. al. (2007), a farinha de arroz pré-gelatinizada destaca-se na absorção e solubilidade em água, provavelmente devido ao processamento térmico a que foi submetida. O baixo índice de absorção e de solubilidade (IAA de 2,84g/g e ISA de 2,10%) para a farinha crua comprova o difícil acesso da água entre as cadeias do amido e a consequente importância do processo de extrusão, na alteração das características da farinha de arroz crua e a sua posterior utilização no desenvolvimento de outros produtos, principalmente produtos sem glúten.

Em um estudo realizado por Augusto-Ruiz (2003), foi realizada uma comparação entre farinhas pré-gelatinizadas de arroz branco polido e arroz integral e verificaram que a viscosidade da farinha de arroz branco apresentou uma temperatura de pasta quente em torno de sete vezes maior do que a farinha de arroz integral, indicando que em produtos que são servidos quentes, como sopas instantâneas, a farinha de arroz comum apresenta uma capacidade espessante muito maior.

Pode-se verificar que a farinha de arroz é um ingrediente promissor na elaboração de produtos levando-se em consideração que no Brasil esse ingrediente não possui uma linha de produtos bem definida.

2.3 Milho (*Zea mays L.*)

O milho é uma das culturas mais populares do mundo. A produção mundial é estimada em aproximadamente 792 milhões de toneladas (FAO, 2009). Cerca de 40% dessa produção corresponde aos Estados Unidos da América. Outros importantes produtores deste cereal são a China (20%), Brasil (6,5%), México, Argentina, Índia, França, Indonésia e Canadá. No Brasil, a cultura do milho só é superada pelas culturas da cana-de-açúcar e da soja. Estima-se que cerca de apenas 9,5% do grão seja processado pela indústria de moagem, para consumo humano, tais como grits, farinhas, amidos, edulcorantes, óleo, álcool para bebida, tortilhas, snacks, cereais matinais, bioplásticos, entre outros (ASCHERI, 2009).

O milho (*Zea mays* L.), cereal consumido “in natura” ou na forma de produtos industrializados, tem grande contribuição na alimentação humana e animal, devido principalmente às suas características nutricionais como excelente fonte energética, em função do alto teor de amido, lipídios, proteínas e vitaminas encontradas nos grãos (PATERNIANI, 1978). Existem mais de 600 derivados do milho, dos quais, aproximadamente 500 se destinam à alimentação humana.

Os produtos derivados do milho como farinha de milho, fubá, flocos de milho, canjiquinha, xerém, dentre outros, são bastante apreciados na culinária brasileira, tendo participação efetiva como componente básico na dieta alimentar das camadas mais pobres da população. Os derivados de milho constituem fator importante de uso desse cereal em regiões com baixa renda.

Em algumas situações, o milho constitui a ração diária de alimentação, por exemplo: no Nordeste do Brasil, o milho é a fonte de energia para muitas pessoas que vivem no semiárido; outro exemplo está na população mexicana, que tem no milho o ingrediente básico para sua culinária (CNPMS, 2010).

A elaboração de extrudados expandidos se faz a partir da utilização do milho na forma de grits. A obtenção de produtos como grits é precedida pela produção de canjica por degerminação e esta por redução em canjiquinha. Para melhor redução do grão nesses produtos, com grau de conservação sem desenvolvimento de ranço e garantia de textura nos produtos derivados para o consumo, é necessária a eliminação do pericarpo (ASCHERI, 2009), sendo esse o milho ideal para elaboração de extrudados expandidos.

Além dos produtos derivados da moagem seca, uma série de novos produtos industriais foram acrescentados, dentre os destinados ao consumo humano. Os de maior importância são o amido, derivado da moagem úmida, e o óleo de milho. Devido à complexidade de seu processamento, e à necessidade de capital envolvido, estes produtos são oriundos de empresas de grande porte (DUARTE et. al., 2007).

O grânulo de amido natural tem uma capacidade limitada de absorver água fria. Durante o cozimento por extrusão, o amido que apresenta inicialmente uma forma granular, é progressivamente comprimido e transformado em um material denso, sólido e compacto, desaparecendo sua estrutura cristalina e granular. As principais propriedades funcionais do amido extrudado quando disperso em água, são a absorção e a solubilidade em água.

Ele absorve água rapidamente, formando uma pasta à temperatura ambiente, sem qualquer aquecimento. O aumento da solubilidade com a gelatinização é a base para a confecção de alimento amiláceos pré-preparados.

Pérez et. al. (2008) demonstraram que, o uso de grits de milho contendo uma menor dureza no endosperma levou a uma maior expansão dos snacks e que, para a produção de farinhas instantâneas para sopas, cremes e purês, a temperatura ideal de processamento situa-se em torno de 170°C com umidade de 14% na matéria-prima.

Outro fator interessante sugere que o processo de extrusão vem se tornando uma alternativa para o desenvolvimento de novos produtos a partir da farinha de milho e farinhas de outros vegetais, com o surgimento de alimentos com diferentes texturas e características, que são bem aceitos pelos consumidores atuais por sua alta praticidade e a alta qualidade microbiológica. Pela elevada temperatura do seu processo, que chega a valores superiores a 150°C, leva a uma quase eliminação dos microorganismos e uma esterilização comercial do produto a ser fabricado, principalmente pela baixa umidade e atividade de água do produto final.

2.4 Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)

Existem várias espécies de sementes, que maduras, servem como alimento para grande parte da população mundial. Algumas destas são produzidas por plantas chamadas leguminosas graníferas onde cerca de 20 espécies são utilizadas na alimentação em quantidades apreciáveis em uma ou outra região do país (PROLLA, 2006).

De acordo com dados da Embrapa, as mais importantes espécies de leguminosas são o guandu, o caupi, a ervilha, a lentilha, o grão-de-bico, a fava, o feijão-fava, os feijões asiáticos do gênero *Vigna*, o amendoim, a soja e o feijão comum. Este último já fazia parte da dieta de muitos povos antepassados, segundo alguns estudos.

O Feijão comum ou simplesmente feijão pertence à família Leguminosae, subfamília Papilionoideae, gênero *Phaseolus* cujo nome científico é *Phaseolus vulgaris* L. É uma planta herbácea, trepadora ou não, levemente pubescente, cujo ciclo de vida varia de aproximadamente, 65 a 120 dias, dependendo da cultivar e das condições e época de plantio.

O grão de feijão é uma leguminosa originária das regiões elevadas da América Central (México, Guatemala e Costa Rica), apresenta alto teor proteico, sendo excelente fonte de carboidratos e fibras apresentando, porém, baixo teor de lipídeos e sódio. Não contém colesterol, além de possuir vitaminas (principalmente do complexo B) e minerais, sendo as leguminosas consideradas boas fontes de ferro (MARTÍNEZ et. al., 1989).

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é, especialmente, importante para o Brasil, não só porque o país é o maior produtor mundial, mas também por ser uma das principais fontes de proteínas para a população, sendo o consumo atual de cerca de 16 kg/hab/ano (EMBRAPA, 2005).

O valor nutritivo da proteína do feijão é baixo quando utilizado como única fonte proteica, entretanto, quando combinado com arroz, por exemplo, forma uma mistura de proteínas mais nutritiva. Isto porque, o feijão é pobre em aminoácidos sulfurados, e rico em lisina; e o arroz é pobre em lisina e relativamente rico em aminoácidos sulfurados (MESQUITA, 2006), promovendo assim uma completa junção.

Na nutrição humana, o feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.), dada sua composição, proporciona vários benefícios à saúde, sendo indicado na manipulação dietética de várias doenças tais como distúrbios cardíacos, Diabetes *mellitus*, obesidade e câncer (SATHE et. al., 1984).

Os feijões constituem uma boa fonte de fibra alimentar, especialmente, fibra solúvel (KUTOS et. al., 2003), que depois de ingerida, se transforma em gel, permanecendo por mais tempo no estômago, o que acarreta uma maior sensação de saciedade. Tal “gel” atrai as moléculas de gordura e de açúcar, que são eliminados pelas fezes, ajudando assim, a reduzir os níveis de colesterol e glicemia do sangue e, conseqüentemente, a redução de doenças cardiovasculares da população, em geral (GLORE et. al., 1994).

No entanto, existe também evidência de que o alto conteúdo de fibra solúvel na dieta promova efeitos adversos como a redução da biodisponibilidade de minerais essenciais e elementos traço, no intestino delgado.

Além do seu elevado valor nutricional, o feijão contém fatores antinutricionais que podem levar a efeitos indesejáveis, mas que são dependentes dos teores dessas leguminosas consumidos e, podem ser voltados para o controle de doenças crônicas.

O consumo diário de feijão está entre 50 a 100 g por dia/pessoa, contribuindo com 28% de proteínas e 12% de calorias ingeridas (SGARBIERI, 1980). Portanto, como alimento básico e

sob o ponto de vista quantitativo, o feijão é considerado um alimento proteico, embora, seu conteúdo calórico, mineral e vitamínico não possa ser desprezado.

Na alimentação dos brasileiros, o feijão é a principal fonte de proteína, seguido, em importância pela carne bovina e pelo arroz. Apenas esses três alimentos básicos contribuem com até 70% da ingestão proteica, além de ser uma cultura de grande expressão sócio-econômica no Brasil (LAJOLO et. al., 1996). Essa importância alimentar se deve, especialmente, ao menor custo de sua proteína em relação aos produtos de origem animal. Por isso, apesar de existirem inúmeros trabalhos com o feijão, ele continua sendo uma das prioridades nas pesquisas.

A especial importância do feijão no Brasil não está somente no fato de este ser o maior produtor mundial, mas também por ser o feijão uma das principais fontes proteicas na dieta humana dos países em desenvolvimento das regiões tropicais e subtropicais, particularmente nas Américas (47% da produção mundial) e no leste e sul da África (10% da produção mundial). Seu consumo per capita no Brasil situou-se, em 2001, em 14,9 kg/hab/ano, e, na década de 70, chegou a alcançar patamares de 23-24 kg/hab/ano, sendo esta redução atribuída, ao longo do tempo, a vários fatores (CNPAP, 2003). Como mostra a Figura 1, o consumo de feijão se estagnou a partir de 2001, vindo de uma queda, até os dias atuais, considerando um consumo muito menor quando comparado com o início dos anos 80.

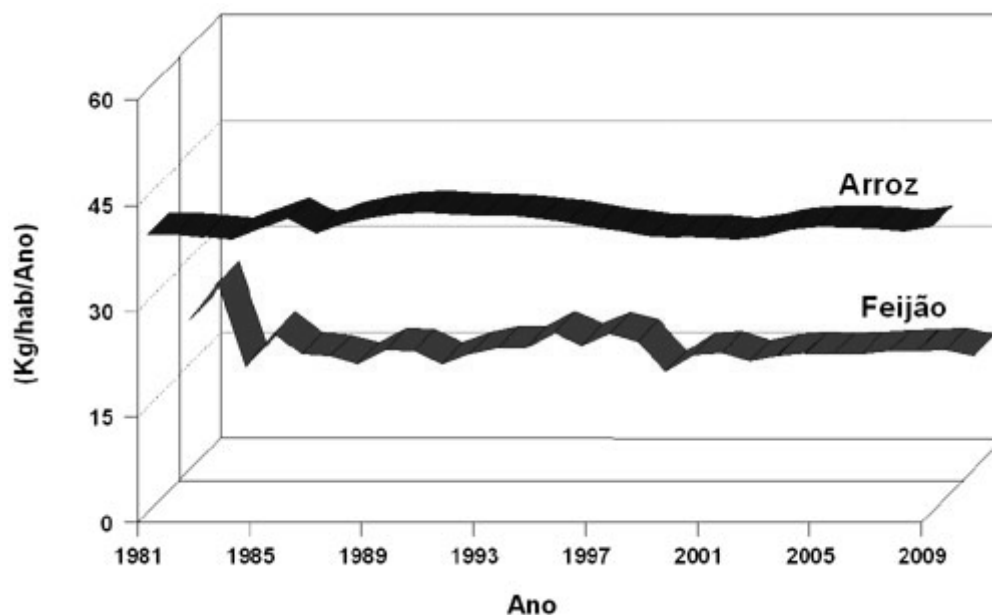


Figura 1: Consumo Per Capita de Arroz e Feijão no Brasil - (1981-2009) - Fonte: IBGE/CONAB. (Elaborado na Embrapa Arroz e Feijão por SILVA, O. F. da, 2006).

*Estimativa que considera arroz limpo com grãos inteiros

Alguns estudos mostram que o processo de urbanização explica mais da metade da redução no consumo. E essa rápida urbanização, associada à acentuada inserção da mulher no mercado de trabalho, provocaram um efeito acentuado nas mudanças do hábito alimentar da população e originaram novas demandas quanto à qualidade, apresentação, facilidade e menor tempo de preparo dos alimentos (WANDER, 2007).

Há argumentos tradicionais utilizados para justificar a redução do consumo de feijão. Alguns economistas afirmam que o produto tem elasticidade de renda negativa, ou seja, à medida que a renda do consumidor aumenta o consumo do produto diminui. Por sua vez, outros afirmam que ocorreu um crescimento do preço real do feijão em comparação a outros alimentos. Outros ainda apontam a dificuldade de preparo caseiro e o tempo de cozimento que se contrapõe à necessidade de redução do tempo de trabalho doméstico. Além disso, há maior número de pessoas fazendo suas refeições fora do lar e a substituição do feijão por outras fontes de proteína, principalmente as de origem animal (WANDER, 2007).

Diversos trabalhos sobre melhoramento genético têm sido desenvolvidos com o objetivo de obter variedades de feijão com melhores características agronômicas, buscando o aumento da produtividade, além da resistência a pragas e doenças (SILVA, 2007). Porém, é indispensável uma associação estreita, entre produtores e pesquisadores, nas áreas de agronomia, alimentos e nutrição, para obter feijões de boa qualidade que sejam aceitos pelo consumidor.

Por outro lado, a tecnologia de extrusão se tornaria uma alternativa para o desenvolvimento de produtos contendo feijão em sua formulação que auxiliaria no crescimento da inserção do feijão na dieta da população.

2.5 Biofortificação de Alimentos

Uma alimentação saudável, balanceada, diversificada e equilibrada deve, ao longo do tempo, e de forma sustentável fornecer todos os componentes necessários ao desenvolvimento e a manutenção do organismo saudável. Mas nem sempre essas condições são alcançadas e algumas medidas como a educação alimentar, a suplementação com medicamentos e a fortificação de alimentos têm sido recomendadas para auxiliar no equilíbrio e garantia de uma alimentação saudável.

Uma em cada três pessoas no mundo é afetada pela deficiência de vitamina A, ferro, zinco, iodo e ácido fólico. E uma das maiores causas para o crescimento dessas deficiências de micronutrientes é o baixo poder aquisitivo por parte da população dos países em desenvolvimento. O Ministério da Saúde tem utilizado de ações que objetivam reduzir essas carências nutricionais na população brasileira que estão apoiadas, também, na suplementação com megadoses de vitamina A e suplementos de sulfato ferroso, na fortificação de alimentos como farinhas de trigo e milho com ferro e ácido fólico, além da adição de iodo no sal para consumo humano.

A fortificação de alimentos com a adição de vitaminas e minerais tem sido utilizada há bastante tempo (BACKSTRAND J.R., 2002) e tem por objetivo fazer esses nutrientes alcançarem as populações mais carentes. Pela fortificação são adicionados micronutrientes a alimentos de uso massivo, visando garantir a sua ingestão adequada. De acordo com Jons, T. e Eyzaguirre, P.B. (2007), através da suplementação e da fortificação de alimentos industrializados foi alcançado um aumento no controle da deficiência de micronutrientes, porém novas soluções são necessárias para ampliar a rede de alcance dos programas sociais. Uma interessante alternativa consiste em aumentar as concentrações destes micronutrientes nos cereais de maior consumo, o que pode ser realizado através da fertilização mineral das culturas ou do melhoramento genético das mesmas.

A biofortificação que consiste na produção de variedades melhoradas que apresentam maior teor de minerais como ferro, zinco e vitaminas (vitamina A) visa complementar as intervenções em nutrição existentes e proporcionar uma maneira sustentável e de baixo custo para

alcançar as populações com limitado acesso aos sistemas formais de mercado e de saúde. (HARVESTPLUS, 2011).

No Brasil tem-se o projeto *Biofort*, que é responsável pela biofortificação de alimentos e coordenado pela Embrapa Agroindústria de Alimentos – Rio de Janeiro (em um total de onze unidades da Embrapa que participam e trabalham no projeto) que aspira diminuir a desnutrição e garantir maior segurança alimentar através do aumento dos teores de ferro, zinco e vitamina A na dieta da população mais carente. A iniciativa é apoiada pelos programas HarvestPlus e AgroSalud, ambos ligados a redes de centro de pesquisas com atividades na América Latina, África e Ásia. A biofortificação utilizada consiste em um processo de cruzamento de plantas da mesma espécie, gerando cultivares mais nutritivas. O processo também é conhecido como melhoramento genético convencional (BIOFORT, 2010).

Alimentos básicos da população brasileira como arroz, feijão, batata-doce, mandioca, milho, feijão-caupi, abóbora e trigo vem sendo alvo de estudos para se tornarem mais nutritivos, por um forte elo entre o conhecimento técnico-científico da agronomia e da saúde que tem permitido responder ao desafio de combater a fome oculta que atinge mais de dois bilhões de pessoas em todo o mundo, além de doenças provocadas pela alimentação deficiente em micronutrientes principalmente nos países subdesenvolvidos e em desenvolvimento.

A segurança alimentar e nutricional leva o acesso ao alimento de qualidade e ao cultivo de hábitos alimentares saudáveis. A biofortificação de produtos agrícolas auxilia no combate a fome na medida em que enfatiza a promoção de um sistema alimentar integrado para reduzir a desnutrição.

Dentre as matérias-primas biofortificadas, destacam-se o feijão carioca BRS Pontal e o arroz branco polido. A Embrapa Arroz, e Feijão sediado no município de Santo Antônio de Goiás (Goiás) e parceiros, tem desenvolvido pesquisas com base no melhoramento genético convencional para obter cultivares de arroz e feijão com maiores teores de ferro e zinco, como estas citadas acima, e tolerantes à seca. O arroz, por exemplo, pode apresentar até o dobro de ferro (quatro miligramas por kg), em relação ao grão polido convencional.

O desafio da pesquisa é encontrar cultivares com boa produtividade, além de maiores teores de micronutrientes. O arroz da variedade Chorinho, por exemplo, biofortificado, apresenta em média 18mg de zinco e 4mg de ferro por kg de arroz branco polido, enquanto o arroz convencional apresenta em média 12mg de zinco e 2mg de ferro por kg de produto. Já o feijão carioca BRS Pontal, contém em média 90mg de ferro e 50mg de zinco por kg de cultivar, enquanto que o feijão carioca convencional apresenta em média, 50mg de ferro e 30mg de zinco por kg de feijão.

Estes dados mostram a importância da biofortificação de alimentos considerados de grande consumo pela população, não só por apresentarem uma melhor produtividade e maior quantidade de nutrientes, como que a partir dessas matérias-primas biofortificadas podem-se desenvolver produtos com boa qualidade nutricional e sensorial.

2.6 Extrusão

O processo por extrusão permite misturar diferentes farinhas de tubérculos, raízes, cereais e leguminosas, produzindo alimentos tais como snacks, pellets e farinhas pré-gelatinizadas para adição em bolos, biscoitos, sopas e bebidas, com maior digestibilidade, alto valor nutritivo, com custo de matéria-prima e de produção relativamente reduzidos.

A extrusão é um processo que combina várias operações unitárias, incluindo procedimentos como mistura, cozimento, amassamento, cisalhamento, formação e moldagem. Os extrusores são classificados de acordo com o método de operação – a frio ou de cozimento - e construção (extrusores de rosca única ou dupla), sendo os princípios de operação similares em todos os processos e a diferença ligada ao produto final ao qual o processo se destina. O processo de cozimento por extrusão teve seu início da década de 40 com a fabricação de “snacks” (FELLOWS, 2006).

A extrusão termoplástica, particularmente na indústria de “snacks” e farinhas pré-gelatinizadas, é um processo complexo que difere dos processamentos convencionais, pois utiliza altas taxas de cisalhamento e temperaturas elevadas ($>150^{\circ}\text{C}$) por um curto período (segundos). Uma larga faixa de processos termomecânicos e termoquímicos estão envolvidos. Estes processos resultam nas modificações físicas, químicas e nutricionais dos constituintes das matérias-primas (HARPER, 1981).

As variáveis independentes compreendem os ingredientes alimentares, umidade da matéria-prima, geometria do parafuso, configuração da matriz, velocidade do parafuso, temperaturas das jaquetas, pré-condicionamento (aquecer com vapor ou umedecer) e taxa de alimentação e as variáveis dependentes incluem viscosidade, taxa de cisalhamento, taxa de fluxo, pressão, energia, tempo de residência, temperatura e características do produto (HARPER, 1981).

Na área de alimentos, a extrusora é uma máquina que acelera a formatação e o processo de reestruturação de ingredientes. É utilizada para cozer, formar, misturar, texturizar e formatar produtos alimentícios sob condições que favorecem a retenção da qualidade nutricional, alta produtividade e baixo custo (FELLOWS, 2006). Na agroindústria, a extrusora é amplamente empregada no beneficiamento de alimentos, grãos e rações em escala industrial.

A extrusão a frio, na qual a temperatura do alimento permanece próxima da ambiente, é utilizada para misturar e modelar alimentos como massa e produtos cárneos. O cozimento por extrusão é um processo de alta temperatura e curto tempo (HTST – *High Temperature Short Time*) que reduz a contaminação microbiana e inativa enzimas, sendo que o principal método de conservação de alimentos extrudados, tanto a quente quanto a frio, é a baixa atividade de água do produto (0,1 a 0,4), levando sempre em consideração a embalagem utilizada para armazenamento e estocagem.

O extrusor de alimentos tem sido descrito como um reator de fluxo contínuo que trabalha a altas temperaturas e pressões em combinação com a força de cisalhamento e conteúdos de umidade relativamente baixos, capaz de processamento de biopolímeros e misturas de ingredientes (MIRANDA, 2006).

Os modelos de extrusores são variados, como também é variado o tipo de produto que eles produzem. Apesar destas diferenças, o processo de extrusão HTST pode ser pensado, como ocorrendo em três fases, as quais correspondem às seções ou zonas apropriadas do parafuso do extrusor. O material a ser extrudado entra primeiro na seção de mistura, no qual, nenhum cozimento é iniciado. Nesta fase ocorre a mistura do material alimentado, que é comprimido para preencher os espaços que circundam o parafuso e conduzir uniformemente o material. A próxima seção é a de transição. A pressão, taxas de cisalhamento e temperatura aumentam rapidamente nesta seção, no final o material está com 100°C ou mais. Na última seção em geral as temperaturas geralmente continuam a aumentar. O parafuso comprime e mistura adicionalmente o produto, para assegurar que ele deixará a matriz homogeneamente. A rápida saída para temperatura ambiente e queda da pressão causam evaporação da umidade do extrudado, expandindo o produto. A quantidade de água perdida durante o processo varia, dependendo

primariamente da temperatura da última seção e da geometria da matriz. Em geral, aproximadamente 7 a 8% de umidade é perdida. (MIRANDA, 2006)

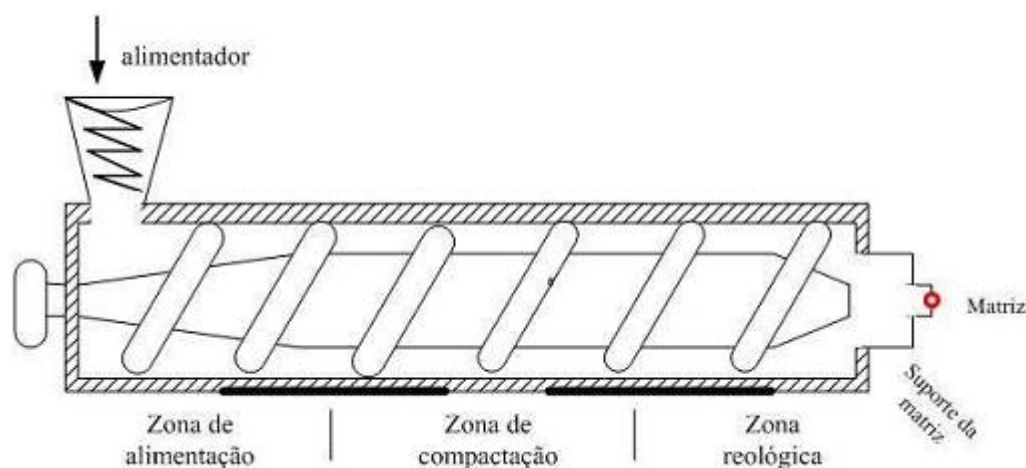


Figura 2. Segmentação da máquina extrusora em função da interação com a massa

O parafuso ou a rosca, considerado uma das partes mais importantes do extrusor, ajuda a regular o grau de cozimento, a gelatinização e a qualidade final do produto. O parafuso mistura o material e o conduz pelo cilindro, gerando fricção mecânica e calor (GUTKOSKI, 2000). Este pode ser de diferentes diâmetros, o qual determina a taxa de cisalhamento e grau de cocção do material (da SILVA, 2010).

Entre as características do produto encontramos conteúdo de umidade final (que afeta a vida de prateleira e estabilidade), expansão (que afeta volume, tamanho e forma), solubilidade (influenciada pela aderência e coesão), absorção (de água, leite, gordura), cor (claridade), sabor (forte, suave, rançoso) densidade (razão da massa pelo volume) e textura (que representa a combinação de propriedades como fraturabilidade, dureza, coesividade, adesividade, elasticidade, gomosidade e mastigabilidade) (HARPER, 1981).

Os alimentos extrudados são considerados microbiologicamente estáveis devido a sua reduzida umidade e sua baixa atividade de água. De acordo com um estudo de Camire et. al. (1990) o calor produzido durante a extrusão destrói os microrganismos presentes no material cru. A extrusão é muito efetiva na redução da contagem total em placa especialmente no número de *Escherichia coli* por 100 g. Testes de sobrevivência de esporos de *Bacillus stearothermophilus*, que é usado como um indicador da habilidade de um processo térmico para destruir bactéria, comprovaram o efeito esterilizante da extrusão.

Os fatores ligados à matéria-prima tais como teor de umidade, proporção de amilose e amilopectina, conteúdo de proteína, lipídios e fibra e as fontes de amido utilizadas, exercem grande influência no produto acabado (ASCHERI, 2009).

2.7 Propriedades Funcionais dos Extrudados

As propriedades funcionais dependem muito do peso molecular, composição de aminoácidos, estrutura e reatividade da proteína. Em muitos casos os componentes não protéicos

afetam também as propriedades funcionais. A extrusão facilita a inclusão de fibras no material amiláceo e melhora as características organolépticas e funcionais do produto extrudado.

Quando dispersos em água, as farinhas extrudadas absorvem o líquido rapidamente, formando uma pasta a temperatura ambiente, sem necessidade de aquecimento (SEBIO, 2009). O aumento de solubilidade do material é a base para a elaboração de alimentos instantâneos, como é o caso das sopas, por exemplo. Sendo assim, após a cocção por extrusão, as farinhas de alguns cereais são comercializadas como farinhas pré-gelatinizadas.

Segundo Ascheri (2009), dependendo do tipo e graus de tratamento térmico, os produtos extrudados e secos podem ser caracterizados pela sua estrutura expandida, pela coesividade, pela forma e/ou sensação na boca. A farinha extrudada apresenta alguma solubilidade, que conduz a um comportamento espessante e a uma alta susceptibilidade a ação de enzimas amilolíticas. Essas propriedades são altamente influenciadas pela origem do amido e pelas condições utilizadas no processo de extrusão.

Quando os amidos são dispersos em excesso de água, as propriedades principais que os caracterizam são a absorção de água e a solubilidade em água, avaliadas pelos Índices de Absorção em Água (IAA) e de Solubilidade em Água (ISA), respectivamente.

2.7.1 Índice de absorção de água (IAA)

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 (ANDERSON et. al., 1969). Correlaciona-se com a viscosidade de pasta a frio, pois apenas os grânulos de amido danificados absorvem água à temperatura ambiente, resultando no aumento da viscosidade. Após atingir um máximo, com relação ao grau de amido danificado, o IAA diminui com o início da dextrinização (ASCHERI, 2009).

A proteína de arroz por ter ligações dissulfídicas e algumas interações não covalentes entre cadeias polipeptídicas mostra uma baixa solubilidade, sendo que esta solubilidade não é afetada pelo processo de extrusão. Produtos extrudados produzidos com farinha de arroz fortificada com isolado proteico de soja apresentaram uma ligeira diminuição na capacidade de absorção de água, quando comparados com aqueles extrudados apenas à base de farinha de arroz (SILVA, 2007).

2.7.2 Índice de solubilidade em água (ISA)

O Índice de Solubilidade em Água (ISA) indica a intensidade do tratamento térmico e consequente desramificação da estrutura amilácea (ANDERSON et. al., 1969). Expressa a porcentagem da matéria-prima seca recuperada após evaporação do sobrenadante da determinação de absorção de água e está relacionado com a quantidade de moléculas solúveis na amostra seca e mede a dextrinização (ASCHERI, 2009).

Segundo Ascheri et. al. (2006) o ISA está relacionado à quantidade de sólidos solúveis em uma amostra seca, permitindo verificar o grau de severidade do tratamento, em função da degradação, gelatinização, dextrinização e consequente solubilização do amido.

Mercier e Feillet (1975) estudaram a influência dos diferentes parâmetros envolvidos no processo de extrusão termoplástica (temperatura, conteúdo de umidade e amilose) de diferentes cereais tais como: milho com diferentes conteúdos de amilose, trigo e arroz, e constataram que sob temperaturas de 170 e 200°C ocorre solubilização do amido e maltodextrina. Sob estas

condições, o amido de milho ceroso (rico em amilopectina) apresentou maior solubilidade, seguido do milho normal, trigo e arroz. A quantidade de amido solúvel aumentou com o aumento da temperatura de extrusão e com a redução do conteúdo de umidade do produto antes da extrusão. Porém, inversamente, diminuiu com o aumento do conteúdo de amilose do amido.

2.8 Propriedades Viscoamilográficas

Os parâmetros de viscosidade de pasta possibilitam a determinação e o estudo do grau de cozimento do produto extrudado, bem como permitem avaliar o comportamento do amido em meio aquoso, aplicando-se diferentes temperaturas durante o processo (TEBA, ASCHERI & CARVALHO, 2009).

A viscosidade inicial a 25 °C, 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, sendo expressa em Unidades Amilográficas (UA), em Unidades Brabender (UB), unidades RVA ou ainda em cP (centipoise), quando é utilizado o *Rapid Visco Analyzer*.

A viscosidade de pasta a 95 °C é um parâmetro que mede a resistência do grânulo de amido ao colapso resultante da ação da temperatura e do atrito mecânico no viscoamilografo (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 são tão severos, determinada concentração de amido pode ter conservado parte da 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).

Ascheri et. al. (2006) estudando os efeitos das variáveis de extrusão nas propriedades de pasta de farinhas mistas de arroz e bagaço de jabuticaba observaram decréscimo do valor da viscosidade de pasta inicial a 25°C com o aumento da proporção da farinha do bagaço de jabuticaba na mistura da formulação, e atribuíram este fenômeno a menor proporção de material amiláceo na mistura, mencionando ainda que as fibras incluídas não fornecem suficiente material viscoso, fazendo com que a gelatinização do amido diminua.

Silveira et. al. (1981) constataram que o amido é o principal componente responsável pela viscosidade. Outro fator que também pode contribuir para o decréscimo da viscosidade é a diminuição da água disponível para a gelatinização do amido por sua interação com a proteína.

Estudos realizados por Levine (1983) verificaram que a viscosidade da farinha de arroz também é afetada pela extensão da gelatinização, sendo que a uma rotação e umidade constantes, um aumento na temperatura reduz a viscosidade da farinha. Já uma baixa temperatura e/ou curto tempo de residência no extrusor, a gelatinização é incompleta e apresenta baixa viscosidade.

Em outro estudo realizado por Augusto-Ruiz (2003), que analisou as características reológicas e físico-químicas de farinha de arroz branco e farinha de arroz integral extrudada, verificou-se que a viscosidade da farinha de arroz branco apresentou uma temperatura de pasta quente 7,42 vezes maior do que a farinha de arroz integral, indicando que em produtos que são servidos quentes, como sopas instantâneas, a farinha de arroz comum apresenta uma capacidade espessante muito maior.

2.9 Utilização de amidos modificados e farinhas pré-gelatinizadas

Farinhas e amidos pré-gelatinizados podem ser usados para obter espessamento ou retenção de água sem emprego do calor, por exemplo, em pudins, misturas lácteas instantâneas e alimentos para jejum; para preparar misturas prontas panificáveis, onde o aumento da absorção e retenção de água melhora a qualidade do produto (CLERICI E EL-DASH, 2008).

Os métodos de produção de farinhas e amidos gelatinizados são vários (rolos secadores, atomização, cozimento convencional), mas o processo de extrusão apresenta as vantagens de versatilidade, alta produtividade, baixo custo e controle mais rigoroso do grau de gelatinização desejado, onde pequenas modificações no equipamento e/ou na matéria-prima podem levar a diferentes resultados finais.

Misturas de amidos de diferentes fontes, principalmente milho regular, milho ceroso e mandioca, também são feitas para se atingir as propriedades tecnológicas desejadas nas aplicações dos amidos modificados (SILVA et. al., 2006).

Logo, uma farinha mista pré-gelatinizada elaborada com os produtos agrícolas milho, arroz e feijão, traria um bom aporte de proteínas, proveniente da associação e complementação do arroz (rico em metionina) e do feijão (rico em lisina) conferindo um aporte de aminoácidos essenciais adequado, e assim uma proteína de alto valor biológico, além de um bom aporte de carboidrato proveniente das três matérias-primas utilizadas.

De acordo com Canniatti-Brazaca (1997), a ação do calor destrói total ou parcialmente a ação tóxica de algumas substâncias antinutricionais. Altas temperaturas e a presença de açúcares causam o escurecimento do extrudado pela reação de Maillard e redução na qualidade das proteínas. Baixas temperaturas e concentração de açúcares resultam em um aumento da digestibilidade da proteína devido à reorganização da estrutura proteica (FELLOWS, 2006). Sabe-se ainda que a cocção por extrusão pode gerar amido com maior digestibilidade do que no cozimento convencional.

O processo de extrusão termoplástica, devido ao curto período de permanência do material no canhão, promove além do aumento da digestibilidade e inativação enzimática, menores perdas de nutrientes, quando comparado a processos convencionais de aplicação de calor.

O aumento da oferta de amidos modificados para serem utilizados como estabilizantes e/ou espessantes de diversos alimentos, é uma tendência que vem ganhando mais utilidade, sendo ainda pouco empregado no Brasil. Esses alimentos são capazes de melhorar a qualidade de seus produtos e diminuir custos de produção e/ou aumentar os lucros sem perda da qualidade sensorial.

Amidos extrudados podem ter uma melhor funcionalidade quando aplicados em alimentos, especialmente em produtos instantâneos quentes ou frios. Como a conversão de amido (gelatinização, fusão e degradação) tem uma influência direta sobre a textura do produto final, tais como expansão, a incorporação de uma mistura de amido extrudado como matéria-prima poderia ter uma funcionalidade única em certos produtos (OZCAN e JACKSON, 2005). Por exemplo, batatas fritas de pacote exigem algum amido degradado para expansão e alguns amido em bruto para suportar as bolhas formadas durante fritura (LANNER et. al., 2003).

As indústrias devem se preocupar que a melhoria da qualidade sensorial de um produto pode significar uma perda da qualidade nutritiva do mesmo pela utilização de matérias-primas com menor preço de mercado e de amidos modificados que alteram a viscosidade do produto, mas modificam sua propriedade nutritiva.

3 METODOLOGIA

3.1 Matéria-prima

As matérias-primas utilizadas para elaboração das farinhas pré-gelatinizadas foram *grits* de milho da marca Granfino® obtidos no comércio do Rio de Janeiro, feijão do tipo Carioca, variedade BRS Pontal e Arroz Branco Polido da Variedade Chorinho provenientes dos programas de biofortificação HarvestPlus e AgroSalud, obtidos por melhoramento convencional, fornecidos pela Embrapa Arroz e Feijão (Goiás). O desenvolvimento das farinhas mistas extrudadas e as análises de caracterização tecnológica foram realizados na planta piloto de cereais da Embrapa Agroindústria de Alimentos.

3.2 Equipamentos

Dentre os equipamentos, vidrarias e utensílios utilizados nas determinações analíticas, físico-químicas e sensoriais, são citados:

- Agitador de peneiras RO-TAP modelo RX-29-10, equipado com um conjunto de sete peneiras arredondadas e vibratórias, com malhas de 850µm a 75µm;
- Agitador tipo Vortex marca Genie dois Scientific Industries;
- Balança analítica marca Mettler Toledo, AG 204;
- Banho-maria marca Eberbach, Shaker Bath, cat n. 6250;
- Centrífuga, marca Hermle modelo Z383;
- Cromatógrafo líquido de alta eficiência (CLAE) modelo Alliance, marca Waters 2695 com detector de fluorescência da marca Waters 2475.
- Estufa com circulação de ar da marca Fabbe-Primar;
- Espectrofotômetro Color Quest XE (HunterLab)
- Espectrofotômetro de emissão de plasma ICP Spectroflama flame;
- Extrusor Brabender rosca simples, modelo DSE 20DN, acoplado ao torque DSE 330, equipado com resistências elétricas nas três zonas ao longo do cilindro, sistema de alimentação e velocidade de rosca controlada em RPM (Duisburg, Alemanha);
- Moinho de discos marca Perten Laboratory Mill 3600;
- Moinho de martelo marca Perten Laboratory Mill 3100;
- Picnômetro a gás Hélio marca MICROMERITICS®, modelo Accupyc 1340
- Viscoanalizador rápido (RVA) marca Newport Scientific Pty. Ltd., Warriewood, Austrália;

3.3 Métodos

3.3.1 Produção da farinha de arroz branco

Para a elaboração da farinha de arroz branco polido, os grãos de arroz foram moídos em moinho de discos da marca Perten Laboratory Mill 3600 sob a faixa de abertura maior e de maior proximidade com a granulometria do *grits* de milho (em torno de 850µm) e considerada de grande resistência mecânica. Para isso foi realizado anteriormente um teste visual, onde as

farinhas de arroz e feijão sem casca foram moídas em todos os níveis do moinho de disco (um total de seis), a fim de verificar a abertura de maior identificação com o *grits* de milho.

3.3.2 Produção da farinha de feijão comum BRS Pontal sem casca

Para a produção da farinha de feijão carioca comum, BRS Pontal, sem casca, inicialmente foi necessário promover o descascamento dos grãos. Para isso foi utilizada a técnica descrita por Silva (2010) com modificações, onde os grãos, após limpos e selecionados para retirada de sujidades e de grãos quebrados e pequenos, foram macerados por 4 horas em água a 1:2 (grãos:água), seguindo-se o descarte desta água de remolho. Posteriormente os mesmos foram levados à estufa a 100°C por 2 horas (a cada 30 minutos as bandejas eram alternadas, e verificada a coloração dos grãos evitando assim que os mesmos ficassem queimados). Após este período, os grãos foram descascados à temperatura ambiente por meio da passagem entre discos paralelos horizontais, com quatro mm de abertura.

Então, submeteram-se os grãos descascados à moagem em moinho de discos da marca Perten Laboratory Mill 3600, com a faixa de maior abertura (abertura no nível quatro, próximo a granulometria do *grits* de milho) obtendo-se então a farinha de feijão tipo carioca sem casca para o processo de extrusão.

3.3.3 Produção da farinha mista de milho, arroz e feijão para extrusão

O milho em *grits* foi processado em moinho de discos a fim de garantir o processo a mesma granulometria das outras matérias-primas. As concentrações das farinhas foram 30% de milho *grits* (processado em moinho de discos), 35% de farinha de feijão e 35% de farinha de arroz.

3.3.4 Classificação granulométrica das matérias-primas

A análise de granulometria seguiu a metodologia descrita por Ascheri (2008). Para a determinação da granulometria foram peneiradas 100 g das matérias-primas cruas de milho, arroz e feijão, e da farinha mista crua de arroz, feijão e milho nas proporções estudadas (35, 35 e 30%, respectivamente) durante 10 minutos, em um conjunto de sete peneiras arredondadas, vibratórias e com aberturas nas malhas de 1.18 (μm), 850, 710, 500, 425, 300 μm , e fundo, da marca RO-TAP modelo RX-29-10. Em seguida, as quantidades retidas em cada peneira foram pesadas e os valores expressos em porcentagens.

3.3.5 Delineamento experimental

Nas Tabelas 1 e 2 são apresentados os níveis utilizados e os ensaios experimentais do planejamento, respectivamente, para o estudo dos efeitos dos parâmetros de extrusão, definidos através de estudos preliminares, na produção de farinhas mistas instantâneas de arroz, milho e feijão.

Foram consideradas como variáveis independentes a rotação do parafuso (rpm), umidade da amostra (%) e temperatura (°C) na 3ª zona do extrusor. Para analisar o efeito combinado dessas variáveis nas características tecnológicas dos extrudados, estabeleceu-se um delineamento

do tipo composto central rotacional (DCCR) de 2ª ordem (2^3), com total de 17 ensaios sendo 8 ensaios fatoriais (combinações entre os níveis -1 e $+1$); 6 axiais (uma variável no nível $+$ e duas em 0 ; e uma no nível $-$ e duas em 0); e 3 centrais (as três variáveis independentes no nível 0), sendo o α igual a 1,6812 e o estudo baseado na Metodologia de Superfície de Resposta (MSR).

A Metodologia de Superfície de Resposta (MSR) permite a construção de modelos matemáticos que possibilitam a interpretação e a descrição quantitativa das relações existentes entre as variáveis dependentes (respostas) e as variáveis independentes (fatores) que se pretende estudar. Esta metodologia normalmente é utilizada quando se deseja maximizar ou minimizar uma determinada resposta, representando, portanto, uma tentativa de otimização (RODRIGUES, M.I., 2009).

A escolha dos parâmetros e das variáveis utilizadas para o processo foi realizada com base em estudos preliminares com farinhas de milho, arroz, ou feijão e a combinação entre essas matérias-primas.

Na Tabela 1 podem ser visualizados os níveis codificados (-1 , 0 , $+1$) quanto os axiais ($-\alpha$, $+\alpha$) e os fatores com seus valores reais. Já na Tabela 2 é apresentada a matriz dos ensaios gerada pelo Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) e os níveis codificados e reais (entre parênteses) das variáveis estudadas.

Tabela 1. Níveis das variáveis independentes a serem estudadas no processo de extrusão.

Variáveis	Níveis				
	$-\alpha=1,682$	-1	0	$+1$	$+\alpha=1,682$
X_1	126,36	140	160	180	193,64
X_2	106,40	120	140	160	173,60
X_3	15,96	18	21	24	26,04

X_1 = temperatura da 3ª zona do extrusor (°C)

X_2 = Rotação do parafuso (rpm)

X_3 = Umidade da amostra (%)

Tabela 2. Delineamento completo do desenho experimental.

Ensaio	X1	X2	X3	Temperatura °C (X1)	Rotação rpm (X2)	Umidade % (X3)
1	-1	-1	-1	140	120	18
2	+1	-1	-1	180	120	18
3	-1	+1	-1	140	160	18
4	+1	+1	-1	180	160	18
5	-1	-1	+1	140	120	24
6	+1	-1	+1	180	120	24
7	-1	+1	+1	140	160	24
8	+1	+1	+1	180	160	24
9	- α	0	0	126,36	140	21
10	+ α	0	0	193,64	140	21
11	0	- α	0	160	106,40	21
12	0	+ α	0	160	173,60	21
13	0	0	- α	160	140	15,96
14	0	0	+ α	160	140	26,04
15	0	0	0	160	140	21
16	0	0	0	160	140	21
17	0	0	0	160	140	21

X₁= Temperatura da 3° zona do extrusor (°C)

X₂= Rotação do parafuso (rpm)

X₃= Umidade da amostra (%)

$\pm \alpha = \pm 1,682$.

A análise do efeito das variáveis independentes sob o rendimento máximo do processo foi realizada por um modelo matemático representativo dos dados experimentais de segunda ordem, utilizando-se o software Statistica 6.0. A validação do modelo foi realizada pela análise de variância (ANOVA) e do valor do coeficiente de determinação (R²).

3.3.6 Condicionamento da matéria-prima

As amostras de matérias-primas foram condicionadas para os diferentes níveis de umidade conforme o delineamento experimental (Tabela 2). A quantidade de água potável a ser adicionada foi obtida de acordo com a equação 1:

$$Y = (U_f - U_i) \times Pa / 100 - U_f \quad (1)$$

Onde:

Y= quantidade de água a ser adicionada (g)

U_f= umidade final da amostra (%)

U_i= umidade inicial da amostra (%)

Pa= peso da amostra (g)

Determinou-se primeiramente a umidade inicial das misturas em Balança de determinação de umidade rápida por infravermelho da marca Shimadzu modelo Moisture Balance MOC-120-H e para tal pesou-se em torno de 2g de cada tratamento.

As amostras depois de condicionadas foram homogeneizadas e colocadas em sacos plásticos e armazenadas sob refrigeração durante tempo médio de 24 horas para se obter distribuição e absorção uniforme da água. Após este período, a farinha mista foi submetida ao processo de extrusão.

3.4 Processo de extrusão

3.4.1 Condições de processo

As farinhas mistas instantâneas pré-gelatinizadas pelo processo de extrusão termoplástica foram elaboradas na Planta Piloto IV (Cereais) da Embrapa Agroindústria de Alimentos no Rio de Janeiro. Para a elaboração dos extrudados utilizou-se um extrusor da marca Brabender, modelo 20DN, de parafuso único, cujos parâmetros constantes foram: taxa de compressão do parafuso: 3:1, taxa de alimentação: 2,5 kg/h e matriz de 3 mm de diâmetro. O extrusor possui três zonas de aquecimento no cilindro, controladas por termostato e um registrador de pressão na saída da matriz (Figura 3).

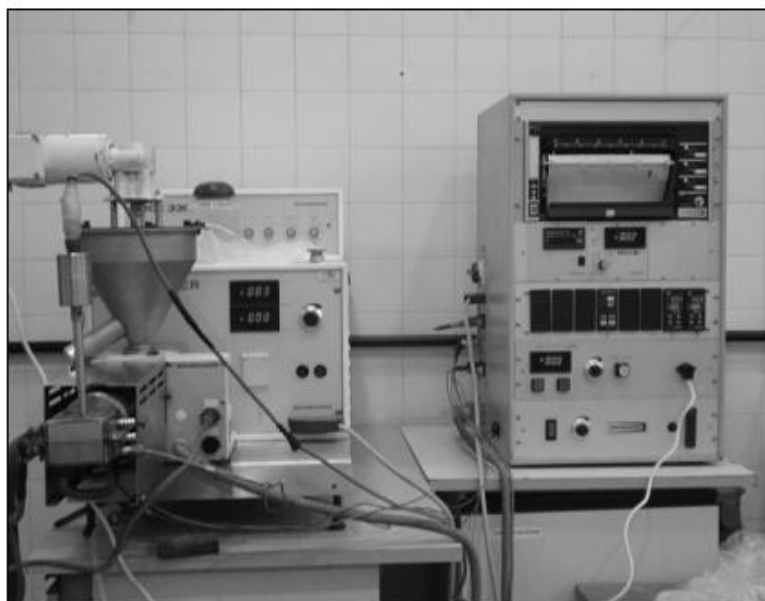


Figura 3. Extrusor monorrosca, marca Brabender, modelo DSE 20 DN (Duisburg, Alemanha).

As variáveis do processo foram umidade inicial da amostra, a temperatura da 3ª zona do extrusor e a rotação do parafuso de extrusão.

3.4.2 Extrusão

Após o condicionamento das matérias-primas iniciou-se o processo de extrusão. As atividades foram iniciadas quando as três zonas do parafuso (alimentação, transição e alta pressão) atingiram as temperaturas desejadas, além de a pressão estar estabilizada. Logo após, a primeira mistura (previamente condicionada de acordo com o delineamento) foi colocada no alimentador e o processo de extrusão iniciado. Após a saída do extrusor, os produtos extrudados foram recolhidos em bandejas para atividades posteriores.

Para caracterizar a vazão de saída das amostras da extrusora, os produtos foram coletados, durante um tempo de 30 segundos, no início e no fim do processo, além de anotados o peso do produto coletado e a pressão no momento da coleta, para posteriormente calcular a vazão do produto na extrusora pelo peso versus o tempo na pressão determinada.

Após a extrusão das amostras, estas foram levadas para a secagem de acordo com metodologia proposta por Silva (2007). As amostras referentes a cada tratamento foram dispostos em bandejas e encaminhados para estufa com circulação de ar a 60 °C durante 4 horas ou até atingirem umidade final entre 5 e 7%.

Ao sair da estufa os extrudados expandidos foram recolhidos em embalagens de polietileno até o momento do processo de moagem para obtenção da farinha e posteriores análises. Para tal, foram moídos em moinhos de disco, um com abertura de peneira equivalente a 1,0 mm, marca Laboratory Mill 3600, e outro com abertura de peneira de 0,8mm; marca Perten 3600 (1680 rpm), obtendo-se assim a farinha dos extrudados. Reservaram-se alguns extrudados inteiros para posterior análise física dos mesmos.

Todo o processo de extrusão das matérias-primas até o envase das farinhas pré-gelatinizadas está representados no fluxograma da Figura 4.

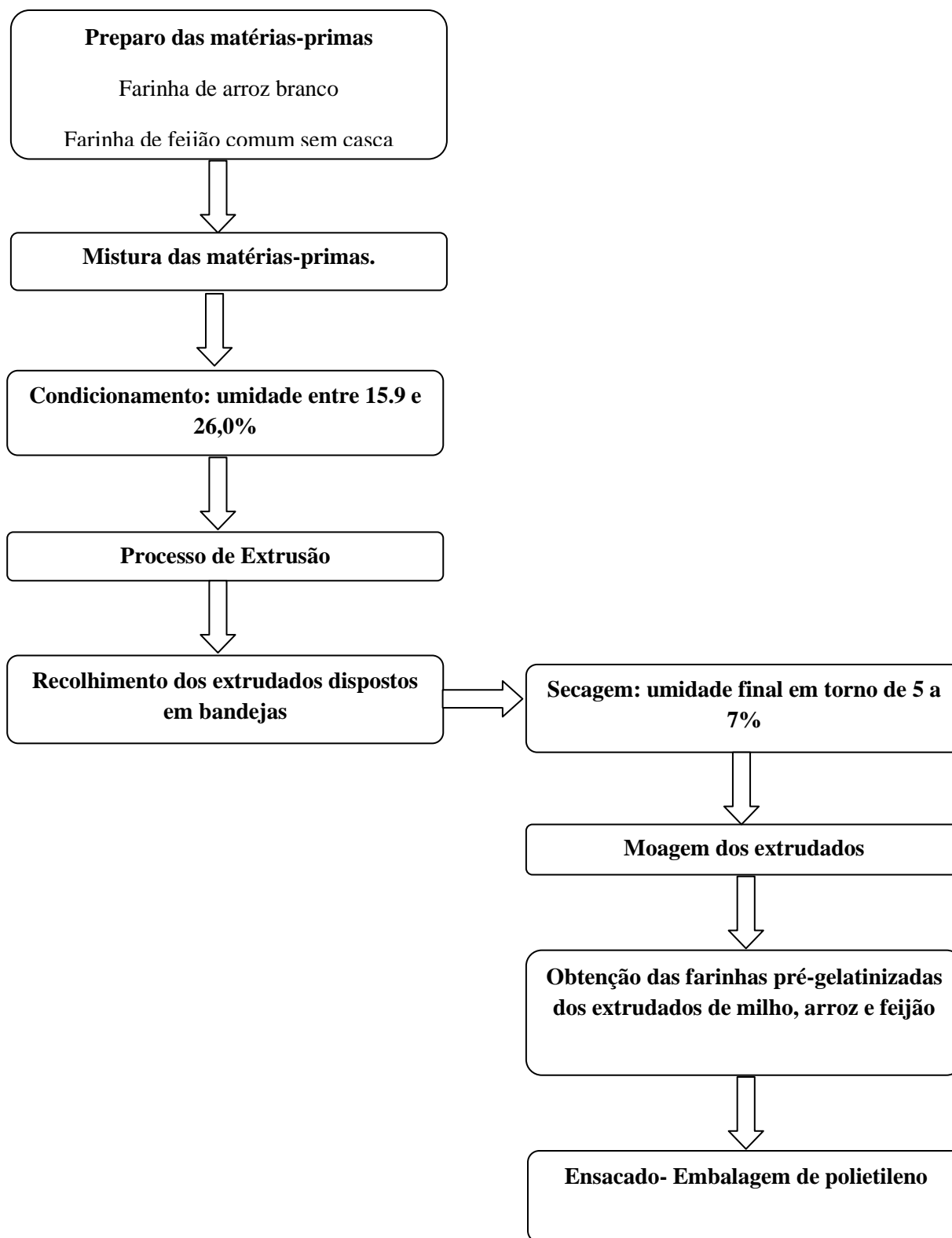


Figura 4. Fluxograma de obtenção das farinhas pré-gelatinizadas à base de arroz, feijão e milho.

3.5 Propriedades físicas dos extrudados de milho, arroz e feijão

3.5.1 Índice de expansão radial (IER)

O índice de expansão radial provavelmente é o teste de caracterização física mais importante dos produtos extrudados. Por meio deste índice, pode-se em primeira observação, prever quão drástico ou leve foi o processo de extrusão. Pelo índice de expansão pode-se verificar se determinada matéria-prima quando extrudada possui uma composição apropriada para a elaboração do produto final desejado. (ASCHERI, 2010)

Os índices de expansão radial (IER) foram calculados seguindo a metodologia descrita por Alvarez-Martinez et al. (1988) de acordo com a equação 2:

$$\text{IER} = [D / D_0]^2 \quad (2)$$

Onde:

D: diâmetro do extrudado após atingir a temperatura ambiente

D₀: diâmetro da matriz da extrusora (matriz radial pré-determinado – 3mm)

Para a determinação do diâmetro dos extrudados foi utilizado um paquímetro da marca Disma 6'' 150 mm (São Paulo, SP, Brasil). A medição foi realizada em três pontos distintos de cada extrudado e o diâmetro resultante da média destes pontos, num total de 10 repetições.

3.5.2 Densidade Aparente (ρ_e) dos extrudados expandidos

A densidade foi medida seguindo a metodologia descrita por Fane et. al. (1996), de acordo com a seguinte equação (3):

$$\text{Densidade } (\rho_e) = 4m / \pi D^2 L \quad (3)$$

Onde:

m: massa do extrudado (g)

L: comprimento do extrudado (cm)

D: diâmetro médio do extrudado (cm)

3.6.1 Propriedades funcionais dos extrudados de milho, arroz e feijão.

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

A determinação do ISA e IAA foi realizada conforme os princípios básicos do método descrito por Anderson et. al. (1969), modificado. Foram realizadas análises em quadruplicata, de todos os tratamentos, com o objetivo de verificar a absorção e a solubilidade em água do material extrudado. O IAA indica a quantidade de água absorvida pelos grânulos de amido de uma determinada amostra submetida a um tratamento térmico. O ISA indica a intensidade do tratamento térmico e a consequente desramificação da estrutura amilácea.

Para realização da análise foram pesados cerca de 1 g de amostra, de cada tratamento, em tubos de centrífuga, previamente tarados. Assim, adicionou-se 5mL de água destilada, e

homogeneizada a mistura. Em seguida foram adicionados mais 5mL (com auxílio de pipeta volumétrica) e os tubos agitados em agitador mecânico tipo Vortex que permite 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 por 15 minutos sob rotação de 3000 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 equação 4 para o cálculo do Índice de solubilidade em água (ISA):

$$ISA = \frac{\text{Peso do resíduo evaporado (g)}}{\text{Peso da amostra (g)}} \times 100 \quad (4)$$

Após a retirada do líquido sobrenadante os tubos de centrífuga foram pesados e assim, foi calculado o IAA, de acordo com a seguinte equação (5) adaptada por Hashimoto e Grossmann (2003):

$$IAA = \frac{\text{Peso do resíduo centrifugado (g)}}{\text{Peso da amostra (g)}} = \text{g gel/g matéria seca} \quad (5)$$

3.6.3 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 Termocline, através de metodologia específica (N.S., 1997), com adaptações.

Para a determinação do perfil viscoamilográfico das amostras extrudadas de arroz, feijão e milho, as mesmas foram moídas em moinho de disco e peneiradas no agitador de peneiras RO-TAP modelo RX-29-10. Segundo Becker e Mitchell (2001) a diferença do tamanho de partículas entre as amostras pode ocasionar 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 extrudada com umidade corrigida para 14% (em base úmida) foi adicionada de água destilada até peso final de 28 g (ASCHERI et. al., 2006).

Utilizou-se o perfil de análise “extrusion 3”, caracterizado da seguinte maneira: inicialmente o sistema foi mantido a 25°C durante 2 minutos. O aquecimento acontece logo em seguida e atinge a temperatura máxima (95°C) aos 7 minutos, onde permanece durante 3 minutos. Logo após, é iniciado o resfriamento até a temperatura de 25°C novamente, totalizando de 20 minutos de análise.

Para a interpretação dos amilogramas, foram utilizados os seguintes parâmetros:

- Temperatura da viscosidade máxima: é a temperatura ($^{\circ}\text{C}$), calculada com base no tempo de funcionamento do viscoamilógrafo, correspondente ao ponto mais alto da curva do amilograma durante o ciclo de aquecimento;
- Viscosidade inicial (ou viscosidade a frio): é o valor da viscosidade em cP (Centipoise), nos primeiros 5 minutos de aquecimento com o sistema em agitação de 160rpm;
- Viscosidade máxima: é o valor da viscosidade no ponto máximo da curva, obtido durante o ciclo de aquecimento, expresso em cP e calculado como máximo valor de temperatura a 95°C .
- Viscosidade mínima de pasta: menor valor após o pico de viscosidade.
- Quebra de viscosidade (QV) ou “Breakdown”: é a diferença entre a viscosidade máxima e mínima;
- Viscosidade final no ciclo de resfriamento (25°C): é o valor da viscosidade em cP, ao final da análise (a 25°C).
- Tendência à retrogradação (TR) ou “Setback”: é a diferença entre a viscosidade final e o menor valor de viscosidade após o pico de viscosidade.

O grau de cozimento do amido pode ser definido como uma continuidade de eventos, incluindo-se a perda da cristalinidade que é seguida pela perda da integridade dos grânulos e despolimerização dos polissacarídeos (amiloze e amilopectina).

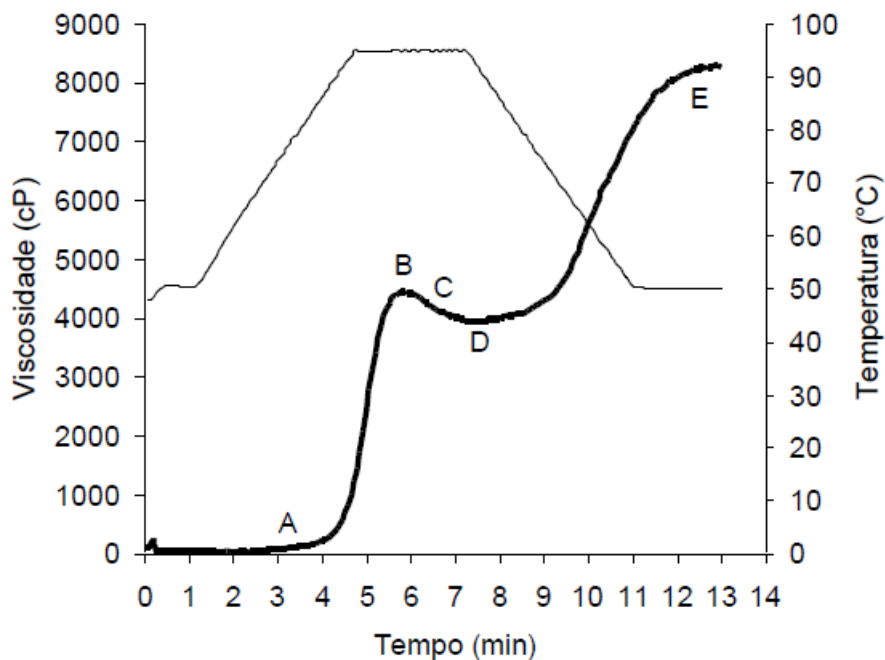


Figura 5: Amilograma obtido com amido de arroz a 12% (p/v) no RVA (CARVALHO, ASCHERI e TAKEITI, 2011).

Onde o ponto A reflete a viscosidade inicial de gelatinização e o ponto B a viscosidade máxima, com o amido na sua forma de pasta viscoelástica. A variação da viscosidade da pasta, quando esta é continuamente agitada a temperatura constante de 95°C é representada pelas letras

C-D e indica a resistência dos grânulos inchados à agitação mecânica. Enquanto o aumento da viscosidade com o resfriamento, representado pelas letras *D* e *E*, indica o fenômeno, denominado retrogradação, onde acontece a reaproximação das moléculas de amilose e a perda da propriedade de absorção de água, mas há a formação de um gel resistente.

3.6.4 Reconstituição e comportamento das farinhas

Para determinar o tempo de reconstituição das farinhas, foi utilizada a técnica descrita por Silva (2010).

De cada amostra, 10 g foram derramados em 50 ml de água destilada em um Becker de 250 ml à temperatura ambiente (aproximadamente 30 °C) e agitada continuamente. O tempo necessário para se desintegrar e solubilizar completamente as amostras foi monitorado por meio de um cronômetro e descrito como sendo o tempo de reconstituição (OMOBUWAJO et. al., 2000). As amostras foram verificadas novamente após 30 minutos de repouso, a fim de observar possíveis transformações como a separação de fases.

3.7 Análise de cor

A determinação da cor foi realizada com o emprego do espectrofotômetro Collor Quest XE (HunterLab) usando Sistema CIELAB, utilizando-se do espaço de cor $L^*a^*b^*$, C^* , onde L^* indica luminosidade, a^* a intensidade de cor vermelha e b^* a intensidade de cor amarela e C^* intensidade de cor (Chroma).

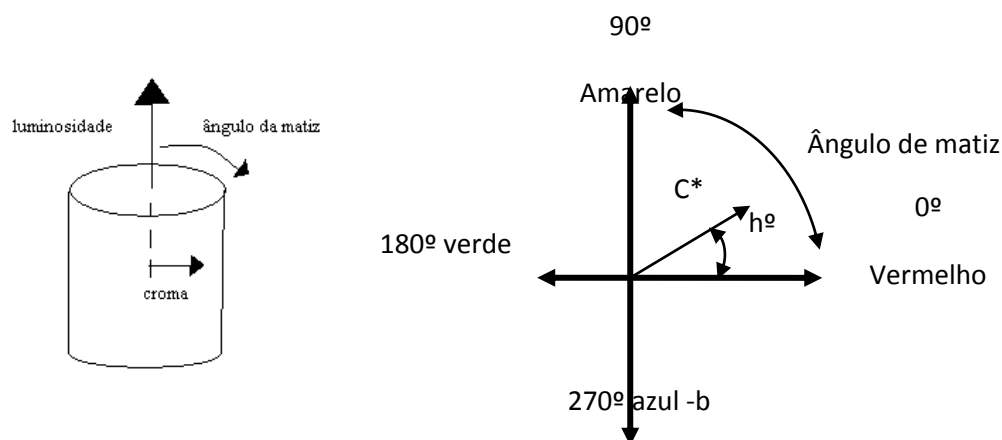


Figura 6: Diagrama de representação do espaço de cores CIELAB: disposição tridimensional, mostrando as coordenadas L^* , C^* e H° (ângulo hue, não analisado neste trabalho) (A) e disposição bidimensional, mostrando as coordenadas C^* e h° (B).

Nas farinhas de milho, arroz branco polido, feijão comum BSR Pontal sem casca e na mistura das matérias-primas e nos tratamentos T3, T4, T5, T8 e T10 referentes às farinhas mistas

extrudadas elaboradas no presente estudo, foram realizadas quatro repetições para cada amostra disposta em placa de Petri com 5 cm de diâmetro e 2 cm de altura.

Para a realização da análise de cor os foram utilizados os moídos extrudados expandidos dos tratamentos acima moídos em granulometria abaixo de 106 μ m.

Os parâmetros de cor medidos em relação à placa branca ($L = 90,20$; $a = -2,34$; $b = 1,38$) foram luminosidade, cromaticidade a e cromaticidade b .

Os limites de cada um desses parâmetros foram os seguintes:

- _ L = luminosidade (0 = preto e 100 = branco);
- _ a = (-80 até zero = verde, do zero ao +100 = vermelho);
- _ b = (-100 até zero = azul, do zero ao +70 = amarelo).

3.8 Caracterização química das matérias-primas e das farinhas mistas extrudadas de milho, arroz e feijão.

3.8.1 Composição centesimal

Foram realizadas análises da composição centesimal das matérias-primas e das farinhas pré-gelatinizadas dos tratamentos 3, 4, 5, 8 e 10, considerados como melhores. As análises realizadas foram:

- umidade (AOAC, 2005, método 934.01);
- extrato etéreo (AOAC, 2000, método 945.38), utilizando éter de petróleo e extrator Soxhlet.
- nitrogênio total (AACC, 1995, método 46-13), pelo método tradicional Kjeldahl, modificado, utilizando mistura de catalisador Na_2SO_4 , CuSO_4 . Como titulante foi utilizado H_2SO_4 , na concentração de 0,1N;
- cinzas (AOAC, 2000, método 923.03), com incineração em mufla;
- fibra bruta, conforme Silva e Queiroz (2005).

3.8.2 Análise do perfil de minerais

A quantificação dos minerais foi realizada em espectrofotômetro de emissão de plasma ICP *Spectroflama flame*, de acordo com a metodologia da AOAC (2005) – método 990.08, item 9.2.39. Amostras de feijão *in natura* com casca e amostras de feijão descascado, arroz polido e grits de milho foram processadas em moinho de bolas (RETSCH model MM200, Retsch GmbH & Co. KG, Haan, Germany) e também foram analisadas as farinhas mistas extrudadas referente aos tratamentos T3, T4, T5, T8, T10. Tanto a determinação quanto a quantificação dos minerais cálcio, ferro, magnésio, manganês, potássio, zinco e cobre, foram realizadas através da digestão do material com ácido nítrico e ácido perclórico ($\text{HNO}_3:\text{HClO}_4$) em bloco digestor (método 975.03, item 3.2.05).

3.8.3 Composição de aminoácidos

Foram realizadas as determinações de aminoácidos nas matérias-primas arroz, milho e feijão de acordo com a metodologia da AOAC (2005), método 994.12, sendo a quantificação dos aminoácidos realizada em cromatógrafo líquido de alta eficiência (CLAE), modelo Alliance, marca Waters 2695, com detector de fluorescência modelo Alliance, Waters 2475.

Foram realizadas as determinações de asparagina, glutamina, serina, histidina, glicina, treonina, alanina, arginina, valina, isoleucina, leucina, lisina e prolina, assim como os aminoácidos sulfurados fenilalanina + tirosina e metionina + cisteína, de acordo com a metodologia da AOAC (2005), método 994.12.

Com base nos teores de aminoácidos, foi calculado o escore dos aminoácidos essenciais (EAAE), tomando-se como referência o padrão recomendado pela FAO/WHO para crianças de 2 a 5 anos, de 10 a 12 anos e adultos (1998). O cálculo do escore e a interpretação dos resultados estão de acordo com a metodologia de Pires et. al. (2006), descritos na equação 6 descrita abaixo:

$$\text{EAAE} = \frac{\text{mg de aminoácido por g de proteína teste}}{\text{mg de aminoácido por g de proteína padrão da FAO (1998)}} \quad (6)$$

3.9 Análise Estatística

Para os resultados de composição centesimal, perfil de minerais e de aminoácidos e para as variáveis resposta que não geraram modelo preditivo e nem tendência, isto é, quando o valor do coeficiente de determinação (R²) foi inferior a 0,70, os resultados foram analisados através de comparação de médias analisadas pelo teste de Tukey (GOMES, 2000), utilizando o programa Xlstat, versão 2011.5.01.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Classificação granulométrica das matérias-primas

O tamanho de partícula de maior incidência dentre os materiais farináceos derivados das amostras de feijão carioca, arroz branco polido, grits de milho e a farinha mista de arroz, milho e feijão foi de 850 μm . O grits de milho apresentou o maior percentual nessa granulometria (45,75%), mostrando-se bastante homogêneo, enquanto que as outras matérias-primas apresentaram características mais heterogêneas quanto o tamanho de partícula, com frações retidas em todas as peneiras.

A farinha de feijão, por sua heterogeneidade, ficou retida na peneira Fundo, em parcela significativa quando comparado às outras amostras. Isso mostra a presença de partículas menores que 300 μm nesta matéria-prima o que pode ser justificado pelo processo de moagem realizado que resultou em partículas com diferentes granulometrias, ou até mesmo pela estrutura do grão que levou a um comportamento diferente.

O processo de moagem inadequado contribui para maior número de partículas heterogêneas nas farinhas, comprometendo a qualidade final dos produtos elaborados (LINDEN e LORIENT, 1994).

De acordo com Sachei (2010), a importância na uniformidade das partículas também está relacionada com a uniformidade no condicionamento das mesmas. Isso porque partículas e ingredientes diferentes possuem proporções ou taxas de absorção de água diferentes. A taxa de umidificação de cada partícula está relacionada com os princípios da difusividade da água. Portanto tempo, temperatura, umidade disponível, tamanho de partícula, afetam este parâmetro.

Porém, através do delineamento realizado neste estudo permitiu a manutenção da concentração da farinha de feijão que se apresentou mais heterogênea. Logo, essa variável, granulometria, não pode ser considerada justificativa para diferentes possíveis resultados de características funcionais dos extrudados.

A figura 7 mostra a classificação granulométrica das matérias-primas e das farinha mista formulada a partir das matérias primas nas concentrações pré-determinadas no delineamento. A farinha mista apresentou tamanhos de partícula bastante heterogêneos, mas com os maiores percentuais nas faixas 710 a 1180 μm . Alguns autores relatam que a granulometria própria para obter-se *snacks* com textura crocante seria a de *grits* na faixa entre 1000 e 710 μm , similar a farinha mista utilizada neste estudo. Uma granulometria uniforme de todos os ingredientes garante hidratação adequada e cozimento uniforme durante o processo de extrusão, assim, impedindo partículas duras, partículas parcialmente cozidas no produto final (CARVALHO, C.W.P., ASCHERI, J.L.R., TAKEITI, C. Y 2011). Uma desuniformidade na granulometria, com tamanhos de partículas muito superiores pode levar à deformidade na aparência no produto final, devido também ao cozimento inadequado de determinadas partículas e levando à baixa palatabilidade e rejeição dos produtos.

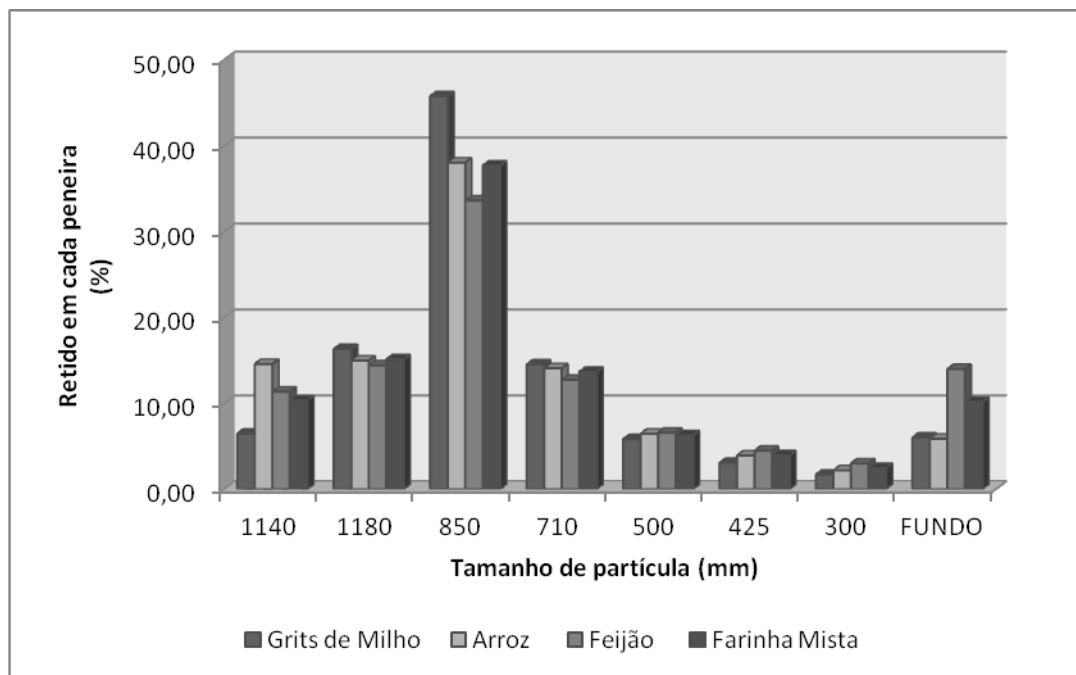


Figura 7: Classificação granulométrica do feijão BRS Pontal, do *grits* de milho, do arroz branco polido variedade Chorinho e da farinha mista.

4.2 Propriedades físicas dos extrudados de milho, arroz e feijão.

4.2.1 Índice de expansão radial (IER)

Os valores de Índice de expansão radial para os extrudados obtidos variaram de 1,34 a 6,87, como demonstrado na Tabela 3, sendo esse o maior valor encontrado no tratamento 3 elaborado com 140°C na terceira zona do extrusor, 160rpm de rotação do parafuso e 18% de umidade, seguido do tratamento 4 com as mesmas condições de rotação e umidade, mas com maior valor de temperatura, 180°C, cujo índice de expansão radial foi de 6,78.

Esses resultados diferem dos encontrados por Lopes (2010), que, avaliando extrudados de bandinha de feijão, encontrou valores entre 1,35 a 1,61, e também superior a resultados encontrados por Ruiz-Ruiz et al. (2009) em torno de 1,94 a 2,10, que trabalharam com farinha mista de milho e feijão para extrudados expandidos. Vale ressaltar que a técnica utilizada pelos autores citados acima foi diferente da utilizada neste trabalho, já que os mesmos não avaliaram a relação dos diâmetros ao quadrado, como realizado neste estudo. Aplicando a fórmula proposta por outros estudos e fazendo o cálculo apenas com a relação dos diâmetros, encontra-se valores de índice de expansão radial de 1,16 a 2,62 demonstrando uma maior semelhança com os estudos analisados, mesmo que ainda tenha obtido resultados superiores. Por outro lado, essas diferenças podem ser explicadas devido a aplicação de taxas de cisalhamento diferentes que podem provocar diferenças na configuração do parafuso entre um e outro extrusor mesmo ao se trabalhar com a mesma umidade ou temperatura.

Silva & Ascheri (2009) trabalharam com extrudados de quirera de arroz e também encontraram valores maiores de IE quando a umidade foi de 16 e 15% e a temperatura da terceira zona do canhão extrusor foi 140 a 160°C. Constataram que em amostras extrudadas com elevado

teor de umidade, o gel tende a ser mais elástico, formando uma matriz de pequenas células uniformes. No caso de baixa umidade do alimento, a matriz formada durante a extrusão apresenta células maiores e pouco uniformes, pois o gel formado é pouco elástico.

A presença de fibras e proteína diminui a capacidade de expansão dos grânulos de amido uma vez que estes componentes reagem com o amido e impossibilitam a consequente evaporação da água presente no grânulo (ANTON, FULCHER, ARNTFIELD, 2009). Era de se esperar que extrudados expandidos com elevado percentual de proteína e fibra, proveniente, por exemplo, da farinha de feijão, tivessem valores de IE menores do que expandidos elaborados com outros produtos amiláceos.

Tabela 3: Índice de expansão radial (IER) e Densidade Aparente (DA) dos extrudados expandidos contendo milho, arroz branco polido e feijão carioca, com os valores codificados e os valores reais do desenho experimental.

Amostras	X1	X2	X3	X1	X2	X3	IER	DA
1	-1	-1	-1	140	120	18	5,375	0,281
2	1	-1	-1	180	120	18	4,194	0,267
3	-1	-1	-1	140	160	18	6,864	0,181
4	1	-1	-1	180	160	18	6,784	0,149
5	-1	1	1	140	120	24	2,731	0,393
6	1	1	1	180	120	24	1,341	0,506
7	-1	1	1	140	160	24	4,382	0,392
8	1	1	1	180	160	24	1,797	0,393
9	-1,682	0	0	126	140	21	4,122	0,391
10	+ 1,682	0	0	193	140	21	1,855	0,400
11	0	-1,682	0	160	106	21	4,253	0,347
12	0	+ 1,682	0	160	173	21	4,814	0,276
13	0	0	-1,682	160	140	16	6,183	0,249
14	0	0	+ 1,682	160	140	26	2,751	0,345
15	0	0	0	160	140	21	4,623	0,293
16	0	0	0	160	140	21	4,304	0,292
17	0	0	0	160	140	21	4,823	0,342

X1: Temperatura da 3ª zona (°C);
IER: Índice de expansão radial;

X2: Rotação do parafuso (RPM);
DA: Densidade Aparente

X3: Umidade (%);

Em trabalho realizado por Silva (2010), com extrudados obtidos a partir de farinha de feijão BRS Pontal e farinha de milho foram encontrados valores de IER superiores, com a utilização de um extrusor que permitiu elevados valores de rotação do parafuso, e também com menores valores de umidade (até 13%), o que favorece muito o processo de expansão do produto final.

Esta variável resposta está relacionada com a capacidade da estrutura do expandido de manter a integridade das células no material fundido ao sair da matriz do extrusor, sendo que em elevadas temperaturas ocorre grande redução da viscosidade do produto amiláceo, por causa da

desintegração do amido, propiciando a perda do vapor de água retido na estrutura, ocasionando colapso das células de ar e consequentemente diminuindo o IER.

Através dos resultados obtidos foram calculados os coeficientes de regressão apresentados na Tabela 4. Com esses dados pode-se verificar que para o IER foram significativos os termos lineares da temperatura a 99% ($p < 0,10$) de confiança e da umidade a 99,9% de confiança ($p < 0,001$), mostrando uma significância elevada dessas variáveis independentes a variável resposta em questão, a rotação apresentou significância a 95% de confiança ($p < 0,05$), e o termo quadrático da temperatura a 95% de confiança.

Tabela 4: Coeficiente de regressão e desvio padrão da variável resposta Índice de expansão radial (IER) em função da variação da temperatura da 3ª zona do extrusor (°C), da umidade inicial (%) e da rotação do parafuso (rpm).

	Coeficiente de Regressão	Erro Padrão	t(7)	p-valor
Média/Intercepto*	4,569	0,400	11,429	0,000009***
(1) Temperatura (L)*	-0,663	0,188	-3,529	0,009609**
Temperatura(Q)*	-0,514	0,207	-2,489	0,041632*
(2) Rotação (L)*	0,522	0,188	2,781	0,027276*
Rotação (Q)	0,032	0,207	0,154	0,882093 ^{ns}
(3) Umidade (L)*	-1,372	0,188	-7,308	0,000162***
Umidade (Q)	0,008	0,207	0,040	0,969172 ^{ns}
1L by 2L	-0,012	0,245	-0,048	0,963133 ^{ns}
1L by 3L	-0,339	0,245	-1,383	0,209163 ^{ns}
2L by 3L	-0,247	0,245	-1,005	0,348407 ^{ns}
R² = 0,92305				

L= efeito linear;

Q=efeito quadrático;

ns: valores não significativos

*: significativo ao nível de 5% de probabilidade.

**: significativo a 1% de probabilidade

***: significativo a 0,1% de probabilidade

Nota-se que a temperatura na 3ª zona do extrusor apresentou efeito tanto o quadrático quanto o linear, significativos, com p-valor menor que 0,05 (95% de confiança). Observa-se também que o efeito estimado foi negativo, ou seja, a medida que aumenta a temperatura do processo diminui a expansão do produto. O decréscimo da expansão a temperaturas maiores pode ser atribuído ao processo de dextrinização excessivo da amostra e ao enfraquecimento da estrutura do amido (ASCHERI, 2009). O mesmo efeito negativo foi verificado para umidade, pois quanto menor a umidade da mistura antes da extrusão, maior é a expansão do produto final. Isso é comprovado quando se observam os dados da Tabela 3 de valores reais, onde os maiores valores de Índice de expansão radial, foram encontrados em tratamentos com valores inferiores a 18% de umidade.

A rotação do parafuso do canhão da extrusora apresentou efeito apenas linear sobre a resposta, mas significativamente positivo sobre a variável resposta em questão. Estudos demonstraram que quanto maior a rotação do parafuso durante o processo de extrusão, maior a expansão do produto final, até um ponto determinado quando ocorre o decréscimo pela formação de dextrinas.

Tabela 5: Análise de variância simplificada da variável resposta Índice de expansão radial (IER).

ANOVA SIMPLIFICADA					
Fonte de variação	SQ	GL	QM	F calculado	F Tabelado
Regressão	38,997	4	9,749	24,426	3,259
Resíduos	1,420	5	0,399		
Falta de Ajuste	3,232	5			
Erro Puro	0,137	2			
Total	43,786	16			

Porcentagem de variação explicada (R^2) = 92,3; **SQ**: Soma dos quadrados; **GL**: Graus de Liberdade; **QM**: Quadrados médios.

Com a observação dos coeficientes e do R^2 de 0,92305 (considerado elevado) e análise de variância que mostrou um F calculado maior que F Tabelado, considera-se o modelo preditivo e pode-se gerar a equação do modelo. A partir desse resultado compreende-se o efeito das variáveis independentes sobre a variável resposta índice de expansão radial e com isso pode-se gerar as superfícies de resposta, a partir da equação 7, representadas nas figuras 8 e 9, a fim de otimizar o processo de extrusão e encontrar as melhores condições para os resultados esperados.

$$\text{IER} = 4,569 - 0,663.T - 0,514.T^2 + 0,522.R - 1,372.U \quad (\text{equação 7}):$$

Onde,

T= Temperatura (°C)

R=Rotação do parafuso (RPM)

U= Umidade (%)

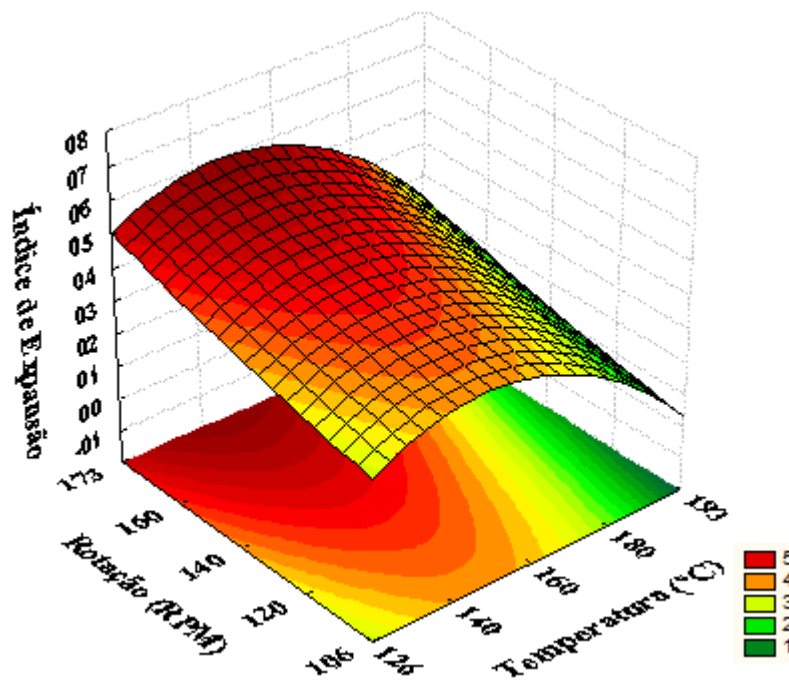


Figura 8: Efeito das variáveis independentes temperatura da 3ª zona do extrusor (°C) e rotação do parafuso (rpm) sobre o índice de expansão radial dos extrudados expandidos de arroz, feijão e milho.

A figura 8 confirma o mencionado anteriormente de que todas as faixas de rotação utilizadas apresentam valores considerados bons para o IER, sendo os melhores resultados quando se utilizaram maiores valores de rotação. A variável resposta temperatura apresentou efeito significativo sobre a expansão, sendo os melhores resultados para o IER encontrados com valores de temperatura abaixo do ponto central.

Os autores Chang & El-Dash (2003), que trabalharam com extrudados de farinha de mandioca encontraram resultados semelhantes onde a temperatura e a umidade apresentaram efeito negativo sobre a expansão, onde a combinação de elevada umidade e elevada temperatura resultaram em baixos valores de expansão do produto. Segundo os autores, a expansão está relacionada ao grau de gelatinização do amido. Baixos conteúdos de umidade no material podem restringir o fluxo do mesmo dentro do extrusor, aumentando o cisalhamento e o tempo de residência, o que poderia provocar o incremento do grau de gelatinização.

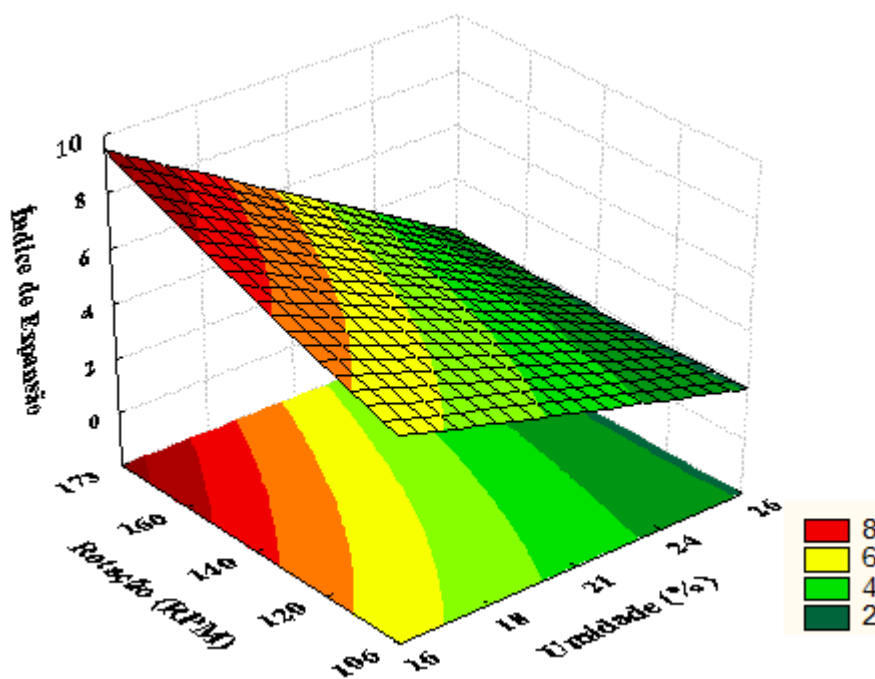


Figura 9: Efeito das variáveis independentes rotação do parafuso (rpm) e umidade inicial (%) sobre o índice de expansão radial dos extrudados expandidos de arroz, feijão e milho.

Analisando os gráficos das figuras 8 e 9, verifica-se que os melhores resultados de expansão do extrudados de arroz, feijão e milho são encontrados quando se utiliza os maiores valores de rotação de parafuso, acima de 160 rpm; valores médios de temperatura entre 140 e 180°C e os menores valores de umidade, inferior a 18%.

A medida que aumenta a temperatura do processo, ocorre uma diminuição da expansão do produto. Como foi estimado anteriormente e comprovado com a análise da superfície de resposta, temperaturas muito elevadas de extrusão, como por exemplo, a 193°C (maior nível de temperatura desse estudo) provocam uma diminuição expressiva da expansão do produto o que pode ser atribuído a um processo de dextrinização excessivo da amostra e ao enfraquecimento da estrutura do amido. Como o objetivo desse tratamento estatístico é otimizar o processo de extrusão, valores mais baixos de temperatura, partindo dos valores centrais para valores inferiores, também forneceram melhores valores de Índice de expansão radial.

Chang & El-Dash (2003), verificaram que os maiores valores de expansão foram em teores de umidade mais baixos (<18%) e temperaturas de barril (125-155°C), enquanto os menores valores de expansão foram para os maiores teores de umidade e temperaturas de barril.

Autores como Dogan & Karwe (2003); Ilo et al. (1996), sugeriram a existência de uma faixa de temperatura considerada comum e mais adequada para a expansão, entre 150 e 170°C, dependendo do tipo de material de alimento. O declínio da expansão a temperaturas elevadas pode ser causado por um colapso excessivo da estrutura e degradação do amido por ação de elevadas temperaturas, o que enfraqueceu a estrutura do extrudado. Por outro lado, também pode ser resultado de uma maior expansão axial ou longitudinal.

O trabalho elaborado por Meng et al. (2010), com snacks a base de grão de bico também verificou que o aumento da velocidade do parafuso aumentou os índices de expansão dos produtos. Igualmente, como Ding et al. (2005) que encontraram valores elevados de IE em extrudados a base de arroz, a medida que houve aumento da rotação do parafuso.

O aumento da rotação do parafuso, que por sua vez está diretamente relacionado com o aumento da energia mecânica específica do sistema, está intimamente relacionado com a quebra molecular do amido (ASCHERI, ASCHERI & CARVALHO, 2006). Chinnaswamy e Hanna (1988) observaram que, quando o amido de milho extrudado a temperatura e umidade constantes, o índice de expansão radial aumenta com o incremento da velocidade do parafuso.

A relação proporcional do aumento da rotação do parafuso, com o aumento do IER, pode ser justificada pela redução do peso molecular do amido que foi quebrado e fundido no processo de extrusão o que favoreceu para a manutenção das células no interior do polímero, aumentando a porosidade e a expansão da estrutura final das farinhas mistas extrudadas. Por outro lado, uma elevada quebra molecular pela ação da energia mecânica pode reduzir a expansão final do extrudado (ASCHERI, ASCHERI & CARVALHO, 2006) que neste caso não foi suficientemente grande para reduzir o IE.

O tamanho das partículas da mistura a ser extrudada também aponta como um fator importante na expansão do produto, principalmente quando se utiliza extrusores de rosca única, como no caso desse estudo. Como visto anteriormente a farinha mista utilizada no processo de extrusão apresentava-se heterogênea, o que pode justificar as variações nos resultados de expansão se esse processo não é realizado corretamente. A uniformidade no tamanho das partículas dos ingredientes permite que estas sejam adequada e uniformemente cozidas no processo de extrusão, prevenindo dureza, ou cozimento parcial no produto final. Se o tamanho das partículas da matéria-prima é muito variado, o produto final pode conter partículas indesejáveis com diferentes graus de cocção, o qual diminui a qualidade tanto na aparência como na palatabilidade do produto, o que também pode influenciar na expansão do produto final (ASCHERI, 2009).

Durante o processo, partículas pequenas são rapidamente fundidas, e a massa resultante, de viscosidade baixa, não é transportada apropriadamente, gerando extrudados de baixa expansão. Com a redução da umidade da mistura esse problema pode ser solucionado, por isso foram verificados valores maiores de expansão para menores teores de umidade, quando se utilizou arroz, feijão e milho para extrusão.

Os resultados para IER encontrados das farinhas mista de arroz, feijão e milho, confirmam a teoria de que, geralmente, o índice de expansão radial aumenta à medida que o conteúdo de umidade decresce e a rotação da rosca aumenta.

4.2.2 Densidade aparente (DA)

O menor valor de densidade aparente dos extrudados de arroz, feijão e milho foi encontrado na amostra do tratamento 4 (0,149) elaborado a 180°C, 160 rpm e 18% de umidade, seguido da amostra do tratamento 3 (0,181) elaborado a 140°C, 160rpm e 18%, mostrando a influência significativa da variável umidade, e a relação com o índice de expansão radial, já que esses tratamentos foram os que apresentaram elevados valores de IER.

Sabe-se que a densidade aparente é inversamente proporcional ao índice de expansão radial, já que a expansão corresponde à formação de células no extrudado ao sair pela matriz e

que diminui o peso do produto. Logo, extrudados com elevados índices de expansão radial tendem a apresentar menor densidade aparente.

Através da análise dos coeficientes de regressão podemos verificar a estimativa do modelo para a resposta qualitativa.

Tabela 6: Coeficiente de regressão e desvio padrão da variável resposta Densidade Aparente (DA) em função da variação de temperatura da 3ª zona do extrusor (°C), da umidade inicial (%) e da rotação do parafuso (rpm).

	Coeficiente de Regressão	Desvio Padrão	t(7)	p-valor
Média/Intercepto*	0,310	0,033	9,527	0,000029***
(1)Temperatura(L)	0,006	0,015	0,398	0,702246 ^{ns}
Temperatura(Q)	0,027	0,017	1,607	0,151993 ^{ns}
(2)Rotação (L)	-0,033	0,015	-2,163	0,067316 ^{ns}
Rotação (Q)	-0,003	0,017	-0,158	0,878831 ^{ns}
(3)Umidade (L)*	0,071	0,015	4,636	0,002382*
Umidade (Q)	-0,008	0,017	-0,463	0,657493 ^{ns}
1L by 2L	-0,016	0,020	-0,814	0,442520 ^{ns}
1L by 3L	0,020	0,020	1,002	0,349856 ^{ns}
2L by 3L	0,013	0,020	0,651	0,535765 ^{ns}
R² = 0,8213				

L= efeito linear;

Q=efeito quadrático;

ns: valores não significativos

*: significativo ao nível de 5% de probabilidade.

**: significativo a 1% de probabilidade

***: significativo a 1% de probabilidade

Através da análise da regressão, observa-se que apenas a umidade apresentou efeito significativo sobre a densidade aparente. Esse efeito foi positivo, ou seja, com o aumento do percentual de umidade da amostra, aumentou-se a densidade aparente e consequentemente diminuiu a expansão do extrudado. Estima-se também um efeito positivo sobre a temperatura, já que os maiores valores de densidade foram encontrados em tratamentos elaborados com elevados graus de temperatura da 3ª zona do extrusor. Já a rotação apresenta um efeito negativo, diminuindo a densidade, a medida que se eleva a velocidade do parafuso.

Observando o R² de 0,8213 e a análise de variância que mostrou um F calculado maior que F Tabelado, considera-se o modelo preditivo e pode-se gerar a equação do modelo e plotar o gráfico de superfície de resposta para otimização dos resultados de Densidade aparente para extrudados de milho, arroz e feijão.

Tabela 7: Análise de variância simplificada da variável resposta Densidade Aparente (DA).

ANOVA SIMPLIFICADA					
Fonte de variação	SQ	GL	QM	F calculado	F Tabelado
Regressão	0,071	1	0,071	20,074	4,543
Resíduos	0,031	8	0,004		
Falta de Ajuste	0,021	5			
Erro Puro	0,002	2			
Total	0,125	16			

Porcentagem de variação explicada (R^2) = 82,13; **SQ**: Soma dos quadrados; **GL**: Graus de Liberdade; **QM**: Quadrados médios.

A equação a seguir descreve o rendimento previsto pelo modelo para a densidade aparente (DA) em função das variáveis codificadas e contém apenas os termos estatisticamente significativos.

$$DA = 0,310 + 0,070.U$$

(equação 8)

Onde,

U= umidade inicial (%)

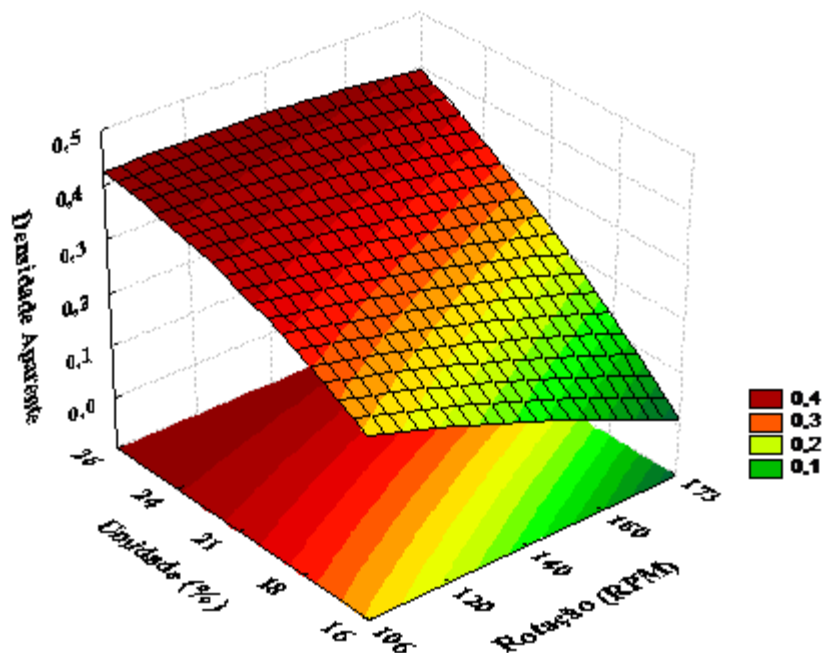


Figura 10: Efeito das variáveis independentes rotação do parafuso (rpm) e umidade inicial (%) sobre a densidade aparente dos extrudados expandidos de milho, arroz, e feijão.

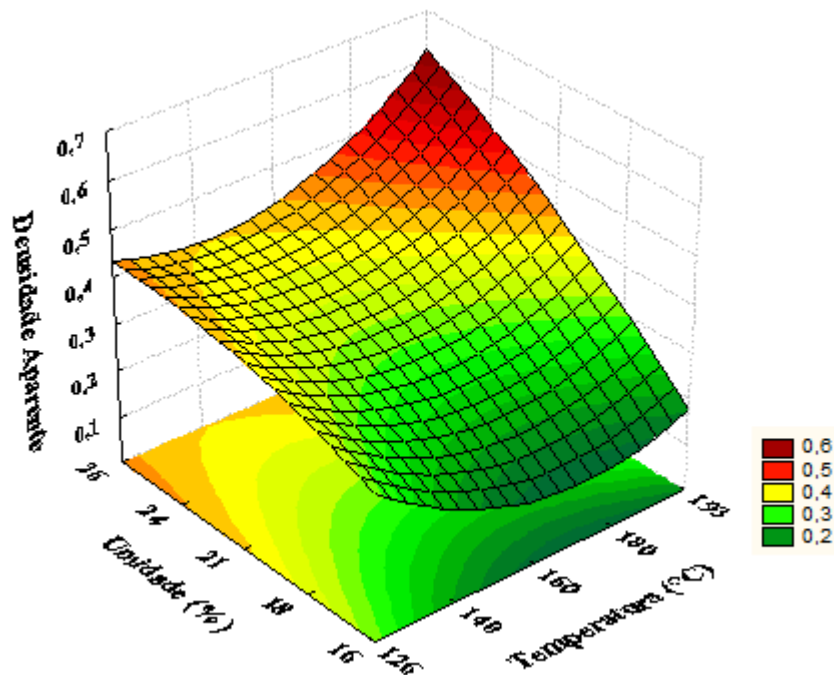


Figura 11: Efeito das variáveis independentes temperatura da 3ª zona (°C) e umidade inicial (%) sobre a densidade aparente dos extrudados expandidos de milho, arroz e feijão.








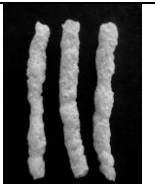
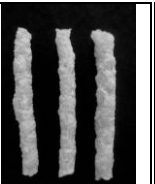





Observa-se que à medida que aumenta a umidade da mistura, aumenta-se a densidade do produto. Em conjunto com a temperatura, onde o aumento da mesma leva a uma densidade maior dos extrudados expandidos.

A rotação do parafuso não apresentou efeito significativo sobre a densidade, de acordo com a metodologia aplicada. Analisando-se a Tabela 3 verifica-se que um aumento da rotação pode levar a uma diminuição da densidade do extrudado, o mesmo encontrado para extrudados de trigo em trabalho realizado por Q.-B. Ding et al. (2006). Velocidades mais elevadas do parafuso podem ser esperadas para diminuir a viscosidade de fusão da mistura aumentando a elasticidade da massa, resultando em uma redução na densidade do extrudado.

A densidade aparente é uma medida importante no desenvolvimento de snacks em escala industrial. Por meio da verificação do peso e volume dos extrudados pode-se planejar, por exemplo, o tamanho de embalagens, o tipo de material a ser utilizado na confecção das mesmas, o espaço ocupado pelo produto dentro de cada lote a ser encaminhado para o transporte, entre outros (SILVA, 2010).

4.3 Caracterização Visual dos Extrudados

No quadro 1 são apresentados os produtos expandidos correspondentes aos diferentes tratamentos realizados neste estudo. Nas fotografias dos expandidos das diferentes misturas, podem ser observados os graus de expansão adquiridos e estabelecer critérios apenas visuais. Para cada tratamento o produto poderia ser indicado para um determinado uso, segundo o grau de gelatinização e/ou cocção ocorrido por ocasião da extrusão.

	VARIÁVEIS DE EXTRUSÃO E EXTRUDADOS									
	Temperatura:	126	140		<u>160</u>			180		193
Umidade:	Rotação:	140	120	160	106	<u>140</u>	173	120	160	140
16%										
18%										
<u>21%</u>										
24%										
26%										

Quadro 1: Extrudados expandidos de arroz, feijão e milho em função das variáveis independentes estudadas: temperatura da 3ª zona do extrusor (°C), umidade inicial (%) e rotação do parafuso (rpm).

Os tratamentos que apresentaram uma melhor aparência, ou maior índice de expansão radial ao se comparar com produtos extrudados comercialmente distribuídos, foram aqueles cujas amostras foram elaboradas com os menores percentuais de umidade. Estes, além da elevada expansão, também se apresentaram mais uniformes. O tratamento 13 (160°C, 140rpm e 16%) obteve maior expansão, mas os tratamentos 3 (140°C, 160 rpm e 18%) e 4 (180°C, 160rpm e 18%) apresentaram uniformidade na expansão, o que é bem visto a nível comercial.

Por outro lado, verifica-se que a elevada umidade, associada a uma elevada temperatura leva a formação de um extrudado fino, desuniforme e quebradiço como é o caso da amostra do tratamento elaborado a 24% umidade, 160rpm de rotação do parafuso e 180°C de temperatura e da amostra do tratamento elaborado a 193°C de temperatura.

Como não houve variação da quantidade de feijão na mistura, pode-se afirmar que, do ponto de vista tecnológico, é possível elaborar um produto extrudado tipo *snack* com 35% de farinha de feijão e farinha de arroz e 30% de farinha de milho, com características de expansão semelhantes aos obtidos comercialmente.

4.4 Propriedades funcionais dos extrudados de milho, arroz e feijão.

Na Tabela 8 são apresentados os resultados de índice de solubilidade para as matérias-primas cruas, com o objetivo de avaliar a solubilidade das mesmas e comparar com a viscosidade das farinhas pré-gelatinizadas demonstrada na Tabela 9.

Segundo Ascheri et. al. (2010), os valores de ISA e IAA podem ser utilizados para estimar a adequabilidade do uso de produtos amiláceos extrudados em suspensões ou soluções. As aplicações em meios com quantidade limitada de água são baseadas nessas duas propriedades funcionais e envolvem frequentemente a capacidade de ligação das pontes de hidrogênio.

Tabela 8: Índice de solubilidade em água (ISA) das farinhas cruas de milho, arroz e feijão

Amostras	ISA (%)
Milho (grits)	1.76 (0.06)
Feijão BRS Pontal	15.26 (0.28)
Arroz	0.76 (0.03)
Farinha mista crua*	6.49 (0.13)

*Farinha mista de arroz, milho e feijão antes da extrusão.

Analisando-se a Tabela 8, de índice de solubilidade para as matérias-primas foi verificado que a farinha de arroz tem uma baixa solubilidade em água, quando comparada com as outras amostras, enquanto que a farinha de feijão carioca apresentou elevada solubilidade. Essa solubilidade poder ser atribuído, em parte, a que a moagem tem um efeito muito mais drástico na quebra das estruturas que envolvem o amido e a matriz proteica, fazendo com que os grânulos de amido estejam muito mais expostos, se comparados às farinhas de arroz e milho, caracterizadas por fortes unidades cristalinas de maior coerência.

4.4.1 Índice de solubilidade em água (ISA)

O Índice de Solubilidade em água junto com o Índice de Absorção em água são parâmetros importantes para caracterizar de forma funcional as farinhas extrudadas. O ISA está relacionado com a quantidade de moléculas solúveis na amostra seca e mede indiretamente a dextrinização. A solubilidade em água do amido está também relacionada com a expansão e segue as mesmas variações com as condições de extrusão. Sabe-se que, dependendo da matéria-prima, o ISA aumenta com a severidade do tratamento e com o decréscimo da umidade.

De acordo com Grossmann (1986) o IAA e o ISA variam de acordo com o grau de gelatinização e dextrinização sofridos pelo amido durante o processo por extrusão. O IAA aumenta com o aumento da gelatinização, já que ao gelatinizar aumenta o número de hidroxilas livres para formar ligações de hidrogênio com a água. Enquanto que o aumento do ISA acontece quando há maior dextrinização, ou seja, quanto maior a degradação das moléculas de amido em moléculas menores (dextrinas), que são mais solúveis em água.

A Tabela 9 mostra os resultados de Índice de Solubilidade em Água (ISA) e Índice de Absorção em Água (IAA) para as amostras extrudadas de milho, arroz e feijão.

Os valores de Índice de solubilidade variaram de 9,20 e 21,51%. O maior valor de Índice de solubilidade foi encontrado para a amostra do tratamento 3, cujo extrudado foi elaborado a 140° de temperatura 160 rpm de rotação e 18% de umidade, seguido do tratamento 4 elaborado a 180°C, 160 rpm e 18% de umidade. Estes tratamentos que geraram produtos com maior solubilidade foram também os que apresentaram os maiores IE. Como foi mencionado anteriormente, segundo os autores, Chang & El-dash (2003) a expansão está relacionada ao grau de gelatinização do amido. Baixos conteúdos de umidade no material podem restringir o fluxo do mesmo dentro do extrusor, aumentando o cisalhamento e o tempo de residência, o que poderia talvez aumentar o grau de gelatinização e se esse aumento for contínuo possivelmente pode levar a dextrinização da massa e aumentar a solubilidade.

As características de solubilidade servem para aperfeiçoar os efeitos do calor nas proteínas durante os processos, de modo que sejam mostradas as vantagens e desvantagens de seus usos nos alimentos. Quanto maior for o valor de solubilidade para uma proteína, melhor será a indicação do potencial de seu uso em sistemas alimentares (FERNANDES et al., 2003).

A Tabela 10 apresenta os coeficientes de regressão, erro padrão, e o p-valor para a resposta índice de solubilidade.

Tabela 9: Resultados de Índice de Solubilidade (ISA) e Índice de Absorção (AA) em água das farinhas pré-gelatinizadas de milho, arroz e feijão.

Amostras	X1	X2	X3	ISA (%)	IAA (g/g)
T1	140	120	18	14.54	5.12
T2	180	120	18	14.50	6.16
T3	140	160	18	21.51	5.72
T4	180	160	18	19.32	5.63
T5	140	120	24	12.93	6.50
T6	180	120	24	10.32	6.50
T7	140	160	24	12.57	6.48
T8	180	160	24	11.53	7.25
T9	126	140	21	11.12	7.50
T10	193	140	21	9.20	7.75
T11	160	106	21	12.24	6.53
T12	160	173	21	14.76	6.96
T13	160	140	16	14.44	5.96
T14	160	140	26	10.96	7.19
T15	160	140	21	13.64	6.12
T16	160	140	21	14.72	6.21
T17	160	140	21	10.88	7.28
T18	160	140	21	14.16	6.00

X1: Temperatura 3ª zona de extrusão (°C);
ISA: Índice de Solubilidade em Água (%);
X2: Rotação do parafuso (rpm);
IAA: Índice de Absorção de Água (g gel/g matéria seca)
X3: Umidade do processamento (%);

Através da análise dos coeficientes foi observado que para o índice de solubilidade apenas o termo linear da variável umidade foi significativo ($p < 0,05$). A Umidade apresentou um efeito negativo sobre esta resposta. Passando do menor nível para o maior nível diminui a solubilidade da farinha extrudada, ou seja tratamentos com baixa umidade, apresentaram Índices de solubilidade maiores.

Como o F calculado (10,490) para a regressão (75,09) apresenta determinante significância e a porcentagem de variação explicada (R^2) pelo modelo foi representativa, cerca de 80%, podemos concluir que o modelo se ajusta aos dados experimentais.

Tabela 10: Coeficiente de regressão e desvio padrão da variável resposta Índice de Solubilidade (ISA) em função da variação de temperatura da 3ª zona do extrusor (°C), da umidade inicial (%) e da rotação do parafuso (RPM).

	Coeficiente de Regressão	Erro Padrão	t(7)	p-valor
Média/Intercepto*	14,003	1,337	10,471	0,000016***
(1) Temperatura(L)	-0,667	0,628	-1,062	0,323442 ^{ns}
Temperatura(Q)	-0,829	0,691	-1,200	0,269236 ^{ns}
(2) Rotação (L)	1,236	0,628	1,968	0,089757 ^{ns}
Rotação (Q)	0,351	0,691	0,509	0,626724 ^{ns}
(3) Umidade (L)*	-2,077	0,628	-3,308	0,012973*
Umidade (Q)	0,069	0,691	0,099	0,923661 ^{ns}
1L by 2L	-0,073	0,820	-0,088	0,932064 ^{ns}
1L by 3L	-0,178	0,820	-0,216	0,834896 ^{ns}
2L by 3L	-1,368	0,820	-1,667	0,139515 ^{ns}

R²= 0,75098

L= efeito linear;

Q=efeito quadrático;

ns: valores não significativos

*: significativo ao nível de 5% de probabilidade.

**: significativo a 1% de probabilidade

***: significativo a 0,1% de probabilidade

Como visto na Tabela 10 foram considerados significativos os parâmetros com p – valores menores que 5% (0,05), onde os termos não significativos foram incorporados aos resíduos para o cálculo da ANOVA, apresentada na Tabela 11.

Tabela 11: Análise de variância simplificada da variável resposta Índice de Solubilidade (ISA).

ANOVA SIMPLIFICADA					
Fonte de variação	SQ	GL	QM	F calculado	F Tabelado
Regressão	62,304	1	62,304	10,490	4,543
Resíduos	51,387	8	5,939		
Falta de Ajuste	37,116	5			
Erro Puro	0,583	2			
Total	151,390	16			

Porcentagem de variação explicada (R²) = 0,7509; **SQ**: Soma dos quadrados; **GL**: Graus de Liberdade; **QM**: Quadrados médios

O coeficiente de determinação foi igual a 75,10%. O teste F foi significativo sendo o modelo adequado para descrever os resultados através da superfície de resposta. Como apenas a umidade linear foi significativa, obteve-se um modelo de primeira ordem.

Logo, o modelo fica caracterizado pela equação:

$$\text{ISA} = 14,003 - 2,077.U$$

(equação 9)

Onde,

U = umidade

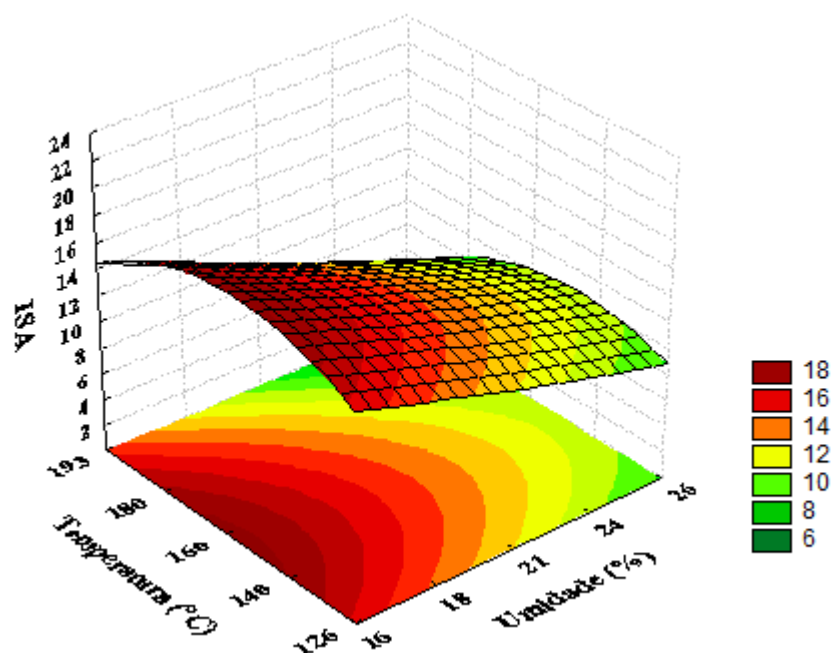


Figura 12: Efeito das variáveis independentes temperatura 3ª zona do extrusor (°C) e umidade inicial (%) sobre o índice de solubilidade em água das farinhas extrudadas de milho, arroz e feijão.

Através da análise da superfície de resposta representada na figura 12, verifica-se que quando a umidade encontra-se abaixo do ponto central de 21%, a solubilidade aumenta. Enquanto que em qualquer valor de temperatura para uma umidade baixa, e a rotação fixa no ponto central há um aumento na solubilidade.

Já a superfície apresentada na figura 13, que mostra a relação entre a rotação do parafuso e a umidade, observa-se que para encontrar uma boa solubilidade da mistura é necessário utilizar maiores valores de rotação, chegando a 173rpm em conjunto com os menores valores de umidade.

Resultados similares foram encontrados no estudo de BATISTA, et. al. (2010), que trabalharam com extrudado de feijão carioca e verificaram que o processo de extrusão das duas cultivares analisadas, BRS Pontal e BRS Grafite aumentou significativamente a solubilidade em umidades de 18% e 16%, respectivamente.

O estudo de Colonna et. al. (1984), verificou que baixo teor de umidade do amido pode restringir o fluxo de material dentro do barril da extrusora, aumentando a taxa de cisalhamento e tempo de residência, o que pode aumentar o grau de gelatinização do amido, e, assim, a expansão. No entanto, quando o teor de umidade do amido é muito baixa (abaixo de 14%), pode levar a elevadas taxas de cisalhamento e maior tempo de residência, e assim aumentar a temperatura do produto. Tais condições são conhecidos por causar a degradação do amido e dextrinização e consequente solubilidade.

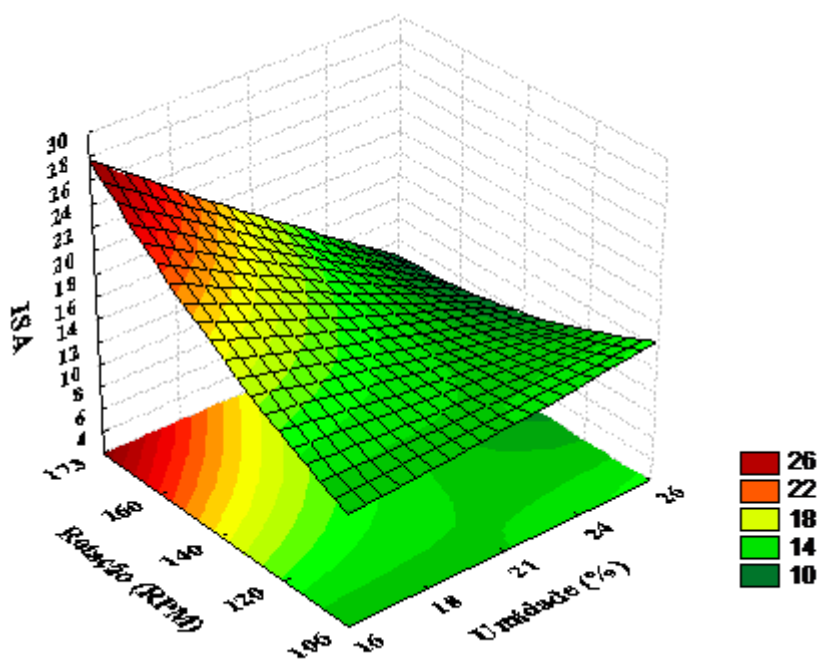


Figura 13: Efeito das variáveis independentes umidade inicial (%) e rotação do parafuso (RPM) sobre índice de solubilidade em água das farinhas extrudadas de milho, arroz e feijão.

Estima-se que para encontrar valores elevados de solubilidade para as farinhas mistas extrudadas de arroz, feijão e milho, deve-se realizar o processo de extrusão a baixos valores de umidade, abaixo de 18%, valores elevados de rotação do parafuso (acima do nível positivo de 160rpm) e temperaturas da terceira zona de extrusão em torno do ponto central de 160°C.

4.4.2 Índice de absorção em água (IAA)

O índice de absorção em água é principalmente influenciado por interações proteína-proteína, água-água e ações físicas capilares. As amostras cruas de arroz, feijão e milho e a farinha mista apresentaram índices de absorção de água similares e valores mais baixos do que os encontrados para os produtos extrudados (Tabelas 9 e 11).

Tabela 12: Índice de solubilidade em água (ISA), índice de absorção de água (IAA) das farinhas cruas de milho, arroz e feijão.

Amostras	IAA (g/g)
Farinha milho	2,78 ± 0,03
Farinha feijão Carioca	3,30 ± 0,05
Farinha arroz Branco	2,42 ± 0,01
Farinha mista*	2,91 ± 0,04

***Farinha mista:** 35% de feijão, 35% de arroz e 30% de milho.

O baixo índice de absorção e de solubilidade (IAA de 2,91g/g e ISA de 6,49%) para a farinha mista crua, em comparação com a farinha extrudada, comprova o difícil acesso da água entre as cadeias do amido, porque a cristalinidade do amido limita sua expansão (CASTIGLIONI, DORS & AUGUSTO-RUIZ, 2006).

Na Tabela 13, que descreve os coeficientes do modelo de regressão, a partir da matriz codificada, nota-se que o coeficiente de determinação apresentou um valor muito baixo (0,64477) para que o modelo seja considerado preditivo. Desta forma, como o R^2 foi menor que 0,70, não foram construídos gráficos de superfície de resposta nem gerado o modelo da equação, e os resultados foram discutidos com a finalidade de delimitar novas áreas de estudo. Neste caso, a discussão foi realizada através de comparação de médias realizada pelo teste de Tukey (Tabela 14).

Tabela 13: Coeficiente de regressão e desvio padrão da variável resposta Índice de Absorção de água (IAA) em função da variação de temperatura da 3ª zona do extrusor (°C), da umidade inicial (%) e da rotação do parafuso (rpm).

	Coeficiente de Regressão	Erro Padrão	t(7)	p-valor
Média/Intercepto*	6,1607	0,3293	18,7070	3,097E-07***
(1) Temperatura (L)	0,1128	0,1546	0,7293	0,489467 ^{ns}
Temperatura (Q)	0,3604	0,1702	2,1175	0,071989 ^{ns}
(2) Rotação (L)	0,0676	0,1546	0,4371	0,675194 ^{ns}
Rotação (Q)	0,0493	0,1702	0,2898	0,780363 ^{ns}
(3) Umidade (L)*	0,4077	0,1546	2,6366	0,033590*
Umidade (Q)	-0,0108	0,1702	-0,0633	0,951320 ^{ns}
1L by 2L	0,0300	0,2021	0,1485	0,886159 ^{ns}
1L by 3L	0,0525	0,2021	0,2598	0,802477 ^{ns}
2L by 3L	0,1575	0,2021	0,7795	0,461241 ^{ns}
$R^2 = 0,65707$				
L= efeito linear; Q=efeito quadrático; ns: valores não significativos				
*: significativo ao nível de 5% de probabilidade. **: significativo a 1% de probabilidade ***: significativo a 0,1% de probabilidade				

O IAA depende da exposição de grupos hidrofílicos (-OH) da moléculas de amilose e de amilopectina e da capacidade de formação de gel de tais moléculas. Este índice está relacionado à capacidade de absorção e retenção de água pelos constituintes da matéria-prima.

Tabela14: Teste de Tukey para o Índice de absorção em água (IAA) das farinhas extrudadas a base de milho, arroz e feijão.

Tratamentos	IAA (g/g)
1	5,72 ± 0,21 ^e
2	6,16 ± 0,12 ^{de}
3	5,72 ± 0,04 ^e
4	5,63 ± 0,07 ^e
5	6,50 ± 0,06 ^{cd}
6	6,64 ± 0,10 ^{cd}
7	6,48 ± 0,10 ^{cd}
8	7,25 ± 0,20 ^{ab}
9	7,50 ± 0,18 ^{ab}
10	7,75 ± 0,25 ^a
11	6,53 ± 0,48 ^{cd}
12	6,96 ± 0,44 ^{bc}
13	5,95 ± 0,08 ^{de}
14	7,19 ± 0,33 ^{ab}
15	6,12 ± 0,16 ^{de}
16	6,21 ± 0,08 ^{de}
17	6,00 ± 0,10 ^{de}

* Médias com letras diferentes na mesma coluna, diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

Pela análise de variância dos resultados e comparação das médias pelo teste de Tukey, verifica-se que os tratamentos apresentam valores próximos, mas uma diferença estatisticamente significativa foi obtida a 95% de confiança.

Os valores de Índice de absorção das farinhas extrudadas variaram entre 5,12 e 7,75 g/g. Valores esse superiores aos encontrados por Borba et. al. (2005), onde o índice de absorção de água (IAA) das farinhas extrudadas de batata-doce variou de 5,0 a 6,2g.g-1 gel.

Ao contrário dos resultados de Índice de Solubilidade, os maiores valores de Índice de absorção foram encontrados nos tratamentos 10, elaborados com 193°C de temperatura e os pontos centrais de umidade e rotação (21% e 140rpm), e no tratamento 8 o qual os parâmetros utilizados foram 180°C de temperatura, 160 rpm de rotação e 24% de umidade. Vale ressaltar que esses valores elevados foram determinados quando se utilizou um percentual maior de umidade.

Em estudo com farinha de quirera de arroz, o maior valor de IAA foi encontrado no tratamento elaborado com 20% de umidade (no caso um dos maiores teores de acordo com o delineamento), temperatura de 180°C e rotação de 140 rpm, muito semelhante ao encontrado neste estudo.

Elevados teores de umidade durante o processo de extrusão, seguidos por baixas taxas de cisalhamento, ocasionam redução de atrito do parafuso e da parede interna do tubo extrusor sobre as moléculas de amido do arroz, pois a água funciona como lubrificante no meio, resultando, assim, em menor degradação da amilose e amilopectina e, conseqüentemente, em aumento do IAA (SILVA & ASCHERI, 2009)

Os tratamentos 3 e 4, com elevada solubilidade e elevado índice de expansão radial, apresentaram valores inferiores de absorção de água. Baixos valores de IAA refletem o

restrito acesso da água aos amidos extrudados, atribuída a uma estrutura compacta. Por outro lado, a solubilidade pode ser relacionada ao menor peso molecular dos componentes do amido (ASCHERI, 2010) e após atingir um máximo de absorção, com relação ao grau de amido danificado, o índice de absorção pode diminuir por um início da dextrinização que pode levar a um aumento da solubilidade.

Durante a extrusão, os grânulos de amido sofrem gelatinização e as proteínas são desnaturadas. O amido gelatinizado absorve mais água do que em seu estado natural e as proteínas, devido a mudanças na conformação e na estrutura, têm o seu balanço hidrofílico/hidrofóbico alterado, podendo contribuir para o aumento ou diminuição do IAA (CHANG et. al. 2003).

Apenas os grânulos de amido danificados absorvem água e incham à temperatura ambiente, resultando um aumento de viscosidade, por isso o IAA apresenta uma relação positiva com a viscosidade de pasta a frio.

Amidos ou farinhas pré-gelatinizadas são produtos formadores de pasta, em presença de água fria ou, então, produtos solúveis (parcial ou totalmente), em água fria (COLONNA et. al., 1984), logo todas as condições de processamento apresentaram essas características. Para produtos de preparo rápido, os tratamentos que apresentam elevada viscosidade a frio e elevado IAA, são os mais indicados, sendo obtidos com temperatura de extrusão acima de 180°C, como observado no tratamento 10 (193°C) deste estudo.

4.5 Propriedades Viscoamilográficas

A viscosidade de pasta depende da avaliação do grau de gelatinização do amido e da taxa de fragmentação e solubilização molecular.

De acordo com Lustosa et.al. (2009), a viscosidade é uma das propriedades mais importantes dos materiais amiláceos. A curva de viscosidade representa o seu comportamento durante o aquecimento e permite avaliar as características da pasta formada, pelas modificações estruturais das moléculas de amido e também pela tendência a retrogradação durante o resfriamento.

Os resultados experimentais da viscosidade inicial a 25°C, viscosidade máxima a 95°C, viscosidade mínima e viscosidade final, assim como os valores calculados para quebra de viscosidade (Breakdown) e tendência à retrogradação (Setback) estão apresentados na Tabela 15.

Tabela 15: Resultados da caracterização de viscosidade de pasta das farinhas mistas extrudadas de milho, arroz e feijão.

Tratamentos	X1	X2	X3	VI 25 (cP)	VMáx (cP)	VMin (cP)	Breakdown (cP)	Vfinal (cP)	Setback (cP)
1	140	120	18	499,00	198,50	146,00	52,50	436,00	290,00
2	180	120	18	560,00	168,00	131,00	37,00	333,50	202,50
3	140	160	18	449,00	126,50	96,50	30,00	294,50	198,00
4	180	160	18	431,00	131,50	102,50	29,00	327,50	225,00
5	140	120	24	763,00	219,00	113,00	106,00	359,50	246,50
6	180	120	24	574,00	212,00	142,50	69,50	421,50	279,00
7	140	160	24	680,50	260,50	145,50	115,00	460,00	314,50
8	180	160	24	990,00	235,00	100,00	135,00	350,00	250,00
9	126	140	21	621,50	178,00	79,50	98,50	302,50	223,00
10	193	140	21	684,00	247,50	178,50	69,00	495,00	316,50
11	160	106	21	537,00	201,50	138,50	63,00	403,00	264,50
12	160	173	21	754,50	164,00	87,50	76,50	326,50	239,00
13	160	140	16	507,00	192,00	135,50	56,50	459,50	324,00
14	160	140	26	744,50	216,50	107,50	109,00	369,50	262,00
15	160	140	21	638,00	158,00	104,50	53,50	364,50	260,00
16	160	140	21	588,00	145,50	107,00	76,50	330,00	223,00
17	160	140	21	585,50	196,50	128,00	68,50	458,00	309,00

X1: Temperatura (°C).

X2: Rotação parafuso (RPM)

X3: Umidade (%).

VI 25: Viscosidade de Pasta Inicial a 25 °C (cP).

VMáx: Viscosidade de Pasta Máxima (cP).

VMin: Viscosidade de Pasta Mínima (cP).

VFinal: Viscosidade de Pasta Final (cP).

Breakdown: Quebra de viscosidade (cP)

Setback: Tendência a retrogradação (cP)

4.5.1 Viscosidade de pasta inicial a 25°C (VI)

Os valores de Viscosidade Inicial (VI) variaram de 430,5 cP a 990,0 cP, caracterizando significativa diferença entre os tratamentos estudados. Analisando a Tabela 14 observa-se que o maior valor de Viscosidade de Pasta a frio foi encontrado no tratamento 8 (990 cP), que foi desenvolvido a 180°C, 160 rpm e 24% de umidade, seguido do tratamento 5 (763 cP) elaborado com 140°C, 120 rpm e 24% Umidade. Nota-se que a umidade foi o parâmetro que determinou o aumento da viscosidade a frio.

Já o menor valor de VI foi encontrado para o tratamento 4 (431 cP), que foi elaborado com 180°C, 160 rpm e 18% de umidade. Seguido dos tratamentos 3 e 1 (449 cP) elaborados respectivamente com 140°C, 160 rpm e 18% ; e 140°C, 120 rpm e 18%. Esses resultados foram similares para IAA, que apresentaram baixos valores ao se trabalhar com baixa umidade e baixa temperatura. Mostrando mais uma vez a influencia significativa e diretamente proporcional da umidade sobre a viscosidade inicial das farinhas mistas extrudadas de arroz, feijão e milho.

A análise da regressão dos dados mostra que o coeficiente de determinação explica 73 % da variação total da variável resposta em torno da média e 27 % atribui-se aos resíduos. Os

resultados apresentados na Tabela 16 mostram que a média foi elevadamente significativo, ao nível de 0,1 % de probabilidade, demonstrando a reprodutibilidade do processo.

Com relação às variáveis, verifica-se que houve contribuição linear apenas da fração umidade ($P < 0,05$), sendo o efeito da mesma considerado diretamente proporcional, como já previsto anteriormente, indicando que a variação do valor da viscosidade de pasta inicial a 25°C foi diretamente proporcional ao aumento da mesma.

Ao contrário do que foi observado neste estudo, a umidade inicial exerceu efeito significativo ($p < 0,01$) e negativo nos valores de V25 de misturas de milho e feijão extrudadas. Esse estudo realizado por Silva, (2010), indicou que o aumento da umidade no material exerceu um efeito lubrificante no interior do canhão, ao passo que promoveu a redução da temperatura interna do mesmo. Com isso, ocorreu menor cisalhamento nas amostras e menor cocção do material. Isso faz com que, a temperatura ambiente, a estrutura amilácea não apresente boa capacidade para absorver água e continuar a gelatinização do mesmo.

Tabela 16: Coeficiente de regressão e desvio padrão da variável resposta Viscosidade Inicial a 25°C (VI, cP) em função da variação de temperatura da 3ª zona do extrusor (°C), da umidade inicial (%) e da rotação do parafuso (rpm).

	Coeficiente de Regressão	Erro Padrão	t(7)	p-valor
Média/Intercepto*	605,462	55,723	10,866	0,000012***
(1) Temperatura(L)	19,668	26,166	0,752	0,476770 ^{ns}
Temperatura(Q)	11,660	28,796	0,405	0,697619 ^{ns}
(2) Rotação (L)	38,097	26,166	1,456	0,188741 ^{ns}
Rotação (Q)	9,186	28,796	0,319	0,759031 ^{ns}
(3) Umidade (L)*	107,479	26,166	4,108	0,004530**
Umidade (Q)	2,117	28,796	0,074	0,943455 ^{ns}
1L by 2L	52,438	34,189	1,534	0,168963 ^{ns}
1L by 3L	9,688	34,189	0,283	0,785106 ^{ns}
2L by 3L	64,063	34,189	1,874	0,103107 ^{ns}

R²= 0,78605

L= efeito linear;

Q=efeito quadrático;

ns: valores não significativos

*: significativo ao nível de 5% de probabilidade.

**: significativo a 1% de probabilidade

***: significativo a 0,1% de probabilidade

Na tabela 17 verifica-se a não evidência à falta de ajuste do modelo aos dados experimentais, uma vez que a variação devido à esse mesmo parâmetro não foi estatisticamente significativa ($P > 0,05$). Além disso, verifica-se que o F calculado é maior que o F Tabelado, logo o modelo é considerado preditivo e apto para otimização dos parâmetros.

Tabela 17: Análise de variância simplificada da variável Viscosidade inicial a 25°C (VI).

ANOVA SIMPLIFICADA					
Fonte de variação	SQ	GL	QM	F calculado	F Tabelado
Regressão	157272,22	1	157272,22	15,87	4,54
Resíduos	83222,09	8	9912,06		
Falta de Ajuste	63704,6	5			
Erro Puro	1754,17	2			
Total	305953,1	16			

Porcentagem de variação explicada (R^2) = 78,61; **SQ**: Soma dos quadrados; **GL**: Graus de Liberdade; **QM**: Quadrados médios.

Para a elaboração da equação do modelo matemático proposto para as variáveis independentes codificadas (equação abaixo) foram utilizados somente os coeficientes de regressão significativos ao nível de 95% de confiança (Tabela 16), assim a equação fica restrita como:

$$\text{Viscosidade Inicial (25°C)} = 605,46 + 107,48U \quad (\text{equação 10})$$

Onde:

U= umidade inicial (%)

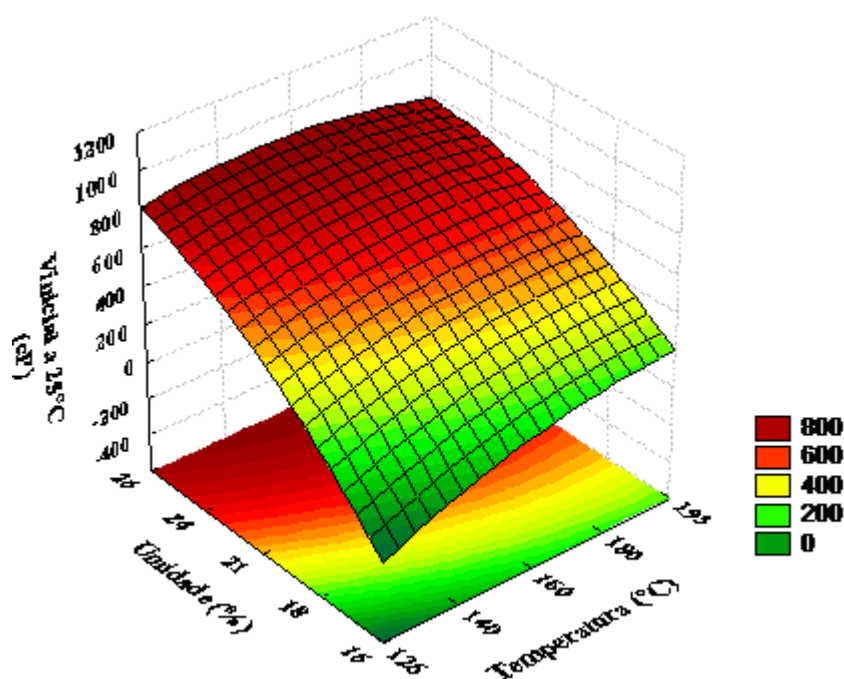


Figura 14: Efeito das variáveis independentes temperatura na 3ª zona do extrusor (°C) e umidade inicial (%) na Viscosidade inicial a 25°C (VI) das farinhas extrudadas de milho, arroz e feijão.

Analisando a figura 15, verifica-se que quando se mantém a rotação no ponto central, 140rpm, são obtidos os melhores resultados para VI com elevados valores de umidade, acima

de 24% e em quase todos os valores de temperatura, tendendo para os valores mais elevados, acima de 180°C. Por outro lado, ao manter a temperatura no ponto central (160°C), os melhores resultados são visíveis quando se utiliza os maiores valores de umidade e de rotação.

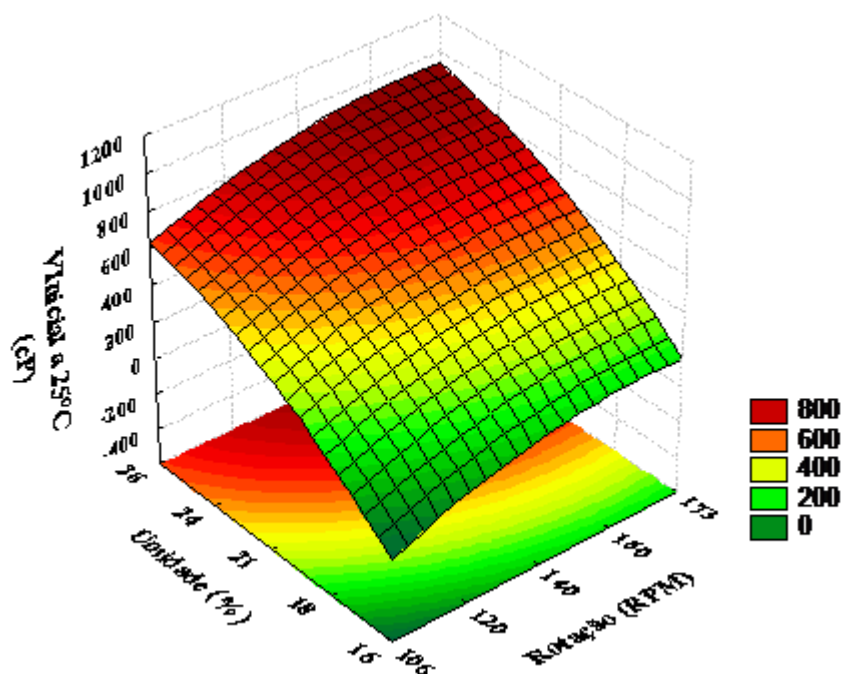


Figura 15: Efeito das variáveis independentes rotação (rpm) e umidade (%) na Viscosidade inicial a 25°C das farinhas extrudadas de milho, arroz e feijão.

Pelo que foi analisado, para se conseguir condições ideais em um produto com elevada viscosidade inicial devem-se utilizar uma elevada umidade (acima de 21%) e condições de média a elevada de temperatura (acima de 160°C) e rotação (acima de 140 rpm). Se for uma amostra com baixa umidade, deve utilizar valores elevados de temperatura e de rotação, para se conseguir uma elevada VI.

Amidos ou farinhas pré-gelatinizadas são produtos formadores de pasta, em presença de água fria ou, então, produtos solúveis (parcial ou totalmente), em água fria (COLONNA et. al., 1984), logo todas as condições de processamento apresentaram essas características.

4.5.2 Viscosidade máxima a 95°C (VMáx)

A viscosidade máxima no ciclo de aquecimento indica o quão elevado ou baixo pode ser a viscosidade de uma amostra, que por sua vez depende da estrutura granular do amido, da sua distribuição ramificada, da sua proporção de amilose e amilopectina e das prováveis combinações que por ventura foram feitas com outros ingredientes. Consequentemente poderá indicar indiretamente as possibilidades de utilização da farinha extrudada. Torna-se importante quando, por exemplo, a farinha for destinada ao preparo de sopas, tortas ou outros alimentos em que determinantes propriedades são requeridas (TORRES et. al., 2005). A viscosidade máxima é atingida quando, durante o ciclo de aquecimento até 95°C, ocorre intumescimento e gelatinização dos grânulos de amido.

O maior valor de VM_{áx} foi encontrado para o tratamento 7, 260,50 cP, elaborado com 140°C, 160 rpm, 24% de umidade, seguido dos tratamentos 10 e 8 (193°C, 140 rpm, 21% e 180°C, 160 rpm, 24% respectivamente), mostrando a influência de maiores valores de umidade para obtenção de uma maior viscosidade a 95°C. Os valores também demonstram que os valores de viscosidade máxima foram muito menores que os de viscosidade a frio.

No estudo de farinha de mandioca extrudada, realizado por Lustosa et. al. (2009), os valores de VM_{áx} (pico de viscosidade) variaram de 12,09 a 33,42 RVU, indicando diminuição desta propriedade de pasta após a extrusão, já que os valores de viscosidade a frio foram superiores (de 7,08 a 33,17 RVU) como também visto no presente trabalho.

Um amido que não sofre um processo de extrusão tão severo, seja por auxílio de uma elevada umidade, ou de uma baixa temperatura associada com uma baixa rotação do parafuso, pode manter parte de sua estrutura amilácea, apresentando até mesmo um pico de viscosidade máxima, que pode representar um amido não gelatinizado, ou parcialmente gelatinizado.

Os tratamentos 3 e 4, elaborados com 160 rpm e 18% de umidade para ambos e 140°C e 180°C de temperatura da 3ª zona de extrusão respectivamente, apresentaram os menores valores de viscosidade máxima. Esses mesmos tratamentos apresentaram os maiores valores de índice de solubilidade, a relação inversa dessas respostas.

Verifica-se que a viscosidade diminui consideravelmente quando se aumenta a temperatura e a rotação do parafuso, como pode ser devido ao elevado valor de viscosidade inicial, ou viscosidade a frio. Isso é uma característica de amidos que já sofreram gelatinização e um aumento de temperatura provoca uma dextrinização, maior solubilidade e menor viscosidade nas farinhas extrudadas.

Por meio do coeficiente de determinação evidenciado na análise de variância verifica-se que apenas 64% da variação total foi explicada pelo modelo aplicado, observado na Tabela 18, podendo atribuir 36% ao erro experimental. Este erro é considerado elevado e o modelo não é considerado representativo.

Na Figura 18 são apresentados os perfis das curvas de viscosidade de pasta em função do tempo e da temperatura dos tratamentos de farinhas mistas pré-gelatinizadas de arroz, feijão e milho, que apresentaram melhores características em um dos parâmetros de viscosidade.

A viscosidade máxima a 95°C (VM_{áx}) se caracteriza pelas transformações que ocorrem na estrutura granular do amido submetido ao processo de aquecimento como resultado da desorganização molecular, que leva a um intumescimento total, gelatinização com absorção máxima de água pelos grânulos de amido. Valores de Viscosidade Máxima elevados geralmente são verificados quando o processamento aplicado não consegue ser suficiente para despolimerizar a estrutura amilácea favorecendo a dextrinização do material. Sendo assim grânulos de amido intactos chegam ao sistema quando, na fase de aquecimento, sofrem gelatinização (SILVA, 2010).

Tabela 18: Coeficiente de regressão e desvio padrão da variável resposta Viscosidade Máxima a 95°C (VMáx, cP) em função da variação de temperatura da 3ª zona do extrusor (°C), da umidade inicial (%) e da rotação do parafuso (rpm).

	Coeficiente de Regressão	Erro Padrão.	t(7)	p-valor
Média/Intercepto*	166,964	20,962	7,965	0,000094***
(1) Temperatura (L)	5,880	9,843	0,597	0,569077 ^{ns}
Temperatura (Q)	12,434	10,833	1,148	0,288741 ^{ns}
(2) Rotação (L)	-7,583	9,843	-0,770	0,466262 ^{ns}
Rotação (Q)	3,421	10,833	0,316	0,761356 ^{ns}
(3) Umidade(L)*	25,786	9,843	2,620	0,034429*
Umidade (Q)	11,462	10,833	1,058	0,325143 ^{ns}
1L by 2L	3,313	12,862	0,258	0,804162 ^{ns}
1L by 3L	-0,188	12,862	-0,015	0,988775 ^{ns}
2L by 3L	21,188	12,862	1,647	0,143479 ^{ns}

R²= 0,64134

L= efeito linear;

Q=efeito quadrático;

ns: valores não significativos

*: significativo ao nível de 5% de probabilidade.

**: significativo a 1% de probabilidade;

***: significativo a 0,1% de probabilidade

Fez-se necessária a análise dos resultados através da análise de variância e teste de Tukey, a fim de caracterizar as amostras.

Analizando a Tabela 19, verifica-se que os valores de Viscosidade Máxima são muito próximos, e os que se destacam são os maiores valores, tratamentos 7, 10 e 8 e os menores valores para os tratamentos 3 e 4, mostrando a influencia da umidade na determinação desse parâmetro. À 95°C o valor de viscosidade é muito baixo e inferior ao valor de viscosidade máxima inicial, ressaltando uma queda de 990,0 cP para a viscosidade inicial na amostra do tratamento 8 (por exemplo) para 235,0 cP de viscosidade a 95°C, mostrando uma perda de quase 400% de viscosidade quando a temperatura foi aumentada.

Tabela 19: Teste de Tukey para a Viscosidade Máxima a 95°C (VMáx) em água das farinhas extrudadas a base de milho, arroz e feijão.

Tratamentos	X1	X2	X3	Viscosidade Máxima a 95°C (cP)
1	140	120	18	198,5 ± 4,95 ^{abcde}
2	180	120	18	168,0 ± 6,97 ^{defg}
3	140	160	18	126,5 ± 6,36 ^g
4	180	160	18	131,5 ± 0,70 ^{fg}
5	140	120	24	219,0 ± 4,02 ^{abcd}
6	180	120	24	212,0 ± 2,83 ^{abcd}
7	140	160	24	260,5 ± 4,85 ^a
8	180	160	24	235,0 ± 2,83 ^{abc}
9	126	140	21	178,0 ± 6,77 ^{cdefg}
10	193	140	21	247,50 ± 1,82 ^{ab}
11	160	106	21	201,5 ± 3,54 ^{abcde}
12	160	173	21	164,0 ± 7,07 ^{defg}
13	160	140	16	192,0 ± 1,42 ^{bcdef}
14	160	140	26	216,5 ± 7,68 ^{abcd}
15	160	140	21	158,0 ± 4,24 ^{defg}
16	160	140	21	145,5 ± 9,09 ^{efg}
17	160	140	21	196,5 ± 10,61 ^{abcde}

* Médias com letras diferentes na mesma coluna, diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

Chiang e Johnson (1977) demonstraram que a gelatinização do amido aumentou bruscamente com o aumento da temperatura, sendo mais intenso para umidades de 18 e 21%.

Durante o aquecimento em meio aquoso, os grânulos de amido sofrem mudanças em sua estrutura, envolvendo a ruptura das pontes de hidrogênio estabilizadoras da estrutura cristalina interna do grânulo, quando uma temperatura característica para cada tipo de amido é atingida. Se o aquecimento prossegue com uma quantidade suficiente de água, rompe-se a região cristalina e a água entra, fazendo o grânulo romper-se e perder a birrefringência (LOBO, et.al., 2003).

4.5.3 Viscosidade de pasta mínima (VMin)

A viscosidade mínima pode ser vista como uma medida do grau de desintegração dos grânulos de amido e outras substâncias. Corresponde ao menor valor de viscosidade após o pico de gelatinização, que no caso das farinhas extrudadas, ocorre a uma temperatura inferior a 95°C.

O menor valor de viscosidade mínima foi encontrado para o tratamento T9 elaborado com o menor valor de temperatura (126°C) e com os pontos centrais de rotação e umidade (140 rpm e 21%). Por outro lado, a viscosidade mínima foi maior para o tratamento T10 elaborado com o maior valor de temperatura (193°C) do delineamento, mostrando a influencia desse parâmetro na viscosidade mínima dos extrudados.

Na Tabela 20 estão dispostos os resultados dos coeficientes de regressão e suas respectivas probabilidades. Observa-se que o coeficiente de determinação foi muito baixo (0,2271), indicando que o modelo estatístico não é preditivo, já que apenas 22% da variação total

da viscosidade mínima em torno da média e 88% podem ser atribuídos aos resíduos e erros experimentais.

Também não foram construídos gráficos de superfície de resposta nem gerado o modelo da equação, no entanto, os resultados foram discutidos com a finalidade de delimitar novas áreas de estudo. Neste caso, a discussão foi realizada através de comparação de médias realizada pelo teste de Tukey (Tabela 21).

Através da análise da Tabela, observa-se que apenas a média foi estatisticamente significativa ($P < 0,001$), o que demonstra que o ponto central pode ter sido escolhido adequadamente.

Tabela 20: Coeficiente de regressão e desvio padrão da variável resposta Viscosidade Mínima (VMin, cP) em função da variação de temperatura da 3ª zona do extrusor (°C), da umidade inicial (%) e da rotação do parafuso (rpm).

	Coeficiente de Regressão	Erro Padrão	t(7)	p-valor
Média/Intercepto	378,557	47,115	8,035	0,000089***
(1) Temperatura(L)	14,591	22,124	0,659	0,530669 ^{ns}
Temperatura(Q)	2,822	24,348	0,116	0,910987 ^{ns}
(2) Rotação(L)	-17,584	22,124	-0,795	0,452827 ^{ns}
Rotação(Q)	-9,196	24,348	-0,378	0,716859 ^{ns}
(3) Umidade (L)	4,036	22,124	0,182	0,860432 ^{ns}
Umidade (Q)	8,389	24,348	0,345	0,740557 ^{ns}
1L by 2L	-3,688	28,908	-0,128	0,902085 ^{ns}
1L by 3L	3,562	28,908	0,123	0,905385 ^{ns}
2L by 3L	21,188	28,908	0,733	0,487417 ^{ns}

R² = 0, 2271

L= efeito linear;

Q=efeito quadrático;

ns: valores não significativos

*: significativo ao nível de 5% de probabilidade.

**: significativo a 1% de probabilidade

***: significativo a 0,1% de probabilidade

Os valores de viscosidade mínima nos pontos centrais estão próximos, o que sugere uma reprodutibilidade na análise e no processo de extrusão. As amostras dos tratamentos T9, T12 elaboradas na menor temperatura e maior rotação do parafuso, mostram que elevada rotação associado a baixa temperatura podem levar a um elevado rompimento da estrutura do amido e a consequente diminuição de sua viscosidade.

O tratamento 3 (140°C, 160 rpm e 18% de umidade), também apresentou uma baixa viscosidade mínima. Pode-se enfatizar a discussão de que uma baixa temperatura do processo, associado a uma mais baixa rotação e umidade, leva a uma diminuição da viscosidade durante o aquecimento.

De acordo com Teba (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.

Tabela 21: Teste de Tukey para a Viscosidade Máxima a 95°C (cP) das farinhas extrudadas a base de milho, arroz e feijão.

Tratamentos	X1	X2	X3	Viscosidade Mínima (cP)
1	140	120	18	146,0 ± 1,41 ^{ab}
2	180	120	18	131,0 ± 5,55 ^{bcd}
3	140	160	18	96,5 ± 4,94 ^{fg}
4	180	160	18	102,5 ± 9,19 ^{defg}
5	140	120	24	113,0 ± 7,07 ^{bcd}
6	180	120	24	142,5 ± 2,12 ^b
7	140	160	24	145,5 ± 9,19 ^{ab}
8	180	160	24	100,0 ± 0,00 ^{efg}
9	126	140	21	79,5 ± 6,37 ^g
10	193	140	21	178,5 ± 3,43 ^a
11	160	106	21	138,5 ± 7,77 ^{bc}
12	160	173	21	87,5 ± 6,36 ^g
13	160	140	16	135,5 ± 3,54 ^{bcd}
14	160	140	26	107,5 ± 4,95 ^{cdefg}
15	160	140	21	104,5 ± 3,54 ^{cdefg}
16	160	140	21	107,0 ± 9,71 ^{cdefg}
17	160	140	21	128,0 ± 10,61 ^{bcdef}

* Médias com letras diferentes na mesma coluna, diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

Pode ser observado quando se analisa os tratamentos T1 (140°C, 120 rpm e 18% umidade – 146,0 cP) e T7 (140 °C, 140 rpm e 24% de umidade – 145,5 cP) que apresentaram valores muito próximos de viscosidade mínima. Verifica-se que a uma temperatura constante, encontram-se valores próximos quando se inverte as condições de temperatura e umidade. A uma rotação constante e temperatura constante, basta uma diminuição da umidade, para se acentuar os valores de viscosidade mínima.

Para produtos que necessitem de baixa viscosidade ao aquecimento, como as sopas menos viscosas, a baixa umidade seria o parâmetro mais importante a se considerar.

4.5.4 Breakdown

A quebra de viscosidade, ou *Breakdown* corresponde à diferença entre o pico de viscosidade e a viscosidade mínima. Através desta propriedade é possível avaliar a estabilidade do amido em elevadas temperaturas, por ação da agitação mecânica (LUSTOSA, et. al., 2009).

Encontra-se na Tabela 23 os resultados da análise de variância (ANOVA) e, de acordo com o estudo da mesma, nota-se que a variável umidade linear apresentou um efeito bastante significativo e positivo sobre a variável resposta quebra de viscosidade (P < 0,01), juntamente com a média que garante uma boa escolha dos pontos centrais. Os outros termos não foram estatisticamente significativos não afetando a quebra de viscosidade das farinhas extrudadas de arroz, feijão e milho.

Verifica-se também na Tabela 22, que a interação entre a rotação e a umidade foi estatisticamente significativa ao nível de 5% de confiança. Esse efeito foi positivo e mostra que ao aumentar a uma temperatura constante, aumentando-se a umidade e a rotação do parafuso pode aumentar a quebra de viscosidade das farinhas mistas em questão.

Lustosa, et.al. (2009) ao verificarem a quebra de viscosidade de farinhas de mandioca observaram que condições de baixa umidade e elevada rotação levam a maiores quebras de viscosidade.

Tabela 22: Coeficiente de regressão e desvio padrão da variável resposta *Breakdown* (cP) em função da variação de temperatura da 3ª zona do extrusor (°C), da umidade inicial (%) e da rotação do parafuso (rpm).

	Coeficiente de Regressão	Erro Padrão	t(7)	p-valor
Média/Intercepto.*	66,665	9,649	6,909	0,001343**
(1) Temperatura(L)	-6,049	4,531	-1,335	0,716504
Temperatura(Q)	4,493	4,986	0,901	0,175023
(2) Rotação(L)	4,884	4,531	1,078	0,655173
Rotação(Q)	-0,455	4,986	-0,091	0,510757
(3) Umidade (L)*	26,746	4,531	5,903	0,001185**
Umidade(Q)	4,140	4,986	0,830	0,096728
1L by 2L	8,875	5,920	1,499	0,477897
1L by 3L	0,000	5,920	0,000	0,392222
2L by 3L	13,125	5,920	2,217	0,023075*

R²= 0, 8688

L= efeito linear;

Q=efeito quadrático;

ns: valores não significativos

*: significativo ao nível de 5% de probabilidade.

**: significativo a 1% de probabilidade

***: significativo a 0,1% de probabilidade

A ANOVA apresenta uma variação explicada de 86,9% e o F calculado tem valor maior do que o F Tabelado. Esses dados estão representados na Tabela 23.

Tabela 23: Análise de variância simplificada da variável resposta *Breakdown* (cP).

ANOVA SIMPLIFICADA					
Fonte de variação	SQ	GL	QM	F calculado	F Tabelado
Regressão	10411,00	2	5205,50	15,759	4,737
Resíduos	2492,85	7	330,31		
Falta de Ajuste	1708,37	5			
Erro Puro	423,17	2			
Total	15035,38	16			

Porcentagem de variação explicada (R²) = 86,88%; **SQ**: Soma dos quadrados; **GL**: Graus de Liberdade; **QM**: Quadrados médios.

Como o modelo foi considerado preditivo, pode-se gerar a equação do modelo e os gráficos de superfície de resposta (Figuras 16 e 17). A equação a seguir descreve a quebra de viscosidade prevista pelo modelo em função das variáveis codificadas, que contém apenas os termos estatisticamente significativos.

$$\text{Breakdown} = 51,66 + 24,79.U + 17,86.R.U \quad (\text{equação 11})$$

Onde:

U= umidade inicial (%)

R= rotação do parafuso (rpm)

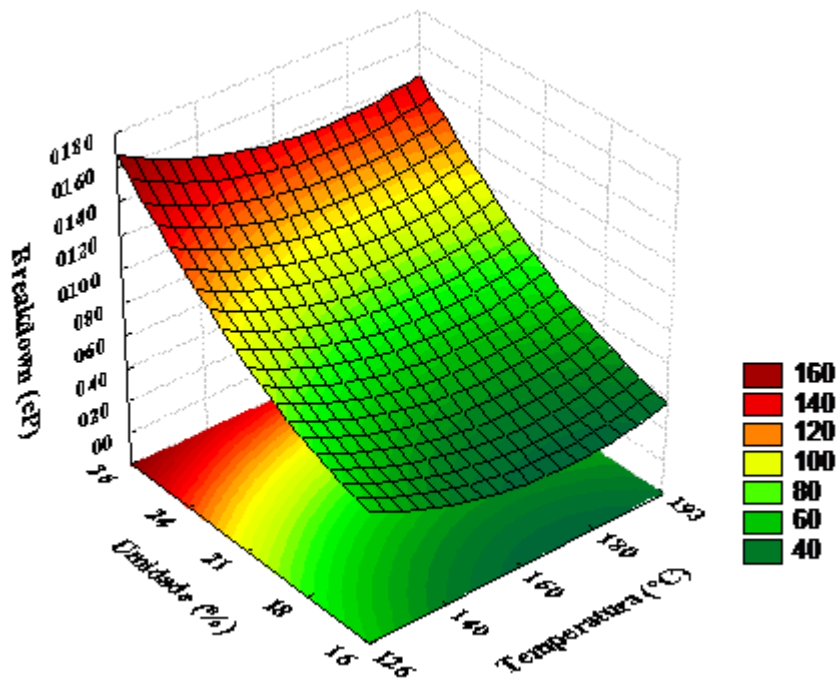


Figura 16: Efeito das variáveis independentes temperatura da 3ª zona do extrusor (°C) e umidade inicial (%) no valor do *Breakdown* das farinhas extrudadas de milho, arroz e feijão.

Observando a figura 16, verifica-se que a uma rotação constante (140rpm), os maiores valores de quebra de viscosidade são encontrados quando se utiliza as maiores faixas de umidade (> 24%) em quase todas as faixas de temperatura.

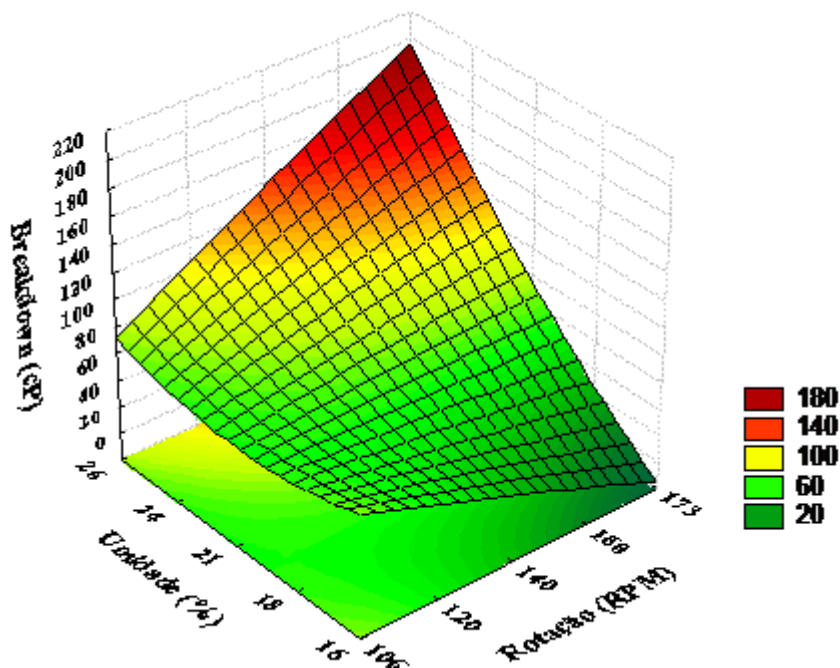


Figura 17: Efeito das variáveis independentes rotação do parafuso (rpm) e umidade inicial (%) no valor do Breakdown das farinhas extrudadas de milho, arroz e feijão.

A superfície da figura 17 mostra a interação entre a rotação do parafuso e a umidade inicial, e observa-se quando temperatura na terceira zona do extrusor é mantido no ponto central (160°C), os melhores resultados de quebra de viscosidade para as farinhas mistas de arroz, feijão e milho, são encontrados quando de utiliza elevados percentuais de umidade e elevada rotação.

Os resultados de quebra de viscosidade para as farinhas mistas pré-gelatinizadas de arroz, feijão e milho ficaram em torno de 131,5 a 23,5 cP, mostrando uma diferença significativa entre as amostras e as condições utilizadas.

O maior valor de quebra de viscosidade foi encontrado no tratamento 8 elaborado com 180°C de temperatura, 160 rpm de rotação e 24% de umidade. E o tratamento T3 apresentou o menor e característico resultado com 23,5 cP apenas de manutenção da viscosidade durante o cozimento.

Acredita-se que a amostra do tratamento T3, elaborada com 140°C, 160 rpm e 18% umidade, foi o que sofreu uma maior degradação da molécula de amido com elevado teor de moléculas de baixo peso molecular, visto seu elevado teor de solubilidade.

Logo, para se elaborar um produto que mantenha sua viscosidade durante o cozimento, como o macarrão, é necessário utilizar parâmetros que permitam esta condição como média temperatura (160rpm), média a elevada rotação do parafuso (acima de 140rpm) e elevado percentual de umidade inicial (acima de 24%). Com o intuito de diminuir gastos de energia, por exemplo, podem-se utilizar os valores nos pontos centrais de temperatura e rotação (160°C e 140 rpm, respectivamente) e um elevado percentual de umidade. Elevados teores de umidade podem atuar como lubrificantes dentro do canhão da extrusora e são capazes de reduzir a fusão durante e extrusão e elevar os valores de quebra de viscosidade.

Teba (2009), demonstrou que através desta propriedade é possível avaliar a estabilidade do amido em elevadas temperaturas, sobre agitação mecânica, o que é de extrema importância para massas alimentícias pré-cozidas, uma vez que indica, indiretamente, a capacidade do produto de se manter inteiro durante o cozimento.

Por outro lado, se o produto que se deseja elaborar não precisa manter essa característica, e até mesmo, apresentar constituição maior sob uma temperatura de cocção, pode-se utilizar teores médios de temperatura e rotação, mas com menores teores de umidade (abaixo de 18%).

4.5.5 Viscosidade Final (VF)

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), resultando, assim, na formação de precipitado e ou géis.

Verifica-se na Tabela 15, que os valores de viscosidade final foram maiores que os valores de viscosidade máxima, caracterizando o amido extrudado pela sua capacidade em retrogradar e reaproximar moléculas de amilose e amilopectina e aumentar a viscosidade de pasta.

Os maiores valores de viscosidade final, 495,0 cP e 460,0 cP foram encontrados em amostras processadas a 193°C, 140 rpm e 21% de umidade (tratamento T10) e 140°C, 160 rpm e 24% (tratamento T7), respectivamente. Observa-se que ao se trabalhar com teores maiores de umidade e variar a temperatura maior com a menor rotação e vice-versa, obtêm-se os melhores resultados. Os produtos obtidos por esses tratamentos podem ter sua viscosidade aumentada após o resfriamento, o que restringe o seu uso em alimentos.

O coeficiente de determinação, verificado na Tabela 24, foi considerado abaixo do limite pré-determinado, e com isso o modelo matemático utilizado não se aplica a resposta em questão. Foi necessária a utilização do teste de Tukey para comparação de médias.

Conforme passa o tempo da gelatinização, e a temperatura diminui, as cadeias de amido tendem a interagir mais fortemente entre si, obrigando a água a sair, levando a um processo chamado sinérese, que é a perda de água pelo sistema. Essa recristalização ou retrogradação ocorre quando as cadeias de amilose, mais rapidamente que as de amilopectina, agregam-se formando duplas hélices cristalinas estabilizadas por pontes de hidrogênio. Durante o esfriamento e/ou envelhecimento, estas hélices formam estruturas cristalinas tridimensionais elevadamente estáveis (LOBO, A. R.; SILVA, G. M. L., 2003)

Observando a Tabela 25, verifica-se que as amostras apresentaram de uma forma geral, valores maiores de viscosidade final, com tendência a retrogradação, do que viscosidade máxima a 95°C ou viscosidade de manutenção a temperatura de cocção (viscosidade mínima). Elevados valores de viscosidade final indicam elevada retrogradação do amido no produto final.

Os maiores valores foram encontrados para amostras com maior rotação do parafuso, acima do nível + 1 do delineamento, ou seja, > de 140rpm. As outras variáveis, aparentemente não apresentaram efeito significativo.

Tabela 24: Coeficientes de regressão e desvio padrão da variável resposta Viscosidade Final (cP) em função da variação de temperatura da 3ª zona do extrusor (°C), da umidade inicial (°C) e da rotação do parafuso (rpm).

	Coeficiente de Regressão	Erro Padrão	t(7)	p-valor
Média/Intercepto	378,501	46,388	8,159	0,00008***
(1) Temperatura(L)	15,103	21,783	0,693	0,510428 ^{ns}
Temperatura(Q)	3,016	23,973	0,126	0,903416 ^{ns}
(2) Rotação(L)	-18,097	21,783	-0,831	0,433511 ^{ns}
Rotação(Q)	-9,002	23,973	-0,376	0,718407 ^{ns}
(3) Umidade (L)	3,523	21,783	0,162	0,876080 ^{ns}
Umidade (Q)	8,583	23,973	0,358	0,730865 ^{ns}
1L by 2L	-4,563	28,462	-0,160	0,877172 ^{ns}
1L by 3L	2,688	28,462	0,094	0,927418 ^{ns}
2L by 3L	22,063	28,462	0,775	0,463625 ^{ns}
R² = 0,2419				
L= efeito linear; Q=efeito quadrático; ns: valores não significativos				
*: significativo ao nível de 5% de probabilidade. **: significativo a 1% de probabilidade ***: significativo a 0,1% de probabilidade				

A perda de birrefringência é devida destruição das áreas cristalinas do grânulo e ocorre em meios semiúmidos ou aquosos na presença de calor. Porém o rearranjo molecular, ao esfriar o material, dependerá de vários fatores entre eles: se material ceroso, ou glutinoso, ou possui ingredientes complexantes, etc. podem retardar a retrogradação. Em alimentos como pães, molhos, pudins, a ocorrência da retrogradação é indesejável e deve ser evitada. O aumento de firmeza em pães, ou melhor, o endurecimento do pão durante o armazenamento, também é atribuído à retrogradação do amido. Em pastas ou géis é comum o aparecimento, devido à retrogradação, de uma película superficial que compromete a qualidade deste produto. A não solubilização do amido, que pode acontecer em molhos pela retrogradação pode causar uma separação de fases indesejável neste tipo de alimento (CARVALHO, C.W.P., ASCHERI, J.L.R., TAKEITI, C. Y, 2011).

A retrogradação pode ser desejável para farinhas mistas de arroz, feijão e milho, se forem revestir algum produto, como frangos empanados, que são conduzidos ao processo de fritura e depois congelados, para novamente serem aquecidos. A retrogradação na superfície, antes da fritura, diminui a absorção de óleo e pode conferir uma textura agradável ao produto.

Tabela 25: Teste de Tukey para a Viscosidade Final (cP) das farinhas extrudadas a base de milho, arroz e feijão.

Tratamentos	X1	X2	X3	Viscosidade Final (cP)
1	140	120	18	436,0 ± 7,07 ^{bc}
2	180	120	18	333,5 ± 4,95 ^{fgh}
3	140	160	18	294,5 ± 3,44 ⁱ
4	180	160	18	327,5 ± 0,71 ^{ghi}
5	140	120	24	359,5 ± 2,12 ^{efg}
6	180	120	24	421,5 ± 2,12 ^c
7	140	160	24	460,0 ± 8,45 ^b
8	180	160	24	350,0 ± 1,31 ^{efg}
9	126	140	21	302,5 ± 4,85 ^{hi}
10	193	140	21	495,0 ± 6,97 ^a
11	160	106	21	403,0 ± 8,49 ^{cd}
12	160	173	21	326,5 ± 2,12 ^{ghi}
13	160	140	16	459,5 ± 0,71 ^b
14	160	140	26	369,5 ± 7,78 ^{de}
15	160	140	21	364,5 ± 6,36 ^{ef}
16	160	140	21	330,0 ± 8,49 ^{gh}
17	160	140	21	437,0 ± 5,66 ^{bc}

* Médias com letras diferentes na mesma coluna, diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05); X1: Temperatura (°C); X2: Rotação do parafuso (RPM); X3: Umidade (%).

4.5.6 *Setback*

A tendência a retrogradação, ou o *setback*, permite mensurar a diferença entre a viscosidade final e o menor valor de viscosidade após o pico. Esta propriedade permite avaliar o comportamento do amido durante a fase de resfriamento.

Os coeficientes de regressão dos parâmetros analisados, juntamente com o erro padrão e o p-valor estão descritos na Tabela 26. Não foi verificada diferença significativa de nenhuma variável estudada. E o coeficiente de determinação encontrado foi muito baixo (0,1826) sendo o modelo não considerado preditivo. Apenas a média dos valores foi evidenciado significância, com p-valor < 0,001. E a média da tendência a retrogradação pelas farinhas mistas extrudadas 257,72 cP, superior a média de viscosidade máxima a 95°C, evidenciando a forte tendência a retrogradação das farinhas mistas.

Os valores de *setback* variaram de 198 cP a 324,0 cP, não sendo considerado uma diferença muito grande em comparação com outros parâmetros viscoamilográficos.

Assim como para viscosidade final, que também representa tendência a retrogradação, T10 e T7 apresentaram maiores tendências a mesma condição após o resfriamento, enquanto T3 apresentou o maior valor. Isso mostra a influencia da umidade inicial do processo na viscosidade do produto extrudado e da tendência a retrogradação do mesmo.

De acordo com Singh et al. (2007), o teor de amilose no milho, principalmente, pode levar a uma maior retrogradação do mesmo. Isto pode ser atribuído à estrutura rígida de amido granular e presença de lipídios em farinha de milho ou também das outras matérias-primas. Amido com elevado teor de amilopectina tem sido a retrógrada lentamente.

Tabela 26: Coeficiente de regressão e desvio padrão da variável resposta *Setback* (cP) em função da variação de temperatura da 3ª zona do extrusor (°C), da umidade do inicial (%) e da rotação do parafuso (rpm).

	Coeficiente de Regressão	Erro Padrão	t(7)	p-valor
Média/Intercepto	257,728	30,530	8,442	0,000065***
(1) Temperatura(L)	4,742	14,336	0,331	0,750497 ^{ns}
Temperatura(Q)	-0,079	15,777	-0,005	0,996159 ^{ns}
(2) Rotação(L)	-5,373	14,336	-0,375	0,718895 ^{ns}
Rotação(Q)	-6,441	15,777	-0,408	0,695287 ^{ns}
(3) Umidade (L)	5,141	14,336	0,359	0,730465 ^{ns}
Umidade (Q)	8,139	15,777	0,516	0,621817 ^{ns}
1L by 2L	2,188	18,732	0,117	0,910315 ^{ns}
1L by 3L	3,563	18,732	0,190	0,854563 ^{ns}
2L by 3L	13,563	18,732	0,724	0,492528 ^{ns}

R² = 0,1826

L= efeito linear;

Q=efeito quadrático;

ns: valores não significativos

*: significativo ao nível de 5% de probabilidade.

**: significativo a 1% de probabilidade

***: significativo a 0,1% de probabilidade

Para se chegar a uma elevada viscosidade, valores de médios a elevados de umidade inicial devem ser utilizados para condicionar a mistura crua antes da extrusão. Já para valores baixos de viscosidade, de absorção, mas elevada solubilidade, para farinhas mistas de arroz, feijão e milho o ideal é uma umidade baixa, com temperaturas de rotação do parafuso de médios a elevados percentuais.

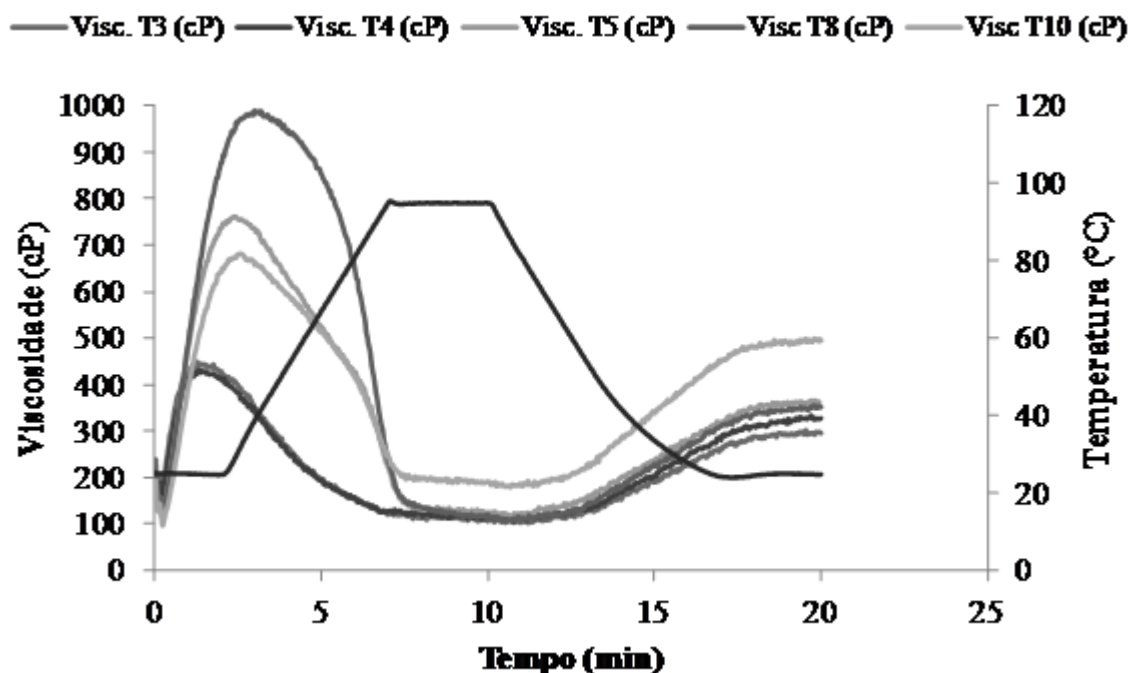
Em determinados alimentos industrializados, uma elevada viscosidade é desejável, nos quais o objetivo é o poder espessante. Para isso, é necessário o controle da retrogradação no resfriamento (SILVA et al., 2006).

4.5.7 Perfil de Viscosidade de pasta

Para avaliar o perfil de viscosidade das farinhas mistas pré-gelatinizadas, foi escolhido um gráfico que contém 5 amostras selecionadas como melhores tratamentos. Essa figura 18 é importante, pois apresenta uma síntese das análises de viscosidade acima citadas.

Em Anexo (B) estão dispostos todos os perfis de viscosidade das farinhas mistas pré-gelatinizadas elaboradas.

Figura 18: Perfis das curvas de viscosidade de pasta dos tratamentos 3 (160°C / 140rpm /



18% de umidade); T4 (180°C, 160 rpm e 18% de umidade); T5 (140°C, 120 rpm e 24%); 8 (180°C, 160 rpm, 24%) e T10 (193°C, 140 rpm e 21%);

Analizando a figura 18, nota-se que as farinhas mistas pré-gelatinizadas de arroz, feijão e milho T3 e T4 apresentaram perfis de viscosidade muito semelhantes. Diferem apenas pelo T3 apresentar uma viscosidade a frio um pouco maior que o T4, enquanto que este último apresenta um pouco mais de viscosidade final e tendência a retrogradação do que T3. Esses dois tratamentos, também apresentaram semelhança na avaliação da expansão dos extrudados expandidos, o que refletiu consideravelmente sobre o aumento proporcional da solubilidade.

Pode-se levar em consideração que o tratamento T3 apresentou uma vazão maior que o T4 (0,9084 e 0,6018 kg/h respectivamente). A vazão é um parâmetro que avalia a produção dos extrudados expandidos obtendo-se o peso (em gramas) da quantidade de extrudados coletados em sacos plásticos, durante um tempo determinado (no caso 30 segundos), e o valor encontrado é convertido em kg/h. É importante para quantificar o rendimento da mistura inicial durante o processo de extrusão e a capacidade da massa em obter uma maior quantidade de produto em menos tempo.

Como T3 tem uma vazão consideravelmente maior que T4, apesar de apresentarem as mesmas condições, o tratamento 3 vai gerar um gasto menor e um rendimento muito melhor durante o processo de extrusão, principalmente para fins industriais.

A Figura 18 também mostra uma diferença bastante significativa para a viscosidade inicial entre as amostras. O tratamento T8 (24% de umidade) apresentou um valor muito superior para viscosidade inicial, do que os outros tratamentos, seguido do T5 (24% de umidade) e T10 (21% de umidade), mostrando a interferência da umidade neste processo para o aumento de viscosidade, até aproximadamente os seis minutos iniciais da análise.

As amostras T3 e T4 evidenciaram sua elevada solubilidade, já que seu perfil viscoamilográfico foi muito inferior aos outros tratamentos, apresentando uma baixa viscosidade a frio, e baixa viscosidade a 95° C, tendo o seu gráfico pouca movimentação.

Sugere-se que os amidos sofreram dextrinização durante o processo, apresentando em solução moléculas solúveis de baixo peso molecular, e, por isso, têm capacidade limitada em absorver água em temperatura ambiente.

Em menos de 5 minutos de análise as farinhas mistas extrudadas de arroz, feijão e milho alcançaram suas seus pontos mais elevados de viscosidade, também considerada como inicial que foram de 449,0 cP para T3, 430,50 cP para T4, 761,0 cP para T5, 990,0 cP para T8 e 682,0 cP para T10. A menor viscosidade máxima a 95°C foi para a amostra T3 (123,5 cP), motivos já mencionados anteriormente. Ressaltando que todos os tratamentos apresentaram baixa viscosidade a quente.

Em torno do 6º minuto do processo, atingiu-se a temperatura mínima após o pico de viscosidade, também com valores baixos nos perfis estudados, mas apenas o tratamento T10 conferiu uma elevação da viscosidade mínima e um tendência maior a retrogradação.

Os tratamentos 3, 4, 5 e 8 apresentaram valores muito semelhantes de viscosidade final e tendência a retrogradação. Esse fenômeno acontece porque após a queda da viscosidade pelo resfriamento, o gel formado tende a reconstruir estrutura mais rígida pela agregação das cadeias de amilose, formando duplas hélices cristalinas estabilizadas por pontes de hidrogênio. Isso resulta em maior perda de água do sistema e endurecimento do produto final, fenômeno conhecido como retrogradação (LOBO, A.R.; SILVA, G.M.L., 2003). Além disso, os fragmentos de amido extrudado podem reassociar com os ramos de amilopectina desenroladas (CHINNASWAMY et al., 1989), parcialmente limitando a absorção de água.

4.6 Teste de reconstituição de sopas

Os resultados do teste de reconstituição para as farinhas mistas extrudadas de arroz, feijão e milho estão representados nas Tabelas 27 e 28.

Verifica-se se que as amostras com as melhores características para o teste de reconstituição foram as amostras T3, T4, T8, T10, T12 e T13, como pode ser visto na Tabela acima, em função do tempo de reconstituição, as características durante a dissolução e após 30 minutos a temperatura ambiente. Resultados similares aos encontrados como melhores resultados para as análises funcionais e parâmetros viscoamilográficas deste estudo.

Tabela 27: Teste de reconstituição de farinhas mistas extrudadas de milho, arroz e feijão para o 1º grupo: tratamentos T1 ao T9.

1º Grupo				
Tratamentos	Tempo (s)	Consistência	Observações	Após 30 minutos
T1	49	Bastante Cremosa. Similar a um mingau grosso.	Grumos de grande tamanho, não solúveis.	Consistência de mingau grosso.
T2	39	Muito grossa e cremosa. Mais viscoso que T1. Muito consistente. Sem sair da colher.	Formação de grumos menores.	Consistência de pasta muito grossa. Doce em pasta.
T3	58	Pastosa. Mais mole que T2. Um pouco mais solúveis que os anteriores.	Idem	Consistência cremosa = alimentação infantil ("papinha")
T4	43	Idem	Idem	Muitos grumos; bastante solúvel.
T5	35	Idem ao T2. Um pouco mais diluída e consistência mais mole.	Formação de grumos menores.	Consistência mais grossa que T4= ANGU GROSSO.
T6	45	Cremosa. Solta de colher	Formação de grumos pequenos	Angu ou doce de pasta não homogêneo.
T7	42	Cremosa	Formação de poucos e pequenos grumos.	Consistência pastosa c/ poucos grumos. Odor diferenciado.
T8*	49	Pasta com elevada viscosidade. Demora a soltar da colher.	Formação de poucos e pequenos grumos.	Similar ao T7. Odor de feijão muito forte.
T9	51	Pasta cremosa.	Formação de grumos.	Muito consistente e "grumoso".

*T3 e T4 com pontos pretos, talvez pela presença de cascas.

Tabela 28: Teste de reconstituição de farinhas mistas extrudadas de milho, arroz e feijão para o 2º grupo: tratamentos de T10 ao T17.

2º Grupo				
Tratamentos	Tempo (s)	Consistência	Observações	Após 30 minutos
T10	45	Consistência de pasta.	Pouquíssimos grumos. Cor amarelo claro e pouco aroma	Quebradiço
T11	51	Cremosa, mas fluida.	Cor amarela clara e aroma agradável.	Consistência quebradiça.
T12	52	Amostra Pastosa	Cor amarela clara. Odor forte.	Pastosa. Com grumos pequenos.
T13	60	Pastosa, mas mais fluida.	Cor amarelo claro. Aroma agradável. Presença de pequenos grumos.	Fluida. Com presença de grumos pequenos
T14	60	Amostra muito pastosa.	Aroma forte e cor boa.	Quebradiço
T15	44	Pastosa, mas bastante fluida.	Odor forte. Formação de 1 grande grumo.	Fluida. Com presença de grumos pequenos.
T16	44	Fluida.	Formação de 1 grande grumo. Cor amarelo claro. Odor agradável.	Consistência pastosa (presença de muitos grumos).
T17	45	Pastosa e fluida.	Poucos grumos. Aroma de queimado.	Consistência pastosa (presença de muitos grumos).

* Aroma muito forte de Feijão.

Os tempos de reconstituição para os melhores tratamentos variaram entre 43 e 60 segundos. Entre as características mais verificadas foram as amostras de consistência pastosa e cremosa formação de poucos grumos, odor agradável e até mesmos consistências similares a produtos como alimento infantil tipo “*papinha*” e mingau grosso, mais solúvel que o tratamento T2 e um pouco mais solúveis que os anteriores.

Nota-se que o tratamento T10, após 30 minutos em solução com a água apresentou a formação de grumos quebradiços, mostrando a tendência e a formação do processo de retrogradação do amido, que sofre sinérese e se torna duro e quebradiço.

4.7 Análise da cor

Como pode ser visto na Tabela 29 foi realizada a análise de cor dos extrudados para os tratamentos com as melhores características tecnológicas.

Tabela 29: Análise de cor dos melhores tratamentos das farinhas extrudadas de milho, arroz e feijão.

Amostras**	L*	a*	b*
Arroz	88,76 ± 0,35 ^a	0,40 ± 0,06 ^f	5,94 ± 0,15 ^f
Feijão	86,84 ± 0,11 ^b	1,53 ± 0,03 ^e	12,73 ± 0,15 ^e
Milho	83,795 ± 0,34 ^c	4,67 ± 0,15 ^a	30,52 ± 0,69 ^a
Farinha Mista	86,74 ± 0,13 ^b	2,21 ± 0,04 ^d	15,51 ± 0,13 ^d
T3	79,53 ± 0,36 ^e	3,78 ± 0,13 ^b	19,79 ± 0,33 ^{bc}
T4	80,84 ± 0,13 ^d	3,21 ± 0,06 ^c	19,32 ± 0,39 ^c
T5	79,29 ± 0,34 ^e	3,55 ± 0,16 ^b	20,08 ± 0,39 ^{bc}
T8	79,04 ± 0,38 ^e	3,83 ± 0,11 ^b	20,52 ± 0,27 ^b
T10	81,00 ± 0,38 ^d	3,19 ± 0,20 ^c	20,04 ± 0,63 ^{bc}

Amostras: **Arroz: branco polido variedade Chorinho; **Feijão:** Carioca variedade BRS Pontal; **Milho:** grits de milho; **Farinha Mista:** farinha com 35% de arroz e feijão e 30% de milho; **T3:** 140°C, 160 rpm e 18% de umidade; **T4:** 180°C, 160 rpm e 18% de umidade; **T5:** 140°C, 120 rpm e 24%; **T8:** 180°C, 160 rpm e 24% umidade ; **T10:** 193°C, 140 rpm e 21% de umidade; **L*:** Luminosidade; **a*:** cromaticidade; **b*:**

A análise de cor é importante do ponto de vista sensorial e de verificação da qualidade das farinhas pós-extrusão e, conjuntamente, para caracterizar a influencia do processo de extrusão termoplástica sobre a matéria extrudada.

Os valores de L* Luminosidade encontrados foram entre 79,04 a 80,84 para as farinhas extrudadas, sendo valores inferiores aos encontrados para as matérias-primas. Em destaque para a farinha de arroz, que apresentou o maior valor (88,76). O mesmo foi observado para a farinha extrudada de batata-doce, onde os resultados variaram de 81 a 88, sendo que o valor de L* na farinha não extrudada foi de 94,6 (BORBA. et. al., 2006) A extrusão promoveu, portanto, redução da luminosidade das farinhas, isto é, elas se tornaram mais escuras.

Dentre os tratamentos extrudados, T4 e T10, não apresentaram diferença significativa e mostra que a variável temperatura, ou seja, a influencia do calor, interfere no resultado, podendo aumentar a Luminosidade. O menor valor foi encontrado para o Tratamento 8, que foi elaborado utilizando os níveis positivos das três variáveis, demonstrando que possivelmente a ao unir na mesma amostra as condições mais elevadas de temperatura, e rotação e baixa umidade no processo de extrusão, o produto extrudado apresenta baixa luminosidade.

Ao contrario da Luminosidade, para os valores de a* o milho foi o que se ressaltou, obtendo o maior valor (4,668) enquanto que as outras farinhas cruas, apresentaram os menores valores e que deferiram em grande percentual uma das outras ao nível de 5% de significância. Em destaque para a farinha de arroz, que obteve um resultado muito baixo, em torno de 0,400. Como o a* representa a intensidade da cor vermelha e que essa intensidade aumenta em valores de 0 a 100, tanto as farinhas cruas, quanto as farinhas extrudadas têm essa característica menos acentuada. O que também justifica o baixo resultado da farinha de arroz.

A farinha mista crua apresentou cromaticidade a* 2,21, enquanto que as farinhas mistas extrudadas apresentam valores entre 3,19 e 3,78, mostrando que o processo de extrusão aumenta a intensidade desse parâmetro. Dentre os tratamentos extrudados o T8 apresentou

maior valor desse parâmetro de cor em igual valor estatístico para o T3 e T5. Para os extrudados o menor valor foi para o tratamento T10, quando se utilizou o nível + a de temperatura, que pode ter agredido a estrutura do extrudado.

De acordo com Bhattacharya, S., Sivakumar, V. & Chakraborty, D (1997), verificaram que um aumento na velocidade do parafuso no processo de extrusão reduz os valores de a^* , já que a velocidade do parafuso está inversamente relacionada com o tempo de residência e, por conseguinte, a extensão do tratamento térmico. As condições de processamento utilizadas no cozimento de extrusão, como elevada temperatura, elevada pressão e baixo teor de umidade da alimentação, muitas vezes dão origem a um produto colorido ou mesmo uma mudança na cor do alimento. O processo leva a um escurecimento não enzimático, por reação entre peptídeos e açúcares redutores, e as condições afetam diretamente a cor do produto pós-extrusão.

Os valores do parâmetro b^* das amostras extrudadas variaram entre 20,520 a 19,320. Foi considerada uma proximidade entre os resultados, explicada de forma mais clara através do Teste de Tukey. Como o valor de b^* positivo representa a tendência da coloração da amostra para o amarelo, o milho apresentou o maior valor para esse parâmetro. A farinha mista crua apresentou um valor de 15,51, resultado esse menor que o das farinhas mistas extrudadas. Isso mostra que o processo de extrusão provoca a intensidade desse parâmetro.

Nota-se a influência do processo de extrusão na terminação da cor e observa-se que os extrudados apresentam uma coloração que tende para o amarelo mais escuro, e com pequena nuância para o vermelho. Observa-se também na Tabela 29, que essa coloração é dada pelo percentual de milho na amostra com participação também do feijão para fornecer a coloração característica da farinha de arroz, feijão e milho extrudadas.

4.8 Otimização das melhores condições de processo quanto as características tecnológicas das farinhas extrudadas de milho, arroz e feijão.

Analisando-se os dados obtidos na caracterização tecnológica das farinhas extrudadas, verifica-se que os tratamentos que apresentaram os melhores resultados para Índice de expansão radial (podendo ser utilizado no desenvolvimento de snacks), de Índices de solubilidade e absorção (que podem ser utilizados para elaboração de produtos instantâneos de maior e menor solubilidade, para o desenvolvimento de sopas e para incrementar molhos e produtos de panificação) e bons resultados de viscosidade e reconstituição, foram os tratamentos 3, 4, 8, 10. Estes foram, então, caracterizados quanto a cor, composição centesimal e teor de minerais.

Os produtos obtidos nos tratamentos 3 e 4 apresentaram maiores resultados de índice de expansão radial em condições de 18% de umidade, 160 rpm de rotação do parafuso e 140° e 180°C respectivamente, mostrando a não influência da temperatura para esse material na expansão do produto. Essas amostras também se apresentaram mais solúveis, de acordo com os elevados resultados de índice de solubilidade, o que aumenta sua aplicabilidade como farinha pré-gelatinizada para uso em líquidos pastosos.

Já os extrudados obtidos nos tratamentos 8 (180°C, 160 rpm e 24%), 10 (193°C, 140 rpm e 21%) e 5 (140°C, 120rpm e 24% de umidade) se destacaram pela elevada capacidade de absorção de água e boas características viscoamilográficas. Um alimento instantâneo é aquele que atinge a viscosidade máxima com a adição de água. Quando, ao ser aquecido, continua aumentando a viscosidade, significa que passou por um processo de pré-gelatinização, e com base nessas características o produto desenvolvido não pode ser considerado produto

instantâneo (além disso esse tratamento apresentou bons resultados de minerais, principalmente ferro e zinco, e outro macronutrientes).

Para produtos de preparo rápido, os tratamentos que apresentam elevada viscosidade a frio e elevado IAA, são os mais indicados, sendo os obtidos com temperatura de extrusão acima de 180°C. Guha et. al. (1988) sugerem que farinhas pré-gelatinizadas com baixa viscosidade podem ser usadas para produtos com elevado teor de sólidos, como fórmulas infantis para lactentes e alimentos para dietas especiais.

A variável que influenciou a maioria dos resultados no presente estudo foi a umidade. Uma maior umidade levou a um aumento na absorção e na viscosidade, enquanto os baixos valores de umidade levaram a um snack mais expandido e uma farinha com elevada solubilidade.

Trabalho realizado por Clerici¹ e El-Dash (2008) com elaboração de farinhas pré-gelatinizadas de arroz, concluíram que as condições ideais para elaboração de produtos expandidos foi a 150°C de temperatura e 19,2% de umidade, resultados esses que apresentaram maiores valores de expansão. Enquanto que as melhores condições para o desenvolvimento de produtos com elevado espessamento a frio e pouca agitação para o preparo, como farinhas lácteas, alimentos infantis anti-refluxo foram os que geraram maiores valores de viscosidade inicial (VI) e índice de absorção em água (IAA).

No presente estudo, pode-se verificar que as condições ideais para a elaboração de farinhas elevadamente solúveis devem utilizar baixa umidade (>18%) e temperatura da 3ª zona do extrusor e rotação do parafuso nos pontos centrais deste experimento (160°C e 140 rpm). Já para a elaboração de produtos viscosos e até mesmo com bons teores de ferro deve-se utilizar 180°C, 160 rpm e 24% de umidade (tratamento 8).

4.9 Caracterização química das matérias-primas e das farinhas mistas extrudadas de milho, arroz e feijão.

4.9.1 Composição centesimal

A Figura 19 mostra os valores de composição centesimal para as matérias-primas utilizadas na elaboração dos extrudados expandidos. A umidade foi maior para o arroz branco (14,35g/100g), seguido do milho em forma de grits (11,80g/100g). Enquanto que o feijão, com casca e sem casca, apresentou umidade muito baixa, em torno de 3,0g/100g, mostrando também que o processo de descasque do feijão não provocou mudanças na umidade do material.

O milho apresentou o maior percentual de carboidrato (79,71g/100g), mostrando que pode ser considerado o maior fornecedor do amido para o processo de gelatinização provocado pela extrusão termoplástica característica das farinhas extrudadas. Sendo o arroz branco da Variedade Chorinho o segundo maior teor de carboidratos (75,73g/100g), também fornecendo uma quantidade significativa do amido para gerar o produto final.

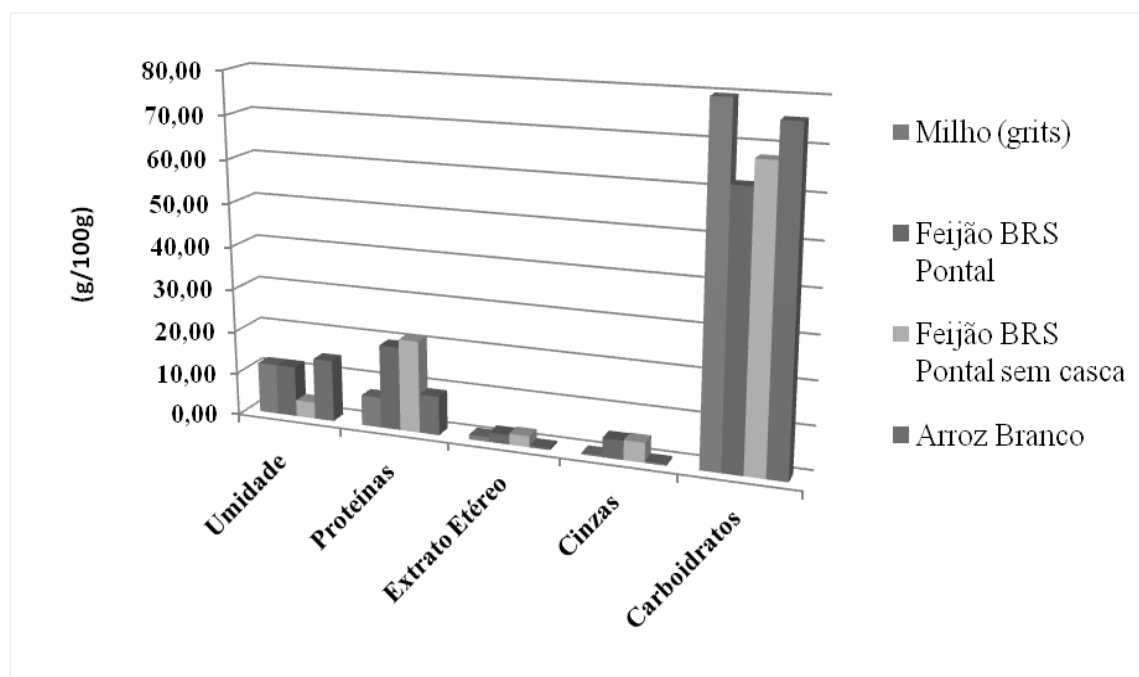


Figura 19: Composição centesimal das matérias-primas: arroz, feijão e milho.

*Amostras: **Arroz:** branco polido variedade Chorinho; **Feijão:** Carioca variedade BRS Pontal; **Milho:** grits de milho;

Em relação ao conteúdo de proteína nas amostras cruas, o feijão carioca da variedade BRS Pontal, pode se destacar, pois apresentou os maiores valores (21,34 e 19,47g/100g, para feijão sem casca e com casca respectivamente), sendo ele uma das maiores fontes de proteína da dieta do brasileiro. Houve uma diferença significativa, no nível de 5% de confiança, entre o feijão sem casca e o integral, que demonstrou que a retirada da casca promoveu uma maior disponibilidade da proteína para o feijão, o que possivelmente pode ser devido aos fatores antinutricionais que se encontram na casca. A diferença no conteúdo proteico entre o feijão carioca e o arroz e o milho foi de quase 60%, o que pode ser verificado pela Tabela 30.

A maioria das cultivares de feijão apresenta em torno de 25% de proteína, que é rica no aminoácido essencial lisina, mas pobre nos aminoácidos sulfurados. Esta deficiência, contudo, é suprida pelo consumo dessa leguminosa com alguns cereais, especialmente o arroz, o que torna a tradicional dieta brasileira, o arroz com feijão, complementar, no que se refere aos aminoácidos essenciais.

O descasque do feijão evidenciou uma diferença no teor proteico entre o feijão integral e o feijão sem o cotilédone. Estudos mostram que a ação do calor destrói total ou parcialmente a ação tóxica de algumas substâncias antinutricionais. Como se sabe o processo de descasque leva a um aquecimento brando do feijão, após período de remolho em temperatura acima do ambiente, o que pode ter promovido essa diferenciação, já que a maior parte dos fatores antinutricionais se encontra na casca das leguminosas (CANNIATTI-BRAZACA, S.G., 1997).

Por outro lado, o teor de extrato etéreo para feijão, com casca e sem casca, foi maior do que para as outras matérias-primas, não apresentando diferença significativa pelo processo de descasque. E o arroz branco apresentou o menor valor de extrato etéreo (0,44g/100g).

Na Tabela 30 são mostrados os resultados da composição centesimal das matérias-primas antes da extrusão para comparação com os resultados das farinhas extrudadas.

O processo de extrusão termoplástica, devido ao curto período de permanência do material no canhão, promove além do aumento da digestibilidade e inativação enzimática, menores perdas de nutrientes, quando comparado a processos convencionais de aplicação de calor (SILVA, 2011).

Tabela 30: Composição centesimal (%) do milho (*grits*), feijão Carioca BRS Pontal com casca e sem casca, arroz branco polido variedade Chorinho e das amostras extrudadas.

Amostras*	Umidade (g/100g)	Cinzas (g/100g)	Proteína (g/100g)	Extrato Etéreo (g/100g)	Carboidratos (g/100g)	Valor Calórico (kcal/100g)
Arroz	14,35 ^a	0,45 ^d	9,03 ^d	0,44 ^d	75,73 ^c	342,95 ^e
Feijão	3,84 ^e	4,43 ^b	19,47 ^b	2,25 ^a	62,05 ^e	346,33 ^d
Feijão sem casca	3,84 ^{ef}	4,56 ^a	21,34 ^a	2,56 ^a	67,68 ^d	379,16 ^a
Milho	11,80 ^b	0,36 ^d	7,06 ^e	1,08 ^c	79,71 ^b	356,80 ^c
T3	5,03 ^d	1,98 ^c	11,28 ^c	0,52 ^d	81,20 ^{ab}	374,58 ^b
T4	5,41 ^c	1,98 ^c	11,45 ^c	0,52 ^d	80,66 ^{ab}	373,04 ^b
T5	5,03 ^d	2,00 ^c	10,69 ^{cd}	0,47 ^d	81,81 ^a	374,25 ^b
T8	3,70 ^f	2,02 ^c	11,72 ^c	0,44 ^d	82,13 ^a	379,36 ^a
T10	3,91 ^e	1,99 ^c	11,75 ^c	0,68 ^d	81,67 ^a	379,75 ^a

*Amostras: **Arroz**: branco polido variedade Chorinho; **Feijão**: Carioca variedade BRS Pontal; **Milho**: grits de milho Granfino®; **T3**: 140°C, 160 rpm e 18% de umidade; **T4**: 180°C, 160 rpm e 18% de umidade; **T5**: 140°C, 120 rpm e 24%; **T8**: 180°C, 160 rpm e 24% umidade ; **T10**: 193°C, 140 rpm e 21% de umidade.

Em relação ao teor de umidade das amostras extrudadas, as mesmas apresentaram umidade baixa, característica dos produtos extrudados, pois o processo, que é realizado a elevadas temperaturas, já promove a secagem da massa e o produto ao sair da extrusora fica em estufa com circulação de ar por um tempo determinado para diminuir a umidade até em torno de 5%.

Não houve diferença significativa, pelo teste de Tukey, entre as amostras T3 e T5 mostrando a influencia da relação entre a umidade e rotação, pois quando se aumentou a rotação e diminuiu a umidade e vice-versa, a umidade final do produto foi a mesma. A umidade final do produto pode apresentar essas diferenças devido a fatores externos ao processo de extrusão, como erros no processo de secagem, tempo e temperatura, já que as extrusões não foram realizadas todas no mesmo dia.

Os tratamentos T8 e T10 apresentaram os menores valores de umidade final (3,70 e 3,91% respectivamente), e, por outro lado, foram os que apresentaram melhores resultados de absorção. O conteúdo de umidade final afeta a vida de prateleira e estabilidade do produto, por isso a grande importância em estar no teor adequado.

As cinzas fornecem estimativas sobre o conteúdo total mineral dos alimentos. Os maiores valores de cinzas foram encontrados para os feijões sem casca e com casca (4,56 e 4,43g/100g, respectivamente), enquanto que arroz branco (0,45g/100g) e milho (0,36g/100g) apresentaram valores muito baixos. Enquanto que as farinhas extrudadas não apresentaram diferença significativa entre elas. Estes valores foram semelhantes ao encontrado por Silva, 2011, onde o teor desse componente nas amostras extrudadas variou entre 0,4 e 1,9g/100g, sendo diretamente proporcional ao conteúdo de feijão na mistura.

Os minerais presentes nas cinzas são encontrados nas formas de óxidos metálicos, sulfatos, fosfatos, nitratos, cloretos e outros halogenatos. Dessa maneira esses resultados superestimam o conteúdo mineral total. No entanto fornece uma ideia bruta do conteúdo mineral (DAMODARAN, 2010). Como o feijão foi a matéria-prima que apresentou valores muito superiores de cinzas, pode se dizer que o conteúdo de minerais apresentado pelas farinhas extrudadas foi fornecido pelo feijão sem casca que se encontra em 35% da mistura das três matérias-primas.

Dentre as farinhas extrudadas, não houve diferença significativa em relação ao valor proteico, em torno de 11,50g/100g. Nota-se, pela Tabela 30, que o maior fornecimento de proteína para as farinhas extrudadas foi por parte do feijão BRS Pontal, que apresentou maiores valores de proteína. Como dito anteriormente, o feijão é uma das grandes fontes de proteína na dieta dos brasileiros, apesar da mesma não se apresentar como de elevada qualidade devido à deficiência de alguns aminoácidos essenciais, mas que pode ser complementada pela combinação com outras matérias-primas como o arroz.

Elevadas temperaturas e a presença de açúcares causam o escurecimento do extrudado pela reação de Maillard e, conseqüentemente, redução na qualidade das proteínas. Baixas temperaturas e concentração de açúcares resultam em um aumento da digestibilidade da proteína devido à reorganização da estrutura proteica (FELLOWS, 2006).

Ainda analisando os dados da Tabela 30, o feijão cru, apresenta o maior percentual de lipídeos (extrato etéreo), cerca de duas vezes mais que as outras matérias-primas. Enquanto que para as farinhas extrudadas, o tratamento T10 apresentou o maior resultado (0,68g/100g) e o tratamento T8 o menor resultado (0,44g/100g), mas não foram verificadas diferenças significativa entre as amostras extrudadas ao nível de 5% de confiança. Alguns autores (GOMES et al., 2006; RUIZ-RUIZ et al., 2008) evidenciaram que o conteúdo lipídico das amostras extrudadas decresceu conforme o aumento da velocidade do parafuso (>300 rpm) e da temperatura (>200°C), ao utilizarem uma extrusora comercial, diferente da experimental utilizada neste estudo, já que atinge elevados graus de temperatura e rotação.

O valor calórico das amostras extrudadas variou de 373,58 a 379,35 kcal.

A análise do teor de fibra foi realizada apenas para os melhores tratamentos das farinhas extrudadas de arroz, feijão e milho com o objetivo de caracterizar o produto pronto, verificando sua qualidade visto a legislação vigente.

O conteúdo de fibra alimentar para as amostras extrudadas foi bem elevado quando comparado a outros autores e ficou entre 7,42 e 8,85 g/100g (Figura 20). A Portaria Nº 27, de 13 de Janeiro de 1998 da ANVISA, preconiza como alimento fonte de fibra, aqueles que tem um teor mínimo de 3g e para alimentos com elevado teor desse nutriente, um valor mínimo de 6g para alimentos sólidos. O resultado do teor de fibra das farinhas extrudadas de arroz, feijão e milho caracteriza todas as farinhas como produtos com elevado teor de fibra alimentar, superando o mínimo preconizado pela legislação. Em destaque, os produtos dos tratamentos T8 e T10, com valores acima de 8,5g/100g.

De acordo com a American Association of Cereal Chemists (AACC, 2000), a fibra alimentar inclui polissacarídeos, oligossacarídeos, lignina e substâncias associadas à planta. A fibra alimentar promove efeitos fisiológicos benéficos, incluindo laxação, e/ou atenuação do colesterol do sangue e/ou atenuação da glicose do sangue.

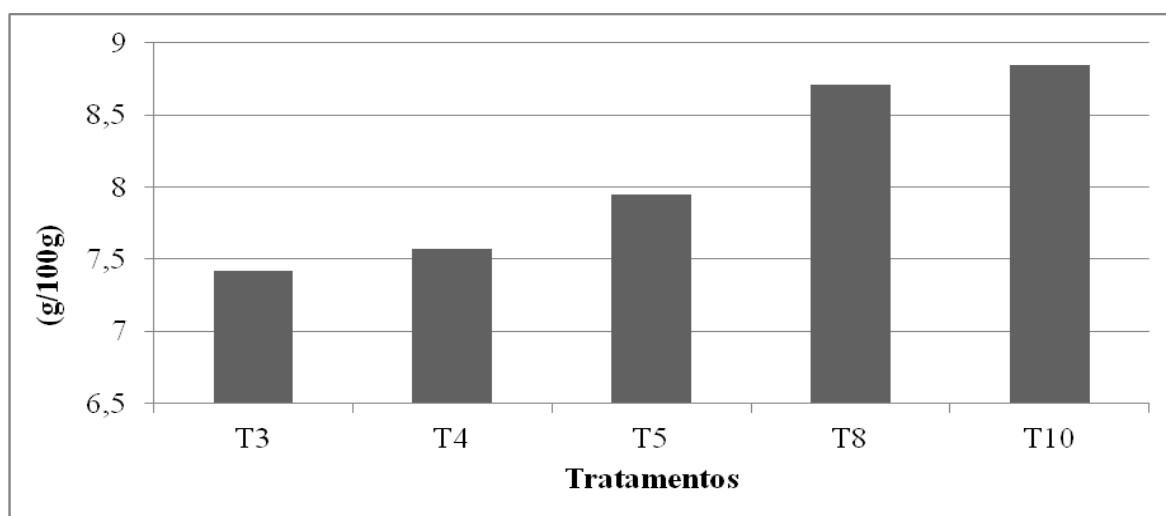


Figura 20: Resultados de fibra alimentar para os melhores tratamentos das farinhas extrudadas.

*Tratamentos: **T3**: 140°C, 160 rpm e 18% de umidade; **T4**: 180°C, 160 rpm e 18% de umidade; **T5**: 140°C, 120 rpm e 24%; **T8**: 180°C, 160 rpm e 24% umidade ; **T10**: 193°C, 140 rpm e 21% de umidade.

A USDA (2001) preconiza valores de fibra alimentar para o feijão de 15,2 % e para o milho, na forma de *grits*, de 1,9%, e cinzas, de 0,46%, semelhantes aos valores encontrados no presente trabalho, exceto por lipídios e fibra alimentar cujos valores são superiores aos observados nesse estudo.

O conteúdo de fibras pode ser reduzido devido à degradação da fibra alimentar em fragmentos moleculares de menor peso, enquanto sua composição pode modificar em resposta a modificação do amido, que forma frações resistentes ao ataque enzimático (RUIZ-RUIZ et al., 2008).

O aumento da rotação do parafuso possui como principal efeito o aumento do grau de cisalhamento devido a uma maior fricção, gerando calor mecânico. Com isso pode causar um aumento na cocção e consequentemente na gelatinização do amido, porém, com o aumento da velocidade do parafuso também ocorre a redução do tempo. A degradação molecular da fibra alimentar em extrudados, aumenta a sua solubilidade, modificando seus efeitos fisiológicos (RUIZ-RUIZ et al., 2008).

4.9.2 Perfil de minerais

Na Tabela 31 está mostrado o teor de minerais para as farinhas mistas extrudadas de arroz, feijão e milho selecionados, além dos resultados para as amostras cruas de milho, feijão com casca e sem casca e o arroz branco. Os resultados mostram que o feijão apresentou os melhores resultados para os minerais potássio (1997,30 mg/100g), manganês (2,22 mg/100g), cobre (0,82 mg/100g) e zinco (4,02 mg/100g), enquanto que para os outros minerais, magnésio, cálcio e ferro, quem se destacou foi o feijão integral. Destaque também para o tratamento T8 que apresentou o maior teor de ferro.

Tabela 31: Perfil de Minerais para a farinha mista crua e para os melhores tratamentos das farinhas extrudadas.

Amostras	Magnésio (mg/100g)	Potássio (mg/100g)	Cálcio (mg/100g)	Manganês (mg/100g)	Ferro (mg/100g)	Cobre (mg/100g)	Zinco (mg/100g)
<i>Matérias-primas cruas</i>							
Milho	21,775	133,55	2,55	0,11	0,62	ND*	0,56
Feijão integral	192,25	1828,50	153,85	1,99	7,10	0,62	3,92
Feijão sem casca	188,55	1997,30	46,76	2,22	7,06	0,82	4,02
Arroz Branco	25,13	104,40	4,23	1,12	0,58	0,08	2,15
<i>Farinhas extrudadas</i>							
T3	81,88	762,19	27,06	1,14	3,01	0,62	2,35
T4	81,78	754,20	27,80	1,12	3,31	0,59	2,35
T5	85,27	787,74	28,71	1,14	3,19	0,62	2,40
T8	84,91	772,65	46,76	1,11	5,06	0,61	2,32
T10	82,19	749,99	46,76	1,12	3,05	0,61	2,37
Farinha Mista**	81,32	775,66	18,61	1,21	2,95	0,32	2,34
Recomendação (mg/dia) para crianças (4- 8anos)	130	3800	800	2	10	0	5
Recomendação (mg/dia) adultos	350	4500	1000	2	15	0,9	10

*Amostras: **Arroz**: tipo branco polido variedade Chorinho; **Feijão**: tipo carioca variedade BRS Pontal; **Milho**: grits de milho Granfino®; **T3**: 140°C, 160 rpm e 18% de umidade; **T4**: 180°C, 160 rpm e 18% de umidade; **T5**: 140°C, 120 rpm e 24%; **T8**: 180°C, 160 rpm e 24% umidade ; **T10**: 193°C, 140 rpm e 21% de umidade;

** **Farinha Mista**: farinha com 35% de arroz e feijão e 30% de milho. Resultado de perfil de minerais pra farinha mista foi obtido por estimativa de valores através do percentual de cada matéria-prima na mistura e a soma do valor das três concentrações.

O feijão BRS Pontal, com casca ou sem casca, se destacou como tendo os maiores teores para todos os minerais analisados. De acordo com a recomendação diária para crianças de 4 a 8 anos (INSTITUTE OF MEDICINE/FOOD AND NUTITION BOARD, 1997) ele pode ser considerado fonte desses minerais. Uma das causas da perda de minerais nos alimentos é a moagem de cereais, já que os elementos minerais dos grãos tendem a se concentrar nas camadas do farelo e do gérmen. O que resta da remoção do farelo e do gérmen é o endosperma puro, o qual é pobre em minerais (DAMODARAN S. et.al., 2010). Isto pode explicar o baixo teor de minerais do milho, já que essa matéria-prima foi utilizada em forma de grits, que é o grão de milho degerminado.

Foram encontrados valores elevados de magnésio no feijão BRS Pontal com casca e sem casca. O valor foi muito superior ao encontrado para as outras matérias-primas e ao preconizado como mínimo de ingestão recomendada. O consumo excessivo de magnésio é raro, exceto quando há consumo exagerado de suplementos desse mineral. Por outro lado, as farinhas extrudadas apresentaram valores inferiores aos do feijão, mas superiores ao recomendado como mostra a Tabela 30.

Em relação ao potássio, o feijão BRS Pontal sem casca, o qual foi utilizado na elaboração da farinha extrudada, apresentou teor 19 vezes superior para o arroz e quase 15

vezes superior para o milho. Assim como magnésio, os tratamentos T5 e T8, elaborados com maiores valores de umidade (24%), tiveram os maiores resultados. E esses resultados foram duas vezes maiores que a recomendação.

Para que a biodisponibilidade dos minerais presentes no feijão possa ser mais efetiva, os grãos devem ser submetidos ao processamento térmico, para a eliminação dos fatores antinutricionais, sendo a extrusão termoplástica um processamento efetivo. No entanto, a remoção da casca, importante para melhorar a textura e a aparência de produtos elaborados com feijão, assim como os tratamentos de hidratação e secagem podem talvez afetar os teores dos minerais presentes no feijão e no produto final (SILVA, 2009).

Isso pode ser observado para o teor de cálcio. Este mineral está mais presente nas cascas das leguminosas e por isso foi verificado uma perda significativa de três vezes menos. O descascamento reduz o tempo de cozimento e diminui o conteúdo de cálcio e taninos (BARAMPAMA e SIMARD, 1995). As amostras de arroz (4,23 mg/100g) e milho (2,55 mg/100g) apresentaram valores muito baixos de cálcio, mostrando a baixa presença desse mineral nesses alimentos.

Para os resultados de manganês, o milho se destacou por apresentar o menor resultado (0,11mg/100g), um valor muito inferior comparado ao feijão BRS Pontal com casca e sem casca que apresentou percentual de manganês elevado e em acordo com a IDR. Silva, (2010), também analisou a variedade de feijão BRS Pontal e encontrou teores de magnésio para feijão sem casca de 1,98 mg/100g, similar ao do presente estudo, enquanto as farinhas extrudadas de feijão e milho apresentaram resultados que variaram de 0,19 a 1,10 mg/100g, nos tratamentos considerados como os melhores tratamentos, diferente para as farinhas de arroz, feijão e milho (variação de 1,11 a 1,14 mg/100g). Isto pode ser explicado pelo fato do estudo realizado com feijão e milho, ter utilizado em sua formulação, concentrações variadas de feijão, de 5 a 45% do mesmo, o que levou a variação do teor de manganês e de outro micro e macronutrientes.

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 do produto. Para o mineral ferro o feijão BRS Pontal pode ser considerado com elevado teor desse mineral tanto para a ingestão de crianças quanto adultos. Por outro lado, o arroz e o milho apresentam teores muito baixos de ferro e não conseguem atingir o mínimo recomendado pela legislação.

Oliveira (1997), estudando uma variedade de feijão vermelho cozido e seco encontrou teores de ferro de 7,70 mg/100 g de amostra. Em outro estudo, feito por Barampama e Simard (1993) encontraram valores do conteúdo de ferro entre 6,02 e 9,49 mg/100 g de feijão seco, para quatro diferentes tipos de feijão.

Maldonado e Sammám (2000) verificaram que os teores de ferro ficaram entre 8,81mg/100g para o feijão Carioca e foram considerados semelhantes para o feijão BRS Pontal utilizado no presente estudo, de 7,0g/100g de ferro.

As farinhas extrudadas de arroz, feijão e milho se apresentam como produtos com elevado teor de ferro para crianças (todas em torno de 3g de ferro/100g de produto) e alimento fonte desse mineral para adultos. Esses dados são muito importantes para o produto que poderá ser elaborado, ou mesmo a farinha ser utilizada como produto pronto para o consumo. Esses resultados se devem ao percentual elevado de farinha de feijão utilizado na elaboração do extrudado.

Destaque para o tratamento T8, cujo produto apresentou o maior valor de ferro e pode ser considerado até mesmo um produto com elevado teor de ferro de acordo com a ingestão diária recomendável para adultos e crianças.

A anemia por deficiência de ferro atinge cerca de 46 e 48% de crianças e gestantes, respectivamente, em âmbito mundial, além de ser considerado um dos principais problemas

de saúde pública de países em desenvolvimento. No Brasil, é o maior problema relacionado à deficiência de micronutrientes (COZZOLINO, 2007).

O ferro, assim como o cálcio, zinco e magnésio, podem se tornar indisponíveis para absorção pela presença de fatores antinutricionais, como ácido fítico e os fosfatos presentes nos alimentos, principalmente nas leguminosas como o feijão. O ácido fítico, além de quelar os minerais como cálcio, ferro e zinco, podem-se combinar com proteínas e amido, resultando na redução da biodisponibilidade destes nutrientes para o organismo (OATWAY et al. 2001).

Os valores de cobre encontrados para as farinhas extrudadas foi em torno de 0,60 g/100g e teoricamente o processo de extrusão aumentou o teor desse mineral quando comparado com a estimativa do percentual de cobre para a farinha mista crua. Esses valores foram inferiores aos encontrados para farelo de arroz extrudado elaborado por Lacerda, et.al. (2010), em torno de 1,14mg/100g. Vale ressaltar que, nesse mesmo estudo, foi realizada análise de cobre no farelo de arroz cru (1,09 mg/100g), cujo teor foi muito superior ao encontrado no arroz cru (0,08 mg/100g) utilizado neste estudo.

Foi utilizado nesse trabalho feijão BRS Pontal e arroz branco variedade Chorinho, amostras em processo de biofortificação que fazem parte dos projetos HarvestPlus e Agrosalud, fortificadas com ferro e zinco. Essas matérias-primas convencionais apresentam 12mg de zinco e 2 mg de ferro em 100g de arroz branco, e 50 mg de ferro e 30 mg de zinco para o feijão tipo carioca, enquanto que as amostras biofortificadas, utilizadas neste estudo, apresentam em média, 18 mg de zinco e 4 mg de ferro por kg de arroz branco polido e 90 mg de ferro e 50 mg de zinco por kg de cultivar BRS Pontal (BIOFORT, 2010).

Silva (2010) verificou essa diferença ao comparar resultados de ferro e zinco para feijão carioca convencional sem casca (5,18 mg/100g e 2,79mg/100g) e feijão BRS Pontal também sem casca (6,55mg/100g e 3,41mg/100g) e constatou um valor mais elevado para o feijão proveniente do processo de biofortificação.

As fontes mais importantes de ferro para a população brasileira são feijão e carnes vermelhas. Embora a deficiência de zinco não seja tão estudada como a de ferro, considerando-se que os alimentos fonte destes dois nutrientes são os mesmos (sabe-se que fontes ricas em ferro biodisponível também são ricas em zinco biodisponível), é de se esperar uma elevada incidência também para esta deficiência. O projeto BioFORT é responsável pela biofortificação de alimentos no Brasil, que aspira diminuir a desnutrição e garantir maior segurança alimentar através do aumento dos teores de ferro, zinco e vitamina A na dieta da população mais carente, utilizando melhoramento genético convencional (BIOFORT, 2010).

Para os resultados de zinco, mais uma vez o destaque para o feijão que apresentou o dobro do teor de zinco (40,23 mg/100g) ao se comparar com o arroz branco, que também apresentou um bom teor de zinco. Entre as farinhas extrudadas não houve diferença significativa ao nível de 5% de significância quando realizado o teste de Tukey. O tratamento 5 apresentou o maior resultado.

Os resultados de minerais mostraram que as farinhas mistas extrudadas de arroz, feijão e milho apresentaram bons resultados de minerais, principalmente ferro e zinco, focos do projeto de biofortificação de alimentos e importantes para o trabalho de garantia da segurança alimentar da população.

De acordo com o que a legislação preconiza para ingestão diária recomendada (IDR), as farinhas mistas apresentaram em torno de 61% da IDR para crianças e 23% para adultos de magnésio, 20% e 17% para potássio, 56% de ambas IDR para o mineral manganês, 67% da IDR de adultos para Cobre e em torno de 47% da IDR de crianças e 4 a 8 anos e 33,5% da IDR de adultos para o zinco.

Os extrudados do tratamento 8, elaborados com 180°C de temperatura, 160 rpm de rotação e 24% de umidade, foi o que se destacou por apresentar 50,6% da IDR para crianças do mineral ferro. Esse tratamento foi o que apresentou maiores resultados de viscosidade a

temperatura ambiente e à temperatura elevada, o qual pode ser utilizado na elaboração de produtos voltados para a alimentação infantil, tipo “*papinhas*”, e no enriquecimento de mingaus, sopas cremosas etc.

4.9.3 Perfil de aminoácidos

Uma mistura proteica de boa qualidade ou de elevado valor biológico é aquela que fornece boa digestibilidade, quantidades adequadas de aminoácidos essenciais e de nitrogênio total (PIRES, et.al., 2006).

No estudo de Lopes (2010) com bandinha de feijão extrudada, foi verificado um aumento da digestibilidade da farinha com o processo de extrusão, justificado pela ação do calor, da umidade baixa e da rotação, que podem levar a uma maior exposição dos sítios de ação enzimática, tornando a proteína mais susceptível.

A Tabela 32 mostra a composição de aminoácidos essenciais das matérias-primas milho, arroz branco variedade Chorinho, e feijão carioca BRS Pontal sem casca utilizados no presente estudo e os teores dos mesmos aminoácidos recomendado pela FAO/OMS para crianças de 2 a 12 anos e adultos, para possível comparação.

Tabela 32: Composição em aminoácidos essenciais (mg aminoácido/g de proteína), em base seca, do grãos de milho, feijão BRS Pontal sem casca e recomendações da FAO/WHO, para crianças de 2 a 5 anos, 10 a 12 anos e adultos.

Aminoácidos	Milho	Arroz	Feijão*	FAO/WHO - 2 a 5 anos	FAO/WHO - Adultos
Histidina	19,12	23,26	30,30	19	16
Treonina	30,45	33,78	55,73	34	9
Valina	40,37	50,39	57,52	35	13
Lisina	22,66	37,65	80,38	58	16
Isoleucina	26,91	35,99	51,36	28	13
Leucina	108,36	78,63	97,84	66	19
Triptofano	6,30	14,40	16,18	11	5
Fenilalanina + tirosina	71,53	83,61	95,27	63	19
Metionina + cisteína	19,12	22,48	17,49	25	17

*Feijão Carioca BRS Pontal descascado.

FAO/OMS. Human Vitamin and Mineral Requirements. In: Report 7^a Joint FAO/OMS-Expert Consultation. Bangkok, Thailand, 2001. 286p.

Observa-se que a leucina foi o aminoácido mais abundante para as três matérias-primas estudadas, seguida da lisina (80,38 mg/g) para o feijão BRS Pontal, a mistura de fenilalanina e tirosina (83,61 mg/g) para o arroz e para o milho. O feijão foi o que apresentou os maiores teores de aminoácidos essenciais quando comparado com o milho e o arroz, exceto para leucina e a junção metionina e cisteína (aminoácidos sulfurados).

A principal fonte proteica da alimentação brasileira é derivada da ingestão de arroz e feijão. Esta mistura tem adequado teor nitrogenado, supre os aminoácidos essenciais e tem

digestibilidade ao redor de 80%.O aminoácido essencial que mostra o escore menor que 1,0 é o aminoácido limitante na proteína teste (PIRES, 2006).

Sabe-se que aminoácidos como lisina, treonina, triptofano e aminoácidos sulfurados geralmente são os aminoácidos limitantes nas proteínas alimentares. O escore químico também permite a estimativa da quantidade de uma proteína de teste ou da mistura de proteínas necessárias para alcançar a exigência diária de um aminoácido limitante (DAMORADAN, S., PARKIN, L.K. & FENNEMA, R.O, 2010).

Quando um ou mais aminoácidos aparecem na proteína em quantidades inferiores às requeridas pelo organismo receptor ou em relação a um padrão de referência, tais aminoácidos são tidos como limitantes (SGARBIERI, 1996).

Analisando a Tabela 33 pode-se verificar que para o milho, tem-se como aminoácidos limitantes a Treonina (escore 0,90), lisina (0,39), isoleucina (0,96), triptofano (0,57) e metionina+cisteína (0,76). Já o arroz, apresentou três aminoácidos limitantes segundo a recomendação diária para crianças de 2 a 5 anos, treonina (0,99), lisina (0,65), metionina+cisteína (0,90). Já o feijão, apresentou apenas metionina+cisteína como aminoácidos limitantes (0,664), como já conhecido, por sua deficiência em aminoácidos sulfurados. Os resultados mostram que mesmo com a junção das três matérias-primas para a elaboração de um produto, deve-se encontrar uma proteína com metionina+cisteína como aminoácidos limitantes.

Tabela 33: Escore de aminoácidos do grits de milho, arroz e feijão BRS Pontal sem casca, segundo as recomendações da FAO/WHO (1998) para crianças de 2 a 5 anos de idade.

Aminoácidos	Milho	Arroz	Feijão s/ casca
Histidina	1,006	1,224	1,46
Treonina	0,90	0,99	1,33
Valina	1,15	1,44	1,45
Lisina	0,39	0,65	1,21
Isoleucina	0,96	1,29	1,57
Leucina	1,64	1,19	1,29
Triptofano	0,57	1,31	1,28
Fenilalanina + tirosina	1,14	1,33	1,424
Metionina + cisteína	0,76	0,90	0,664

*Milho: grits; Arroz: branco polido variedade Chorinho; Feijão carioca variedade BRS Pontal
FAO/OMS. Human Vitamin and Mineral Requirements. In: Report 7^a Joint FAO/OMS-
Expert Consultation. Bangkok, Thailand, 2001. 286p

Estudo realizado com farinha de feijão e milho (SILVA, 2010) os aminoácidos lisina e treonina foram considerados limitantes, tanto para o *grits* de milho quanto para o feijão BRS Pontal, de acordo com a recomendação da FAO para crianças de 2 a 5 anos de idade.

Tabela 34: Escore de aminoácidos do grits de milho e feijão BRS Pontal, segundo as recomendações da FAO/WHO (1998) para adultos.

Aminoácidos	Milho	Arroz	Feijão s/ casca
Histidina	1,20	1,45	1,73
Treonina	3,38	3,75	5,02
Valina	3,11	3,88	3,91
Lisina	1,42	2,35	4,38
Isoleucina	2,07	2,77	3,39
Leucina	5,70	4,14	4,46
Triptofano	1,26	2,88	2,81
Fenilalanina + tirosina	3,76	4,40	4,72
Metionina + cisteína	1,24	1,32	1,03

*Milho: grits; Arroz: branco polido variedade Chorinho; Feijão carioca variedade BRS Pontal
FAO/OMS. Human Vitamin and Mineral Requirements. In: Report 7^a Joint FAO/OMS-
Expert Consultation. Bangkok, Thailand, 2001. 286p

De acordo com a ingestão diária para adultos, os valores de escore químico foram bem superiores aos encontrados para a recomendação para crianças de 2 a 5 anos. Por outro lado, o feijão BRS Pontal sem casca apresentou a metionina+cisteína como aminoácido limitante, diminuindo a qualidade da proteína do feijão e da proteína das três matérias-primas.

Pires, et. al. (2006) encontraram valores de 19,95 mg/g de proteína para metionina + cisteína, diferente do encontrado no presente estudo (17,49 mg/g de proteína), visto que trabalharam com feijão cozido e seco em estufa. O cozimento pode melhorar a disponibilidade dos minerais. Já o milho, em forma de fubá, apresentou como o aminoácido em menor teor a metionina+cisteína (22,21 mg/g de proteína), também diferente do encontrado no presente estudo (19,12 mg/g de proteína).

A reação de Maillard, que acontece durante o processo de extrusão, é uma reação química entre açúcar redutor, como glicose, frutose, lactose e, um grupo amino livre ou um aminoácido, geralmente do grupo ϵ -amino de lisina, tem importantes consequências nutricionais e funcionais. Logo, essa reação pode provocar a perda de aminoácidos essenciais, como a lisina, para as farinhas extrudadas, o que pode diminuir a qualidade da proteína (CAMIRE et. al., 1990).

O processo de extrusão pode provocar diferentes reações, como destruição de aminoácidos por oxidação, principalmente dos que contêm enxofre, modificação de ligações entre aminoácidos, o que pode retardar sua liberação no processo digestivo, e formação de ligações não hidrolisáveis durante a digestão. Esse processo também pode agir positivamente, possibilitando a inativação enzimática e destruição de fatores antinutricionais do feijão. A maior parte das substâncias tóxicas de leguminosas pode ser inativada ou destruída sob a ação do calor (LLO, S. et.al., 2000).

5 CONCLUSÃO

Em vista de todas as análises realizadas e estudadas, verifica-se que é possível elaborar uma farinha extrudada com características específicas de viscosidade e expansão, com 35% de feijão, 35% de arroz e 30% de milho.

Dentre todas as variáveis independentes estudadas no presente estudo, a umidade foi a que mais influenciou e promoveu modificações na elaboração da farinha extrudada, visto que, para se elaborar uma farinha mais solúvel, uma umidade mais baixa (< 18%) é requerida. Já para a elaboração de uma massa mais cremosa, uma umidade mais alta (acima do ponto central de 21%) pode gerar farinhas com qualidades viscosas mais elevadas.

Para maior expansão do produto e maior solubilidade, o melhor resultado foi obtido para o tratamento T3, cujos extrudados foram elaborados com 140 °C de temperatura, 160 rpm de rotação e 18% de umidade, que apesar de ter apresentado características muito próximas do obtido no tratamento T4 (180°C, 160 rpm e 18% de umidade), teve um resultado maior de vazão, o que representa uma maior eficiência durante o processo e consequente redução de gastos. Uma boa qualidade de expansão e solubilidade pode levar à utilização dos extrudados na elaboração de biscoitos expandidos e farinhas solúveis.

A qualidade tecnológica das farinhas de arroz, feijão e milho também foi avaliada pelas propriedades de pasta. Esta propriedade apresentada pelas farinhas está condizente com a característica de fácil reconstituição, com boa solubilização sem a necessidade de cozimento. Os produtos se destacaram por uma alta viscosidade a frio, baixa viscosidade a quente (95°C) e baixo poder de retrogradação. A amostra do tratamento T8, elaborado a 180°C de temperatura, 160 rpm de rotação e 24% de umidade foi o que apresentou os melhores resultados para o perfil viscoamilográfico, tanto para viscosidades máximas, como para estabilidade do amido sob alta temperatura e agitação, o que é de extrema importância para a elaboração de massas alimentícias pré-cozidas por exemplo.

Dentre os parâmetros físicos a cor foi influenciada pelo processo de extrusão e observou-se que os extrudados apresentaram uma coloração voltada para o amarelo mais escuro, e tendência sutil da coloração vermelha.

As farinhas mistas pré-gelatinizadas de arroz, feijão e milho não apresentaram diferenças, ao nível de 5% de significância, entre as análises de composição centesimal, sendo verificados bons teores de proteínas (11,0g/100g), dentro das recomendações preconizadas, fornecidos especialmente pelo feijão, umas das maiores fontes vegetais de proteína para o consumo humano. Além disso, o resultado do teor de fibra foi elevado e caracterizou as farinhas extrudadas como produtos com alto teor de fibra alimentar, superando o mínimo preconizado pela legislação.

O feijão foi a matéria-prima com o maior aporte de todos os minerais, inclusive o ferro, do qual é uma grande fonte, e o zinco, ressaltando a utilização neste estudo de variedades de feijão e arroz em processo de biorfortificação nesses minerais, provenientes dos projetos HarvestPlus e AgroSalud. Para aminoácidos foi evidenciada a metionina+cisteína como aminoácidos limitantes para o feijão, tanto para crianças quanto para adultos, o que diminui a qualidade de sua proteína. O produto originado do tratamento 8, se destacou por apresentar 50,6% da IDR de crianças para o mineral ferro. Este produto foi o que apresentou maiores valores de viscosidade à temperatura ambiente e à temperatura elevadas, o qual pode ser utilizado na elaboração de produtos voltados para a alimentação infantil, tipo “papinhas”, e no enriquecimento de mingaus, sopas cremosas e etc.

Conclui-se então que é possível elaborar farinhas mistas pré-gelatinizadas de arroz, feijão e milho, em concentrações maiores de feijão e arroz, elevados teores de ferro e zinco e com qualidade nutricional adequada o que é importante no sentido de suprir determinadas carências nutricionais como a anemia e na manutenção da garantia da segurança alimentar e nutricional da população. Além disso, as características de extrusão das farinhas permitem escolher os parâmetros de extrusão utilizados para os tratamentos T3 e T8 para a elaboração posterior de diversos produtos, panificáveis ou não, como alternativas de alimentos saudáveis e que atendam às necessidades dos consumidores.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACELBRA – Associação de Celíacos do Brasil. 2004

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

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS (AACC). Approved methods of the AACC, 1995.

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS (AACC). Approved methods of the AACC, 1983.

ANDERSON, R. A.; CONWAY, H. F.; PFEIFER, V. F.; GRIFFIN JUNIOR, L. Gelatinization of Corn Grits by Roll-and Extrusion-Cooking. **Cereal Science Today**, St. Paul, v.14, n.1, p. 4-12, 1969

ANTON, A.A.; FULCHER, R.G.; ARNTFIELD, S.D. Physical and nutritional impact of fortification of corn starch-based extruded snacks with common bean flour: effects of bean addition and extrusion cooking. **Food Chemistry** (manuscript), 2008.

ANTUNES, P.L., SGARBIERI, V.C.. Effect of heat treatment on the toxicity and nutritive value of dry bean (*Phaseolus vulgaris* var. Rosinha G2) proteins. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington DC, v.28, p.935-938, 1980.

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

ASCHERI, J.L.R. **Curso de processo de extrusão de alimentos: aspectos tecnológicos para o desenvolvimento e produção de alimentos para consumo humano e animal.** EMBRAPA, Abril, 2009, 89p.

ASCHERI, J.L.R. **Curso de processo de extrusão de alimentos: aspectos tecnológicos para o desenvolvimento e produção de alimentos para consumo humano e animal.** EMBRAPA, Abril, 2010, 88p.

AUGUSTO-RUIZ, W.; BONATO, S.; ARRIECHE, L.; RISSO, F.. Caracterização da farinha pré-gelatinizada de arroz integral produzida a partir de grãos quebrados. **VETOR - Revista de Ciências Exatas e Engenharias**, América do Sul, 13 8 12 2003.

BACKSTRAND JR. The history and future of food fortification in the United States: A public health perspective. **Revista de Nutrição**. 60:15-26, 2002.

BARAMPAMA, Z.; SIMARD, R. E. Nutrient composition, protein quality and antinutritional factors of some varieties of dry beans (*Phaseolus vulgaris*) grown in Burundi. **J. Food Chem.**, v. 47, p.159-167, 1993.

BATISTA FILHO, Malaquias., 1999. Alimentação, nutrição & saúde. In: *Epidemiologia & Saúde* (Z. M. Rouquayrol & N. Almeida Filho, org.), pp. 353-374, 5a Ed., Rio de Janeiro: Medsi.

BATISTA FILHO, Malaquias; RISSIN, Anete. A transição nutricional no Brasil: tendências regionais e temporais. **Cadernos Saúde Pública**, Rio de Janeiro, 2010.

BHATTACHARYA, S.; SIVAKUMAR, V.; CHAKRABORTY, D. Changes in CIELab colour parameters due to extrusion of rice-greengram blend: a response surface approach. **Journal of Food Engineering**., Kidlington, v.32, p.125-131, 1997.

BIOFORT. Disponível em: < http://www.biofort.com.br/resultados_port.php>. Acesso em: 07 de maio 2010.

BORBA, Alexandra M.; SARMENTO, Silene B. S.; LEONEL, Magali. Efeito dos parâmetros de extrusão sobre as propriedades funcionais de extrusados da farinha de batata-doce. **Ciência Tecnologia Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 4, Dec. 2005.

BORGES, J., ASCHERI, J., ASCHERI, D., DO NASCIMENTO, R., FREITAS, A.. Propriedades de cozimento e caracterização físico-química de macarrão pré-cozido à base de farinha integral de quinoa (*Chenopodium Quinoa*, Willd) e de farinha de arroz (*Oryza Sativa*, L) polido por extrusão termoplástica. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, América do Norte, 21, fev. 2005.

BOX, G.E.P.; DRAPER, N.R. **Empirical model-building with response surface**, a book published, 1967.

BOX, G.E.P.; HUNTER, W.G.; HUNTER, J.S. **Statistics for experimenters: an introduction to design, data analysis and model building**. New York: John Wiley & Sons, 1978.

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.

BRASIL. Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 1992. 365p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Coordenação-Geral da Política de Alimentação e Nutrição. Oficina de Trabalho "**Carências Nutricionais: Desafio para Saúde Pública**", 2004; Unicef. Aprendendo sobre a vitamina A, ferro e iodo: manual do supervisor. Ministério da Saúde/Unicef, Bethesda de Abreu Soares Schmitz. Brasília, 2002. 84p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Dialogando sobre o direito humano à alimentação adequada no contexto do SUS / Ministério da Saúde. **Série F. Comunicação e Educação em Saúde** – Brasília, 2010. 72 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Agricultura brasileira em números**. 2009.

BRASIL. Resolução RDC ANVISA/MS RDC nº 360, de 23 de dezembro de 2003. **Regulamento Técnico sobre Rotulagem Nutricional de Alimentos Embalados**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 26 dez. 2003.

CAMIRE, M.E.; CAMIRE, A.; KHRUMAR, K. Chemical and nutritional changes in foods during extrusion. **Crit. Rev. Food Science Nutrition**, v.19, n.1, p. 35-57, 1990.

CANNIATTI-BRAZACA, S.G. Antinutricionais em alimentos. In: OETTERER, M. **Processamento e qualidade nutricional dos alimentos: Palestras**. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial, p. 1-23, 1997.

CASTIGLIONI, G.; DORS, G.; AUGUSTO-RUIZ, W.. Utilização da farinha de arroz na elaboração de sobremesa. **VETOR - Revista de Ciências Exatas e Engenharias**, América do Sul, 16 17 12 2007.

CARVALHO, C.W.P., ASCHERI, J.L.R., TAKEITI, C. Y. **Curso de processo de extrusão de alimentos: aspectos tecnológicos para o desenvolvimento e produção de alimentos para consumo humano e animal**. EMBRAPA – Agroindústria de Alimentos, Abril, 2011.

CARVALHO, R.V.; ASCHERI, J.L.R.; VIDAL, J. Efeito dos parâmetros de extrusão nas propriedades físicas de pellets (3G) de misturas de farinhas de trigo, arroz e banana. **Ciênc agrotec**, Lavras, v.26, n.5, p.1006-18, 2002.

CHANG, Y.K.; EL-DASH, A.A. Effects of acid concentration and extrusion variables on some physical characteristics and energy requirements of cassava starch. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 20, n. 2, p. 129-137, 2003.

CHIANG, B.Y.; JOHNSON, J.A. Gelatinization of the starch in extruded products. **Cereal Chemistry**, v.54, n.3, p.436-443, 1977.

CHINNASWAMY, R.; HANNA, M.A. Optimum extrusion cooking conditions for maximum expansion of corn starch. **Journal of Food Science**, Chicago, v.53, n.3, p. 834-840, 1988.

CHINNASWAMY, R.; UNNIKRISHNAN, K.R.; BHATTACHARYA, K.R. *Reological properties of certain processed rice products*. **Starch, New York**, v.37, n.3, p. 99-103, 1985.

CLERICI, M. T. P. S.; EL-DASH, A. A. Características tecnológicas de farinhas de arroz pré-gelatinizadas obtidas por extrusão termoplástica. **Ciência agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, Oct. 2008. Available from <<http://www.scielo.br>>. access on 09 Aug. 2010.

CNPAF – Centro Nacional de Pesquisas em Arroz e Feijão, Embrapa, 2003. Disponível em <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em 15 de julho de 2010.

CNPMS – Centro Nacional de Pesquisas em Milho e Sorgo, Embrapa, 2006. Disponível em <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em 15 de julho de 2010.

COMMITTEE ON DIETARY ALLOWANCES, FOOD AND NUTRITION BOARD. **Recommended Dietary Allowances (RDA)**, 10^a Edição, National Academy of Science (NAS), Washington D.C., 1989.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Indicadores da agropecuária**. Brasília: Conab [on line]. Disponível em:<<http://www.conab.org.br>>. Acesso em: 15 mai. 2010.

COZZOLINO, S. M. F. **Deficiências de minerais**. Estudos Avançados, São Paulo, v. 21, n. 60, p. 119-126, 2007.

COLLONA, P.; DOUBLIER, J.L.; MELCION, J.P.; DEMONREDON, F.; MERCIER, C. Extrusion cooking and drum drying of wheat-starch. I. Physical and macromolecular modifications. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 61, n. 6, p. 538-543, 1984.

DING, Q.; AINSWORTH, P.; TUCKER, G.; MARSON, H. The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks. **Journal of Food Engineering**, n. 66, p. 283-289, 2005.

DING, Q.; AINSWORTH, P.; TUCKER, G.; MARSON, H. The effect of extrusion conditions on the functional and physical properties of wheat-based expanded snacks. **Journal of Food Engineering**, n. 73, p. 142-148, 2006.

Dogan, H. e Karwe, M. 2003. Physicochemical properties of quinoa extrudates. **Food Science and Technology International** 9(2): 101-114.

DONNELLY, B.J. Pasta products: raw material, technology, evaluation. **The Macaroni Journal**, v. 61, n. 1, p. 6-18, 1979.

DUARTE, J.O.; CRUZ, J.C.; GARCIA, J.C.; MATTOSO, M.J. **Economia da produção e utilização do milho**. Sistemas de Produção. Versão eletrônica, 3ª edição, Setembro, 2007.

EL-DASH, A. A.; GONZALEZ, R.; CIOL, M. Response surface methodology in the control of thermoplastic extrusion of starch. In: JOWITT, R. (Ed.). **Extrusion cooking technology**. London: Elsevier Applied Science, 1984. p. 51-74.

FREIRE FILHO, F.R.; LIMA, J.A. DE A.; RIBEIRO, V.Q. Feijão-caupi: avanços tecnológicos. **EMBRAPA Informação Tecnológica**. Brasília, DF (Brazil). 2005, 519 p.

FAIRWEATHER-TAIT, S. J. et al. The effect of extrusion cooking on iron absorption from maize and potato. **Journal of Science Food and Agriculture**, London, v. 39, n. 4, p. 341-348, 1987.

FAN, J.T.; MITCHELL, J.R.; BLANSHARD, J.M.V. The effect of sugars on the extrusion of maize grits: the role of the glass transition in determining product density and shape. **International Journal of Food Science and Technology**, v.31, p.55-65, 1996.

FAO/OMS. Human Vitamin and Mineral Requirements. In: Report 7ª Joint FAO/OMS Expert Consultation. Bangkok, Thailand, 2001. 286p

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. 2ª ed., Porto Alegre:Artmed, 2006, 602p.

FERNANDES, M.S.; WANG, S.H.; ASCHERI, J.L.R.; OLIVEIRA, M.F.; COSTA, S.A.J. Efeito da temperatura de extrusão na absorção de água, solubilidade e dispersibilidade da farinha pré cozida de milho e soja (70:30). **Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas**, v.23, n.2, p. 234-239, 2003.

FRAIHA, M. **Efeitos da temperatura, pressão e taxa de cisalhamento sobre a viabilidade de esporo termodúrico durante a extrusão de alimentos para animais**. Tese. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola. -- Campinas, SP: [s.n.], 2008.

FONSECA, H.; SOAVE, J.; AZZINI, L. E.; NANZATO, N. V.; CAMARGO, O. B. A. **Arroz: produção, pré-processamento e transformação agroindustrial**. São Paulo. Secretaria da Indústria e Comércio, Ciencia e Tecnologia de São Paulo, n. 2, 1985. 170p.

FROTA, Karoline de Macêdo Gonçalves et al . Utilização da farinha de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) na elaboração de produtos de panificação. **Ciência Tecnologia. Alimentos**, Campinas, 2009.

GLORE, S. R., VAN TREECK, D., KNEHANS, A. W. & GUILD, M. Soluble fiber and serum lipids: a literature review. **Journal of the American Dietetic Association**, 1994. 94: 425– 436

GOMES, F.P. Curso de Estatística Experimental. 2ª edição, São Paulo: ESALQ/USP, 2000.

GUALBERTO, D. G. **Avaliação nutricional e sensorial de misturas de feijão e soja processados por extrusão**. 1981. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

GUTKOSKI, L.C. Extrusão de produtos de aveia. In: GUTKOSKI, L.C.; PEDÓ, I. **Aveia: composição química, valor nutricional e processamento**. São Paulo: Varela, cap.7, p.103-169, 2000.

HARPER, J. M. **Extrusion of foods**. Boca Raton: CRC Press. 2 v., 1981.

HASHIMOTO, J. M. AND GROSSMANN, M. V. E.. Effects of extrusion conditions on quality of cassava bran/cassava starch extrudates. **International Journal of Food Science & Technology**, 38: 511–517, 2003.

HARVESTPLUS. Breeding Crops for Better Nutrition. Disponível em <http://www.harvestplus.org/>. Acesso em 12 jan 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Trabalho e Rendimento. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios**, 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Pesquisa de orçamentos familiares, 2002-2003. **Aquisição alimentar domiciliar per capita, Brasil e grandes regiões**. Rio de Janeiro; 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) Pesquisa de Orçamentos Familiares, 2008-2009: **Aquisição alimentar domiciliar per capita, Brasil e grandes regiões**. Rio de Janeiro; 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Pesquisa de Orçamentos Familiares 2002-2003: **Análise da disponibilidade domiciliar de alimentos e do estado nutricional no Brasil**. Rio de Janeiro; 2004.

INSTITUTE OF MEDICINE. **Dietary reference intakes for Calcium, Phosphorous, Magnesium, Vitamin D, and Fluoride**, 1997.

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.

INSTITUTE OF MEDICINE. **Dietary Reference Intakes for Water, Potassium, Sodium, Chloride, and Sulfate**, 2004.

JONS, T; EYZAGUIRRE, P.B. Biofortification, biodiversity and diet: A search for complementary applications against poverty and malnutrition. **Food Policy**, 2007. 32, 1–24

KUTOS, T. et al. Dietary fiber content of dry and processed beans. **Food Chemistry**, v. 80, n. 3, p. 231-235, 2003.

- LAJOLO, F. M.; GENOVESE, M. I.; MENEZES, E.W. Qualidade Nutricional. In: ARAÚJO, R. S.; AGUSTÍN RAVA, C.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. de O. (Coords.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafos, 1996. p. 71-99.
- LANNER, D. A., HSIEH, Y.-P. C., ZIMMERMAN, S. P., TERAS, L. M., JONES, C. E., HERRING, J. R., GROVES, R. W., AND FITENY, M. J. Process for making tortilla chips with controlled surface bubbling. **US patent**. 6,572,910. 2003.
- LEONEL, M.; JACKEY, S.; CEREDA, M.P. Processamento industrial de fécula de mandioca e batata doce – um estudo de caso. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 18, n. 3, p. 343-345, 1998.
- LEVINE, L. Estimating output and power of food extruders. **Journal of Food Processing Engineering**, n.1, p.1-13, 1983.
- LINDEN, N. L.; LORIENT, D. **Bioquímica agroindustrial**. Zaragoza: Acribia, 1994. 426 p.
- LOBO, A.R.; SILVA, G.M.L. Amido resistente e suas propriedades físico-químicas. **Rev. Nutr.**, Campinas, v. 16, n. 2, June 2003.
- LLO, S.; SCHOENLECHNER, R.; BERGHOFER, E. Role of lipids in the extrusion cooking processes. **Grasas y Aceites, España**, v. 51, n. 1/2, p. 97-110, 2000.
- LLO, S., TOMSCHIK, U., BERGHOFER, E., & MUNDIGLER, N. The effect of extrusion operating conditions on the apparent viscosity and the properties of extrudates in twin-screw extrusion cooking of maize grits. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie**, 29(7), 593–598, 1996.
- LUSTOSA, B.H.B.; LEONEL, M.; MISCHAN, M.M. Effect of extrusion parameters on absorption and water solubility indexes of instant blends of cassava and casein. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 20, n. 2, p. 223-229, abr/jun. 2009.
- MALDONADO, S.; SAMMÁN, N. Composición química y contenido de minerales de leguminosas y cereales producidos en el noroeste argentino. **Arch. Latinoam. Nutr.**, v.50, n.2, p.195-199, 2000.
- MARTINEZ, C.; CUEVAS, F. **Evaluacion de la calidad culinaria y molinera del arroz**. Guía de estudo. Cali: CIAT, 1989. 75p.
- MENG, X.; THREINEN, D.; HANSEN, M.; DRIEDGER, D. Effects of extrusion conditions on system parameters and physical properties of a chickpea flour-based snack. **Food Research International**, n. 43, p. 650-658, 2010.
- MERCIER, C.; FEILLET, P. Modification of carbohydrate componentes by extrusion-cooking of cereal products. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.52, n.3, p.283-297, 1975.
- MESA, N.J.E.; ALAVI, S.; SINGH, N.; SHI, Y.; DOGAN, H.; SANG, Y. Soy proteinfortified expanded extrudates: baseline study using normal corn starch. **Journal of Food Engineering**, n.90, p. 262-270, 2009.
- MESQUITA, Fabrício Rivelli et al . Linhagens de feijão (*phaseolus vulgaris* L.): composição química e digestibilidade proteica. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 31, n. 4, 2006.

MIRANDA, M. Z. de. **Trigo: germinação e posterior extrusão para obtenção de farinha integral extrusada de trigo germinado**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 12 p, 2006.

MOURA, M.J.; FIGUEIREDO, M.M. Aplicação das técnicas de picnometria de gás e de porosimetria de mercúrio à caracterização da madeira de *E. globulus*. *Silva Lusitana*, v.10, n.2, p. 207-216, 2002.

OLIVEIRA, J.M.de et al . **Projeto e construção de um picnômetro a ar para caracterização de insumos e produtos farmacêuticos**. Química Nova, São Paulo, v. 33, n. 6, 2010.

OLIVEIRA, L. F. A. **Efeito da ingestão da mistura arroz e feijão na biodisponibilidade de ferro e cálcio**. 1997. 135f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

OATWAY, L.; VASANTHAN, T.; HELM, J. H. Phytic acid. **Food Reviews International, Philadelphia**, v. 17, n. 4, p. 419-431, 2001.

OZCAN S, JACKSON DS. Functionality behavior of raw and extruded corn starch mixtures. **Cereal Chemistry**. 82(2): 223-227, 2005.

PATERNIANI, E. **Melhoramento e produção de milho no Brasil**. São Paulo: Fund. Cargil, 1978. 650p.

PEDROSA SILVA CLERICI, Maria Teresa y EL-DASH, Ahmed A. Farinha extrusada de arroz como substituto de glúten na produção de pão de arroz. **ALAN**, sep. 2006, vol.56, no.3, p.288-298. ISSN 0004-0622.

PÉREZ, A.A.; DRAGO, R.; CARRARA, C.R. ; DE GREEF,D.M. ; TORRES, R.L. ; GONZÁLEZ, R.J. Extrusion cooking of a maize/soybean mixture : factors affecting expanded product characteristics and flour dispersion viscosity. **Journal of Food Engineering**, n.87, p. 333-340, 2008

PIRES, C. V.; OLIVEIRA M. G. A.; ROSA, J. C.; COSTA, N. M. B. Qualidade nutricional e escore químico de aminoácidos de diferentes fontes protéicas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.26, p.179-187, 2006.

PIZZINATTO, A., MAGNO, C.P.R.S. Curso de tecnologia de processamento e avaliação de qualidade de pão, macarrão e biscoito. **Campinas : ITAL**, 1994. p.24-41.

PROLLA, I.R.D. **Características físico-químicas de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e efeitos biológicos da fração fibra solúvel**. Dissertação de Mestrado-Programa de Pós-Graduação em Bioquímica Toxicológica. Universidade Federal de Santa Catarina, RS, 2006.

RIBEIRO, Sandra A.L. et al . Fungos filamentosos isolados de produtos derivados do milho comercializados em Recife, Pernambuco. **Revista Brasileira Botânica.**, São Paulo, v. 26, n. 2, Junho, 2003.

RODRIGUES, M.I. **Planejamento Experimental e otimização de processos**. 2ª Ed.-Campinas, SP. 2009, 358p.

ROTA, Karoline de Macêdo Gonçalves et al . Utilização da farinha de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) na elaboração de produtos de panificação. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, 2009.

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.

SATHE, S. K.; DESHPANDE, S. S.; SALUNKHE, D. K. Dry beans of *Phaseolus*: a review I. Chemical composition: proteins. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 20, p. 1-46, 1984.

SEBIO, L. **Efeito de alguns parâmetros operacionais de extrusão nas propriedades físico-químicas da farinha de inhame (*Dioscorea* spp.)**. 1996. 100f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo. 1996.

SEGALL-CORRÊA AM, PÉREZ-ESCAMILLA R, MARANHA LK, SAMPAIO MFA, YUYAMA L, ALENCAR F et al. Projeto: **Acompanhamento e avaliação da segurança alimentar de famílias brasileiras: validação de metodologia e de instrumento de coleta de informação**. Campinas: Departamento de Medicina Preventiva e Social, Universidade Estadual de Campinas/Organização Pan-Americana da Saúde/ Ministério de Saúde; 2004. (Relatório Técnico).

SINGH, B.; SEKHON, K.S.; SINGH, N. Effects of moisture, temperature and level of pea grits on extrusion behavior and product characteristics of rice. **Food Chemistry, London**, v. 100, n. 1, p. 198-202, 2007.

SGARBIERI, V. C. **Proteínas em alimentos protéicos: propriedades, degradações, modificações**. São Paulo: Varela, 1996. p. 184-229

SILVA, E. M. M. **Produção de macarrão pré-cozido à base de farinha mista de arroz integral e milho para celíacos utilizando o processo de extrusão**. 2007. 102f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. 2007.

SILVA, E. M. M. **Desenvolvimento e caracterização físico-química de extrudados de milho e feijão**. 2010. 230f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. 2010.

SILVEIRA, E.T.F.; TRAVAGLINI, D.A.; VITTI, P.; CAMPOS, S.D.S.; AGUIRRE, J.M.; FIGUEIREDO, I.B.; SMIROSE, I. Farinha composta de resíduo do extrato de soja e de arroz em mistura com trigo para uso em panificação. **Boletim do Instituto de Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.18, n.4, p.543-561, 1981.

TEBA, CARLA DA SILVA. **Elaboração de massas alimentícias pré-cozidas à base de farinha mista de arroz polido e feijão preto sem casca pelo processo de extrusão termoplástica** 2009. 177f. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. 2009

TEBA, C. S.; ASCHERI, J. L. R.; CARVALHO, C. W. P. Efeito dos parâmetros de extrusão sobre as propriedades de pasta de massas alimentícias pré-cozidas de arroz e feijão. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 20, n. 3, p. 411-426, 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 CEPPA**, v. 23, n. 2, p. 273-290, 2005

TORÚN B. Fortificación y enriquecimiento de alimentos: consideraciones sobre su uso para alcanzar las metas nutricionales. **Arch Latinoam Nutr** 38: 647-655, 1988.

WALKER, S. J. Celiac Disease. In: WALKER, W. **Pediatric gastrointestinal disease: Pathophysiology, diagnosis, management**. 2ª edição. Saint. Louis: Mosby, 1996. p. 841-861.

WANDER, Alcido Elenor. Produção e consumo de feijão no Brasil, 1975-2005. **Informações Econômicas**, São Paulo: IEA, v. 37, n. 2, p. 7-21, fev. 2007.

WHALEN, P.J.; BASON, M.L.; BOOTH, R.I.; WALKER, C.E.; Measurement of extrusion effects by viscosity profile using the rapid viscoanalyser. **Cereal Foods World**, v. 42, p. 469-475, 1997.

UNICEF (Fundo das Nações Unidas para a Infância), 1990. Estratégia para Melhorar a Nutrição de Crianças e Mulheres nos Países em Desenvolvimento. New York: UNICEF.

U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE, AGRICULTURAL RESEARCH SERVICE. USDA. **Nutrient Database for Standard Reference**, Release 14, 2001.

ZANCUL, M.S. **Fortificação de alimentos com ferro e vitamina A**. Medicina Ribeirão Preto, n.37, p. 45-50, 2004.

ANEXOS

Anexo A	Resultados da Vazão dos tratamentos elaborados (kg/h).	96
Anexo B	Perfil de viscosidade das farinhas mistas pré-gelatinizadas de milho, arroz e feijão	97

Anexo A: Resultados da Vazão dos tratamentos elaborados (kg/h).

Tratamentos	X1	X2	X3	Vazão (kg/h)
T1	140	120	18	0,7614 ± 0,00
T2	180	120	18	0,8502 ± 0,03
T3	140	160	18	0,9084 ± 0,09
T4	180	160	18	0,6018 ± 0 12
T5	140	120	24	0,5604 ± 0,00
T6	180	120	24	0,582 ± 0,03
T7	140	160	24	0,3204 ± 0,00
T8	180	160	24	0,6036 ± 0,08
T9	126	140	21	0,5454 ± 0 04
T10	193	140	21	0,6492 ± 0,01
T11	160	106	21	0,7578 ± 0,02
T12	160	173	21	0,3372 ± 0,00
T13	160	140	16	0,8676 ± 0,01
T14	160	140	26	0,2946 ± 0,00
T15	160	140	21	0,8406 ± 0,06
T16	160	140	21	0,6702 ± 0,01
T17	160	140	21	0,651 ± 0,03

X1: temperatura (°C); X2: rotação do parafuso (rpm); X3: umidade (%)

Anexo B: Perfil de viscosidade das farinhas mistas pré-gelatinizadas de arroz, feijão e milho.

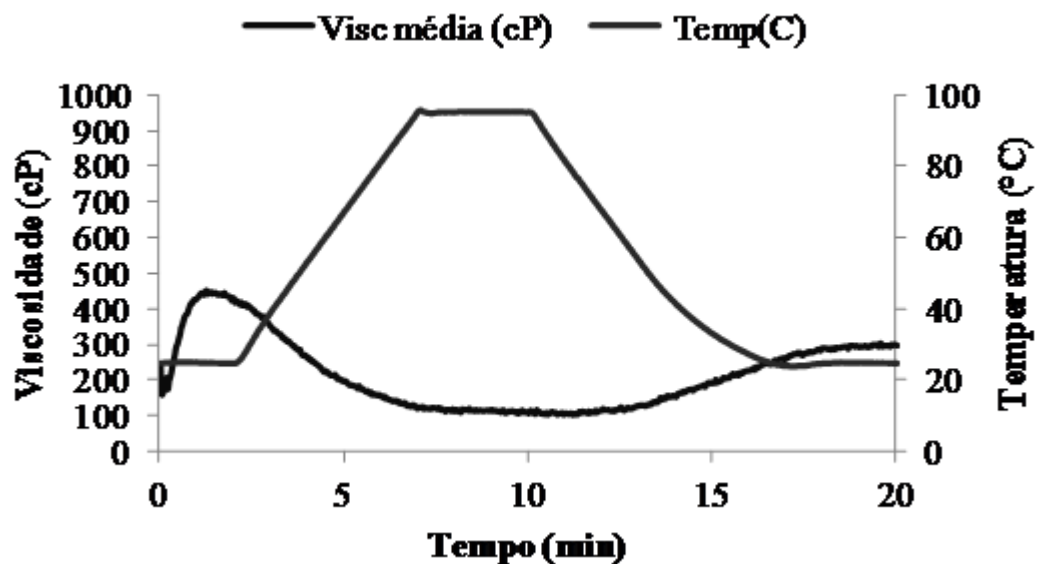


Figura 21: Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 1 (140°C, 120 rpm e 18% de umidade)

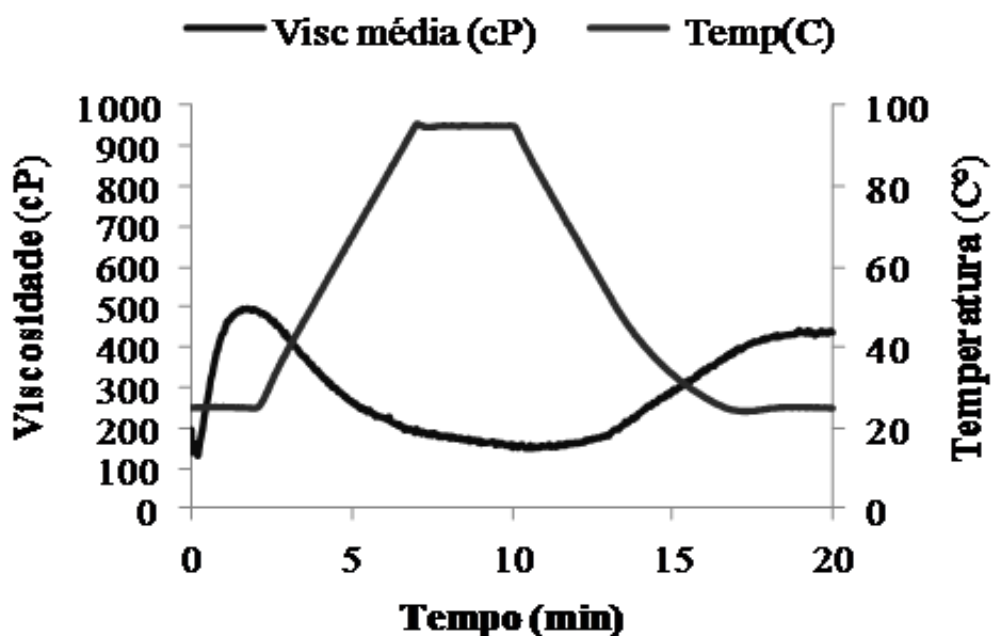


Figura 22: Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 2 (180°C, 120 rpm e 18% de umidade)

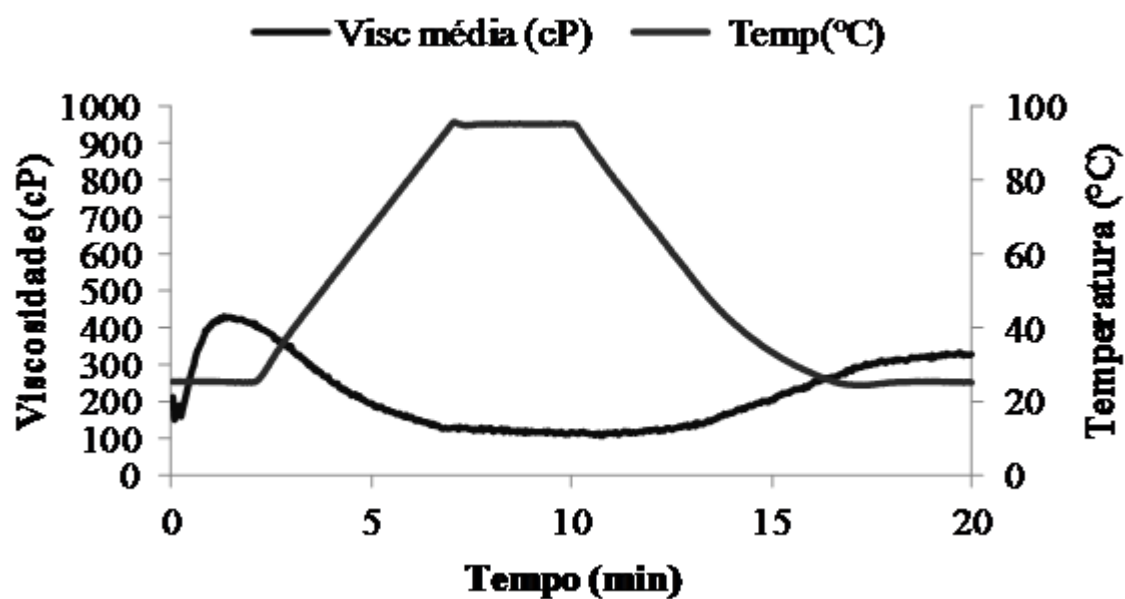


Figura 23: Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 3 (140°C, 160 rpm e 18% de umidade)

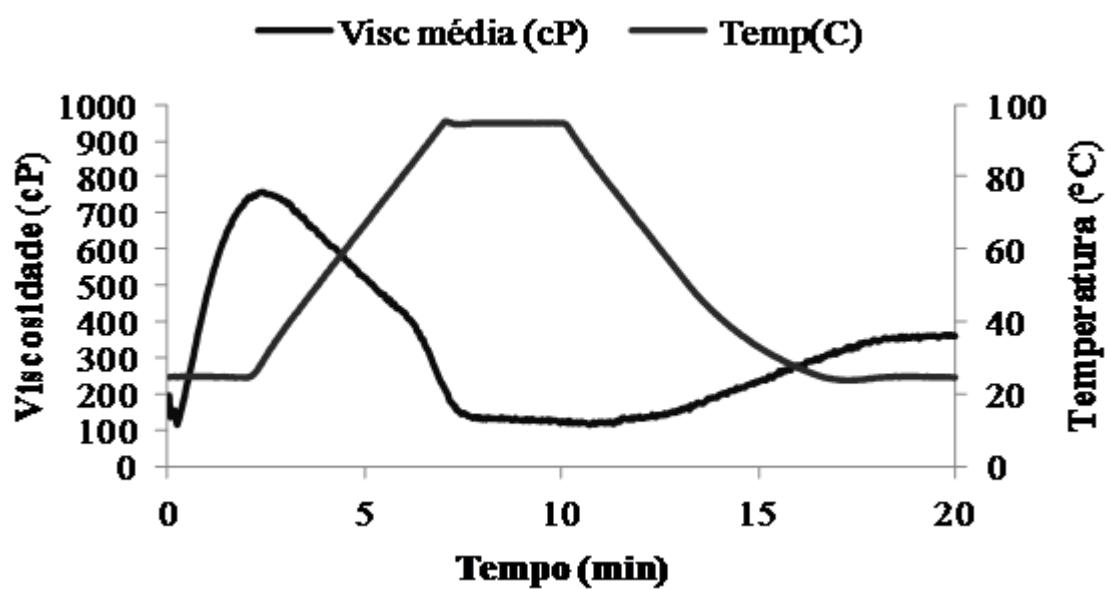


Figura 24: Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 4 (180°C, 160 rpm e 18% de umidade)

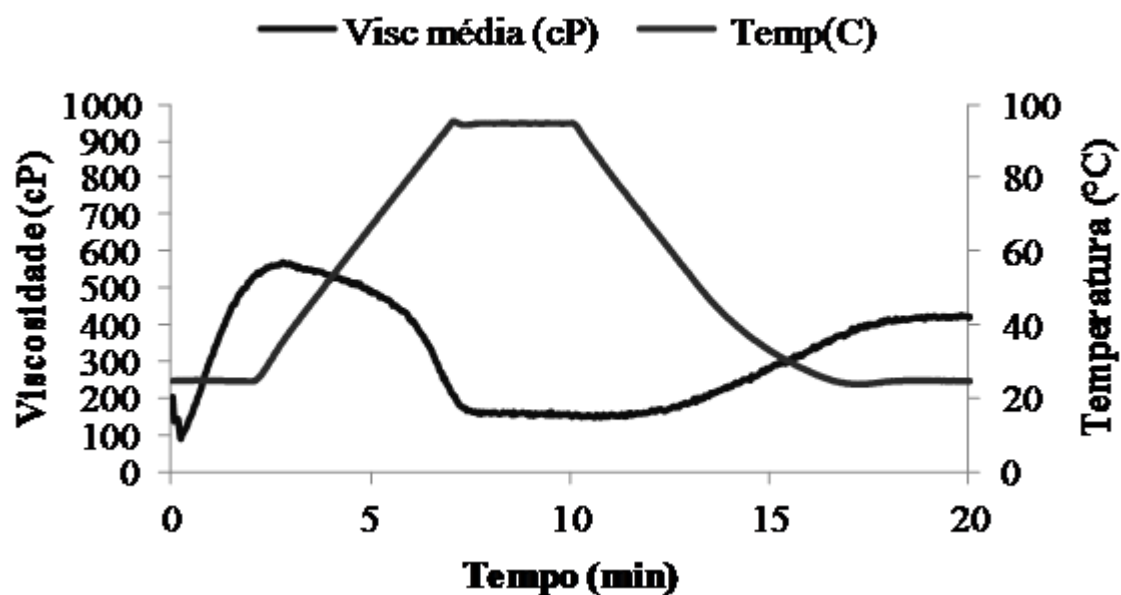


Figura 25: Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 5 (140°C, 120 rpm e 24% de umidade)

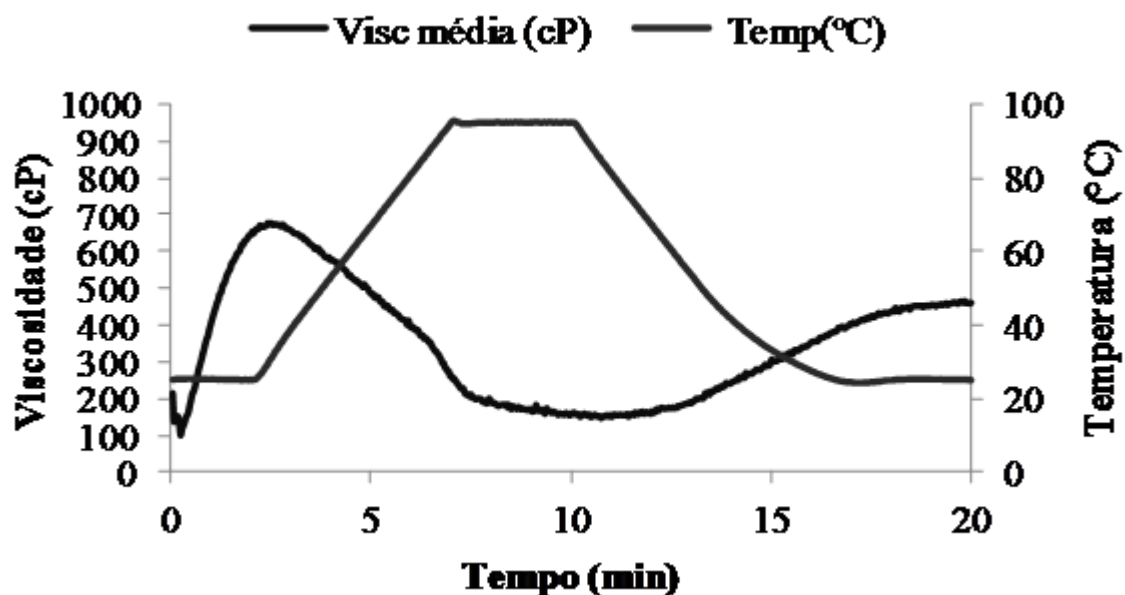


Figura 26: Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 6 (180°C, 120 rpm e 24% de umidade)

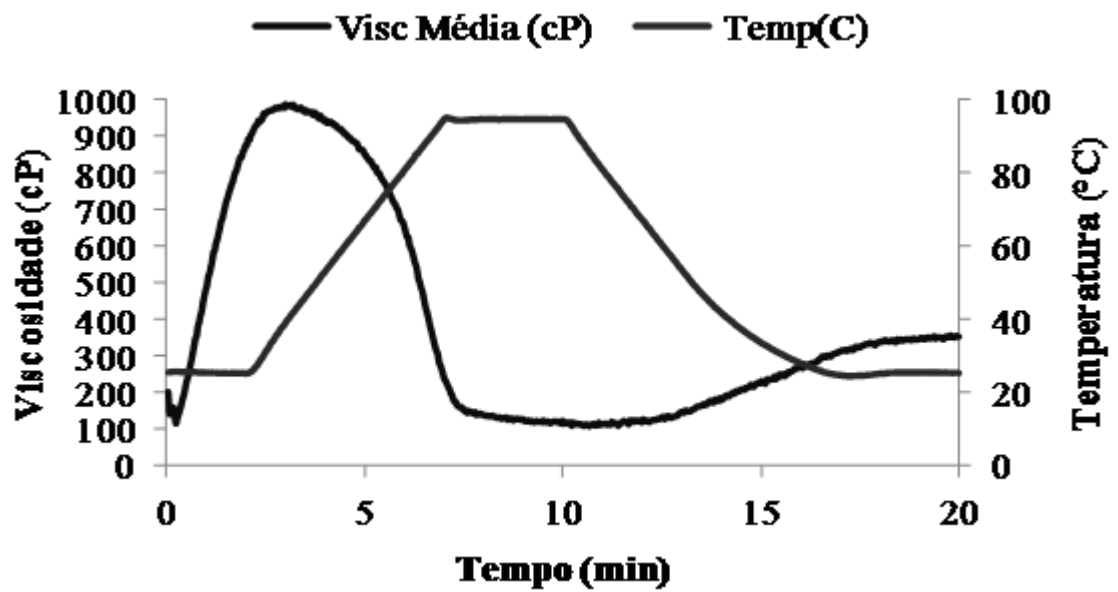


Figura 27: Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 7 (140°C, 160 rpm e 24% de umidade)

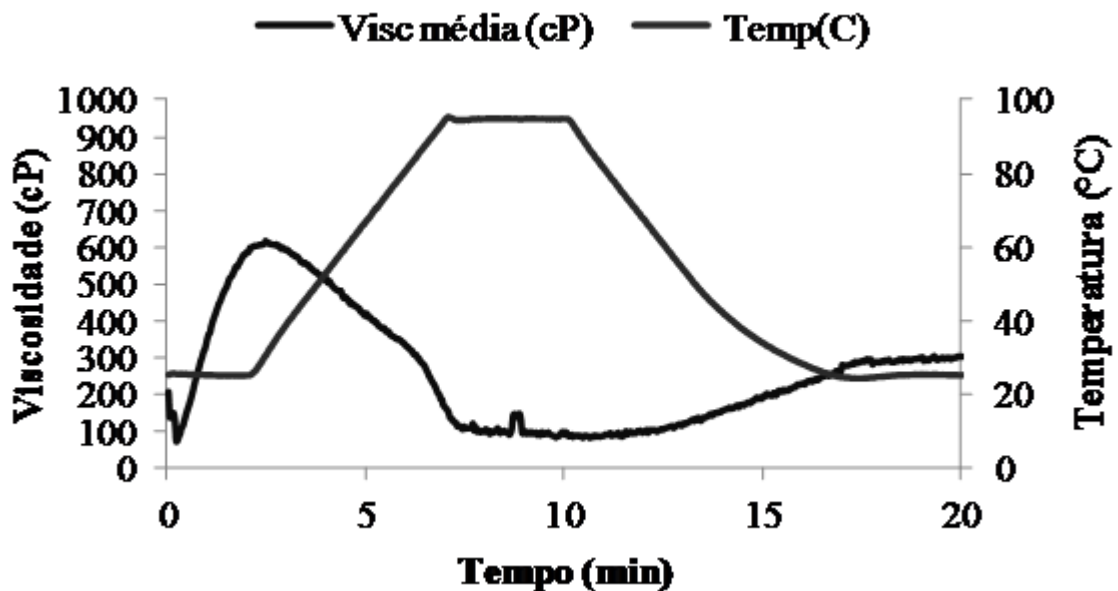


Figura 28: Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 8 (180°C, 160 rpm e 24% de umidade)

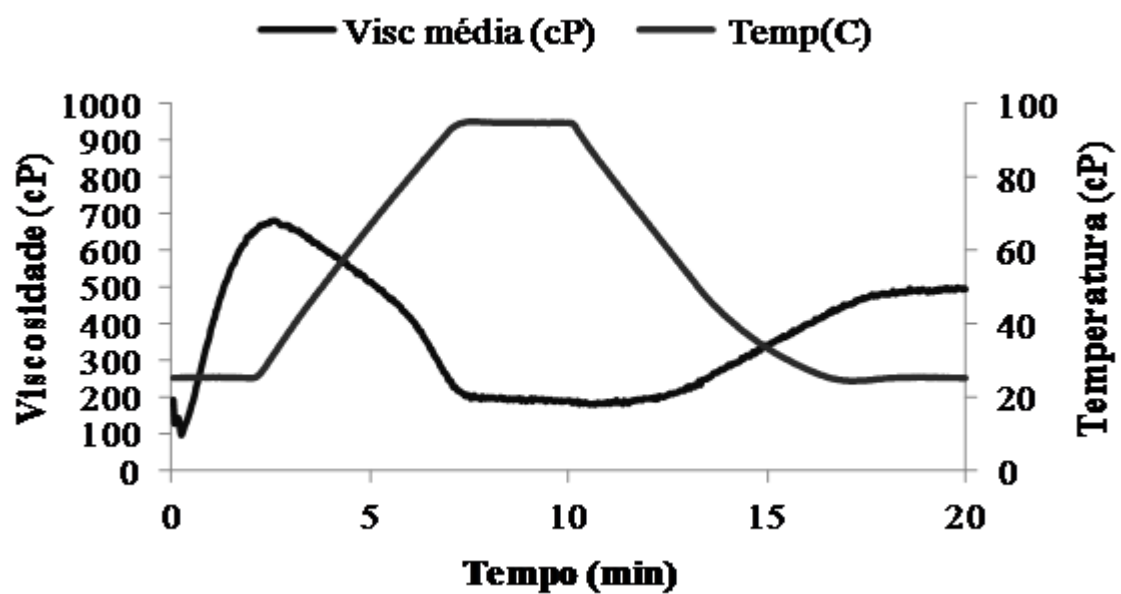


Figura 29: Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 9 (126°C, 140 rpm e 21% de umidade)

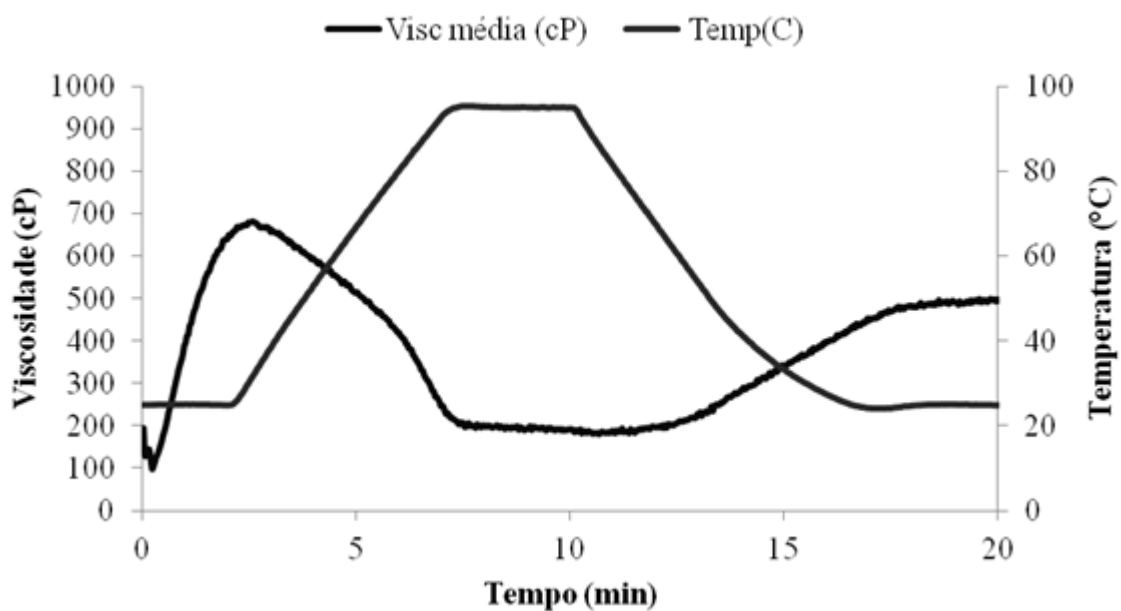


Figura 30: Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 10 (193°C, 140 rpm e 21% de umidade)

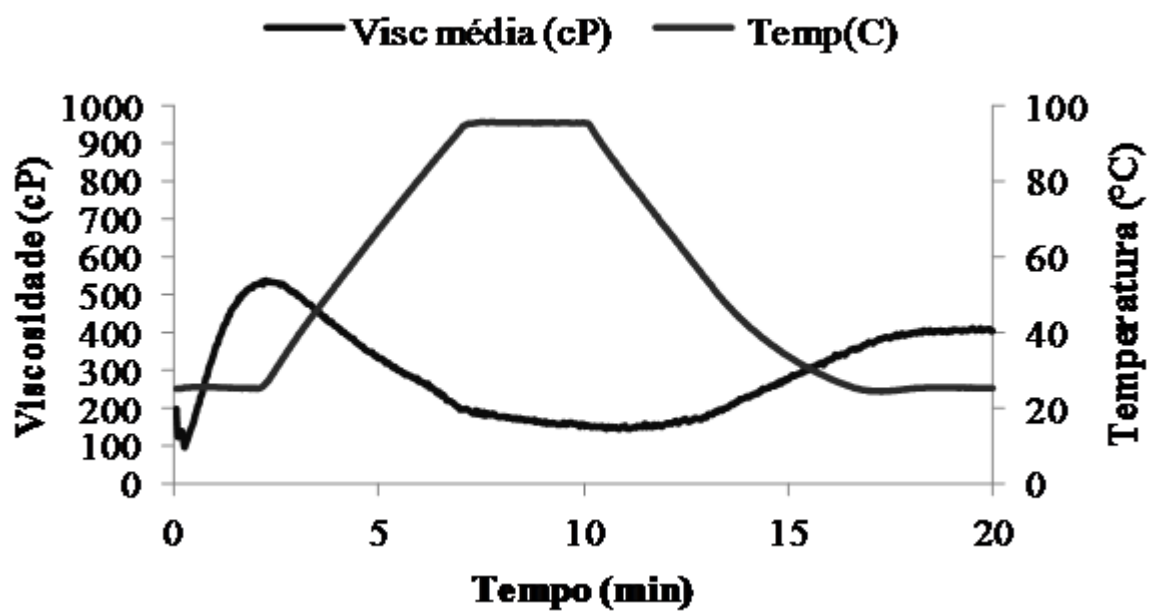


Figura 31: Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 11 (160°C, 106 rpm e 21% de umidade)

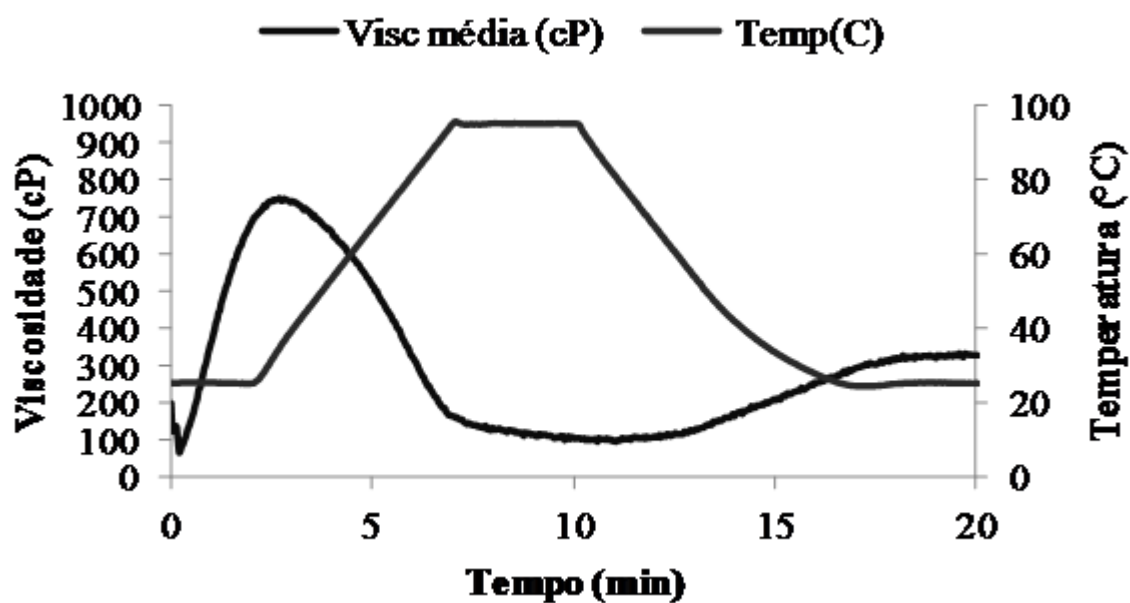


Figura 32: Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 12 (160°C, 173 rpm e 21% de umidade).

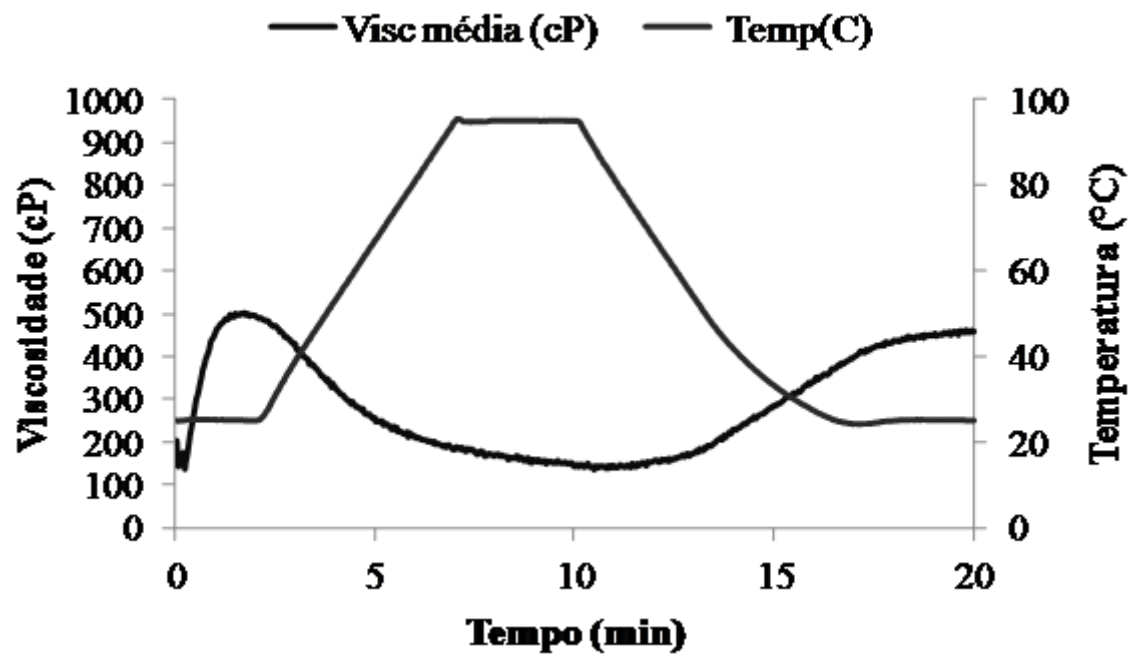


Figura 33: Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 13 (160°C, 140 rpm e 16% de umidade)

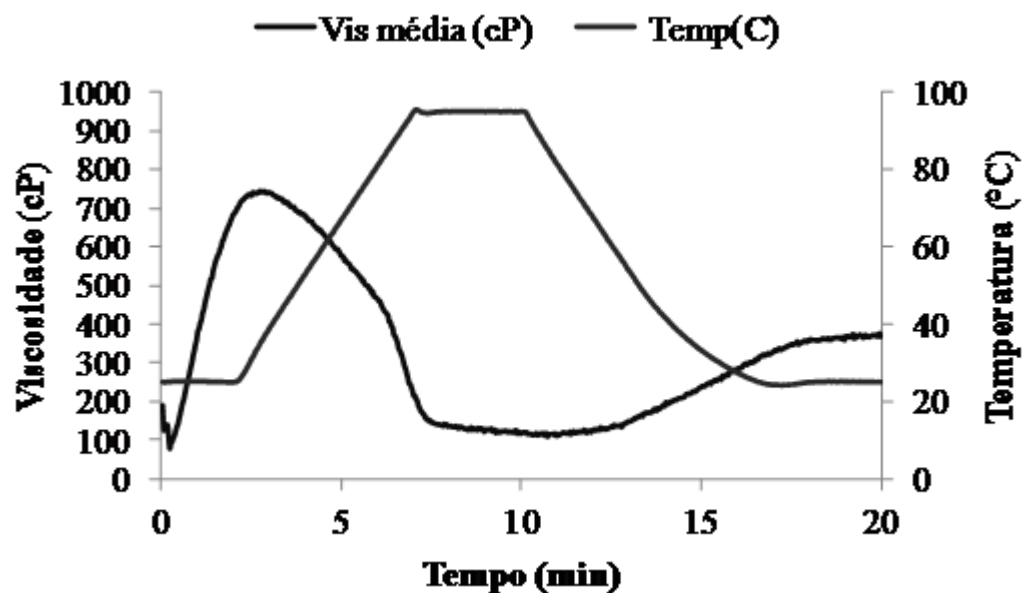


Figura 34: Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 14 (160°C, 140 rpm e 26% de umidade)

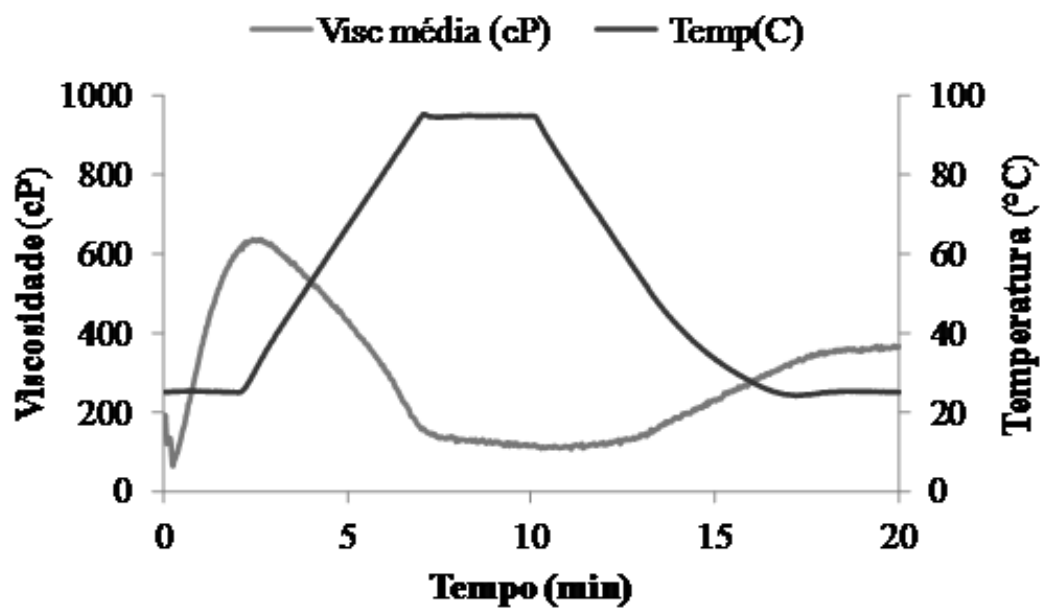


Figura 35: Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 15 (160°C, 140 rpm e 21% de umidade)

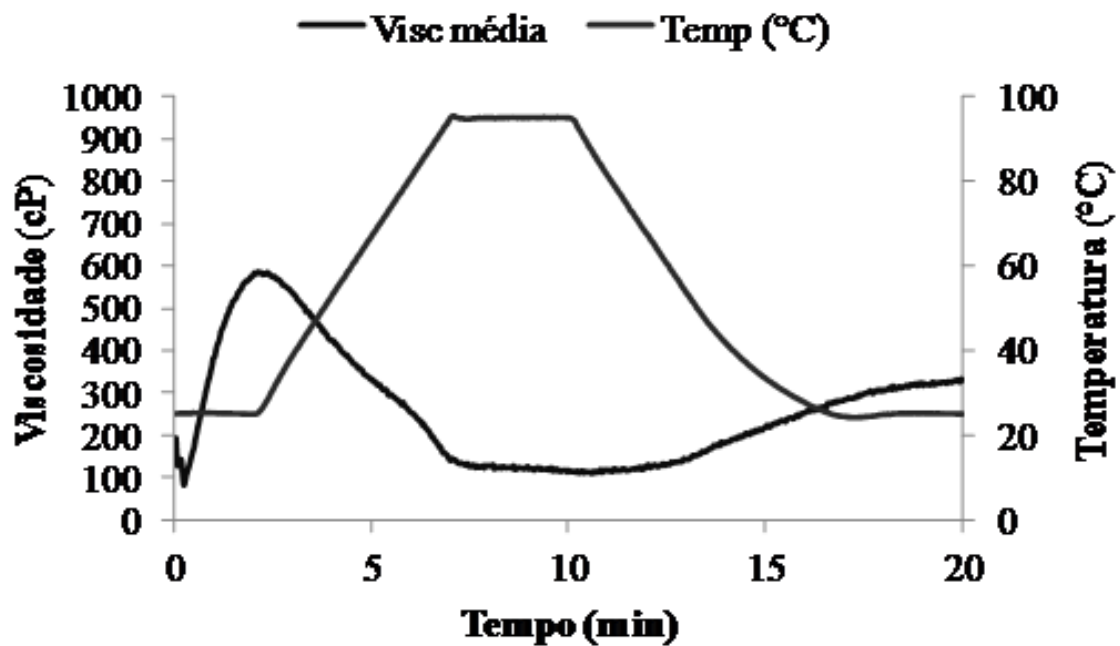


Figura 36: Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 16 (160°C, 140 rpm e 21% de umidade)

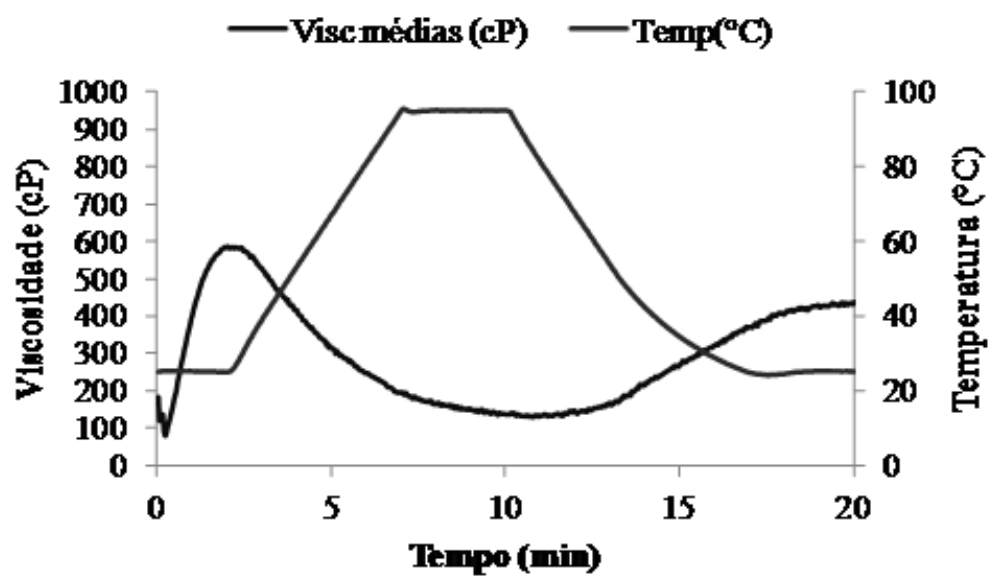


Figura 37: Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 17 (160°C, 140 rpm e 21% de umidade)