

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE AGRONOMIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

LAIRY SILVA COUTINHO

**PROPRIEDADES FÍSICAS DE *SNACKS* E FARINHAS
PRÉ-GELATINIZADAS DE COPRODUTOS DE ARROZ E
SOJA EM FUNÇÃO DAS VARIÁVEIS DE EXTRUSÃO**

Goiânia

2013

LAIRY SILVA COUTINHO

**PROPRIEDADES FÍSICAS DE *SNACKS* E FARINHAS
PRÉ-GELATINIZADAS DE COPRODUTOS DE ARROZ E
SOJA EM FUNÇÃO DAS VARIÁVEIS DE EXTRUSÃO**

Dissertação apresentada à coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Goiás, como exigência para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Manoel Soares Soares Júnior
Co-Orientador: Prof. Dr. Márcio Caliarí

Goiânia
2013

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS**

LAIRY SILVA COUTINHO

**PROPRIEDADES FÍSICAS DE SNACKS E FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS DE
COPRODUTOS DE ARROZ E SOJA EM FUNÇÃO DAS VARIÁVEIS DE
EXTRUSÃO**

Dissertação DEFENDIDA e APROVADA em 08 de julho de 2013, pela Banca Examinadora
constituída pelos membros:

Profª. Dra. Camila Carvalho Menezes
Membro – FANUT/UFG

Profª. Dra. Priscila Alonso dos Santos
Membro – IFET – Goiano/Campus Rio Verde

Prof. Dr. Manoel Soares Soares Júnior
Presidente – EA/UFG

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus, a minha família e meus amigos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, provedor da vida, conhecimento e saúde.

Aos meus pais, Antônio de Araújo Coutinho e Sinomar Terezinha Silva Coutinho, pelo incentivo, apoio, compreensão e carinho de sempre.

Ao meu irmão Larry Silva Coutinho, pelo incentivo durante todo o desenvolvimento das pesquisas.

Ao meu querido orientador professor Dr. Manoel Soares Soares Júnior, pela confiança depositada, orientação, esforço, paciência e pela dedicação durante toda execução do trabalho.

Ao co-orientador professor Dr. Márcio Caliarí que se fez presente em todos os momentos necessários.

A aluna de graduação do PIBIC Jaqueline Eduarda Rodrigues Batista que auxiliou imensamente na execução da pesquisa. Obrigada pelas horas dedicadas, que foram de grande valia.

A mestre e doutoranda Fernanda Salamoni Becker pela troca de conhecimentos e disponibilidade em momentos de análises.

A equipe de laboratório da Engenharia de Alimentos e Faculdade de Nutrição, Deivis, Ana Paula e Tiago pela colaboração e atenção.

A professora Dra. Tânia Aparecida Pinto Castro Ferreira pela colaboração para execução de análises na Faculdade de Nutrição.

À Tatiane Oliveira pela grande colaboração com as análises de Microscopia Eletrônica de Varredura no Instituto de Física da UFG.

Aos meus amigos pelo apoio e carinho que foram constantes.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa de estudos.

À todos vocês, muito obrigada!

RESUMO

As indústrias de beneficiamento de arroz atualmente destinam a maior parte dos coprodutos gerados, tais como farelo de arroz e grãos quebrados de arroz para as indústrias de ração animal. Porém, esses são ricos nutricionalmente e interessantes ao consumo humano. Portanto, torna-se interessante o seu aproveitamento para desenvolvimento de novos produtos. A indústria de soja também utiliza o okara (resíduo oriundo do processamento do extrato aquoso da soja) mais para ração animal. Para alimentação humana é menos utilizado, embora possua alto teor de proteína, lipídeos e seja fonte de energia. Assim, este trabalho objetivou formular *snacks* e farinhas pré-gelatinizadas com os coprodutos grãos quebrados e farelo de arroz e okara da soja preta e estudar o efeito das variáveis de extrusão (umidade e temperatura) sobre as características físicas, químicas e tecnológicas desses produtos, processados sob diferentes umidades (12 a 20 g.100 g⁻¹) e temperaturas de extrusão (60 a 110 °C). Para estas análises utilizaram-se metodologias oficiais. Foi realizado teste de desejabilidade dos *snacks* considerando índice de expansão, volume específico e parâmetro de cor cromat. O *snack* de maior desejabilidade foi elaborado na condição de umidade da mistura de 12 g.100 g⁻¹ e temperatura de 85 °C. Quanto à farinha pré-gelatinizada, as condições de umidade das misturas para extrusão influenciaram nos aspectos viscoamilográficos e de textura, sendo que nas temperaturas empregadas mais brandas se obtiveram valores mais elevados de viscosidade inicial (acima de 4000 cP), viscosidade final (acima de 5500 cP) e tendência a retrogradação (acima de 4500 cP). A absorção e solubilidade em água e absorção de óleo também foram influenciadas, sendo os maiores resultados obtidos sob temperaturas de extrusão mais elevadas e umidades mais baixas. A farinha pré-gelatinizada dos coprodutos de arroz e soja pode ser uma alternativa para a indústria, por agregar valor a estes, que depois de processados poderão possibilitar o desenvolvimento de ingredientes para diversos produtos para alimentação humana.

Palavras-chave: okara, grãos quebrados, farelo, reconstituição de cereal, desenvolvimento de produto, sustentabilidade.

ABSTRACT

The rice processing industries currently designed its most byproducts generated during processing, such as rice bran and broken rice grains for animal feed. However, they are nutritionally rich and interesting human consumption. Therefore, it becomes interesting to use these for the development of new products. The soy industry also uses okara (residue coming from the aqueous extract of soy) more for animal feed. For human consumption is less used, although it has high content of protein, lipids and is a source of energy. Thus, this study aimed to formulate snacks and pre-gelatinized flour with coproducts broken grains and rice bran and soybean okara black and study the effect of extrusion variables (temperature and humidity) on the physical, chemical and technological characteristics of products, processed under various humidity (12 to 20 g.100 g⁻¹) and extrusion temperatures (60 to 110 °C). For these analyzes was used official methodologies. Was performed desirability of snacks considering expansion index, specific volume and color parameter chroma a *. The snack of higher desirability was prepared at moisture condition in the mixture of 12 g.100 g⁻¹ and at temperature of 85 ° C. As for the pre-gelatinized flour, moisture conditions for extrusion of mixtures influenced the viscoamilograficos aspects and texture, and milder temperatures employed were obtained with higher values of initial viscosity (above 4000 cP), final viscosity (above 5500 cP) and setback (above 4500 cP). The absorption and solubility in water and oil absorption are also affected, and the higher results in higher extrusion temperatures and lower humidities. The pre-gelatinized flour byproducts of rice and soybeans can be an alternative to the industry by adding value to them, which after processing will enable the development of an ingredient in many products for human consumption.

Keywords: okara, broken grains, bran, cereal reconstitution, product development, sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Quantidades aproximadas de grãos inteiros e coprodutos obtidos a partir do beneficiamento do arroz em casca	20
Figura 2	Estrutura genérica das antocianinas a partir do esqueleto das antocianidinas (agliconas)	25
Figura 3	Fluxograma da elaboração do extrato de soja e okara	27
Figura 4	Microscopias eletrônicas de varredura de: (A) Grãos quebrados de arroz com aproximação de 900x; (B) de 3000x; (C) de 140x, (D) Okara de soja preta com aproximação de 3000x; (E) Farelo de arroz com aproximação de 550x e (F) de 6000x	60
Figura 5	Aspecto geral dos <i>snacks</i> experimentais de coprodutos de arroz e soja. Experimento 1 (umidade 13,16 g.100 g ⁻¹ e temperatura 67,3 °C); Experimento 2 (umidade 13,16 g.100 g ⁻¹ e temperatura 102,7 °C); Experimento 3 (umidade 18,84 g.100 g ⁻¹ e temperatura 67,3 °C); Experimento 4 (umidade 18,84 g.100 g ⁻¹ e temperatura 102,7 °C); Experimento 5 (umidade 16 g.100 g ⁻¹ e temperatura 60 g.100 g ⁻¹); Experimento 6 (umidade 16 g.100 g ⁻¹ e temperatura 110 °C); Experimento 7 (umidade 12 g.100 g ⁻¹ e temperatura 85 °C); Experimento 8 (umidade 20 g.100 g ⁻¹ e temperatura 85 °C); Experimento 9 (umidade 16 g.100 g ⁻¹ e temperatura 85 °C); Experimento 10 (umidade 16 g.100 g ⁻¹ e temperatura 85 °C)	62
Figura 6	(A) Índice de expansão (IE), (B) volume específico (VE); e (C) croma a* dos <i>snacks</i> de coprodutos do arroz e soja preta em função da umidade da mistura (g.100g ⁻¹) e da temperatura (°C) de extrusão na terceira zona do extrusor	65
Figura 7	Diagrama gráfico da desejabilidade. <i>Snacks</i> com propriedades físicas necessárias em um produto com potencial comercial, em função das condições de umidade e de temperatura de extrusão durante o processamento	67
Figura 8	<i>Snacks</i> de coprodutos de arroz e soja com maior desejabilidade	67

Figura 9	Farinha de coprodutos de arroz e okara crua com: (A) aproximação de 700x; (B) Farinha de coprodutos de arroz e okara crua com aproximação em 900x	85
Figura 10	Índice de absorção (A), índice de absorção de óleo (B) e índice de solubilidade em água (C) de farinhas pré-gelatinizadas de grãos quebrados de arroz, farelo de arroz e okara de soja preta (81:9:10) em função da temperatura de extrusão (T) e umidade da mistura (U)	89
Figura 11	Viscosidade inicial ou a frio (A), viscosidade final (B) e tendência à retrogradação (C) das farinhas pré-gelatinizadas de coprodutos de arroz e soja em função do teor de umidade da matéria-prima e da temperatura de extrusão	92
Figura 12	Perfil viscoamilográfico da farinha pré-gelatinizada: (A) do experimento 2 (T= 102,7°C e U=13,16 g.100 g ⁻¹); (B) do experimento 3 (T= 67,3°C e U= 18,84 g.100 g ⁻¹)	94
Figura 13	Força do gel (N) em função do teor de umidade da matéria-prima e da temperatura do extrusor	96
Figura 14	Gráfico de dados do texturômetro para força do gel. As curvas de diferentes áreas representam as repetições da análise do mesmo experimento (experimento 4)	96
Figura 15	Micrografias das farinhas pré-gelatinizadas (FPG) de coprodutos de arroz e soja. (A) FPG 3 (T= 67,3 °C e U= 18,84 g.100 g ⁻¹) em ampliação de 3000 x; (B) FPG 9 (T = 85°C e U = 16 g.100 g ⁻¹) em 3000 x; (C) FPG 9 em 140 x; (D) Mistura crua em 900 x	97

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1	Quantidade de água a ser adicionada nas amostras.	53
Equação 2	Volume específico.	54
Equação 3	Diferença de cor	54
Equação 4	Índice de absorção em água (IAA)	81
Equação 5	Índice de solubilidade em água (ISA)	81
Equação 6	Índice de absorção em óleo (IAO)	81

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Produção de arroz e farelo de arroz em âmbito nacional e mundial	22
-----------------	--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Composição centesimal (base úmida), valor energético e pH dos coprodutos (grãos quebrados e farelo de arroz e okara da soja preta desidratada)	56
Tabela 2	Percentual de amostra retida nas peneiras durante análise granulométrica dos coprodutos do arroz e soja preta utilizados na formulação dos snacks	58
Tabela 3	Volume específico (VE), índice de expansão (IE), luminosidade (L^*), coordenadas de cromaticidade (a^* e b^*) e diferença de cor em relação à cor da mistura crua (DE) dos snacks extrusados de coprodutos de arroz e soja em função da temperatura de extrusão (x_1) e umidade (x_2)	63
Tabela 4	Nível de significância dos efeitos da temperatura (x_1) e umidade (x_2) sobre o índice de expansão, volume específico e parâmetro de cor cromatográfico a^*	64
Tabela 5	Composição centesimal do <i>snack</i> otimizado (base úmida)	68
Tabela 6	Composição centesimal, valor energético e índices de absorção em água e óleo, e índice de solubilidade em água da mistura crua de grãos quebrados e farelo de arroz e okara da soja preta (81:9:10), seguidos pelo desvio-padrão e coeficiente de variação	84
Tabela 7	Propriedades funcionais das farinhas pré-gelatinizadas da mistura de grãos quebrados de arroz, farelo de arroz e okara de soja preta (81:9:10) obtidas em função da temperatura de extrusão e umidade da mistura	87
Tabela 8	Nível de significância dos efeitos linear, quadrático e interação entre temperatura e umidade, modelos ajustados e coeficiente de correlação para as propriedades funcionais das farinhas pré-gelatinizadas da mistura de grãos quebrados de arroz, farelo de arroz e okara de soja preta (81:9:10) obtidas em função da temperatura de extrusão (T) e umidade da mistura (U)	88

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA E QUALIDADE NUTRICIONAL DAS MATÉRIAS-PRIMAS	19
2.1.1 Arroz	19
2.1.1.1 Grãos quebrados de arroz	21
2.1.1.2 Farelo de arroz	22
2.1.2 Soja	23
2.1.2.1 Soja preta	24
2.1.2.2 Okara	26
2.2 EXTRUSÃO TERMOPLÁSTICA: PRODUÇÃO DE SNACKS, FARINHAS MISTAS PRÉ-GELATINIZADAS	28
2.2.1 Extrusão termoplástica	28
2.2.2 Desenvolvimento de novos produtos	29
2.2.3 Snacks extrusados	30
2.2.4 Amidos e farinhas pré-gelatinizadas	32
3 OBJETIVOS	37
3.1 OBJETIVO GERAL	37
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	37
REFERÊNCIAS	38
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
4.1 ARTIGO 1	
PARÂMETROS FÍSICOS DE SNACKS FORMULADOS COM COPRODUTOS DE ARROZ E SOJA EM FUNÇÃO DA UMIDADE E TEMPERATURA DE EXTRUSÃO	48

4.1.1	INTRODUÇÃO	49
4.1.2	MATERIAL E MÉTODOS	51
4.1.2.1	Material	51
4.1.2.2	Métodos	51
4.1.2.2.1	Obtenção dos coprodutos	51
4.1.2.2.2	Caracterização dos coprodutos	52
4.1.2.2.3	Processamento dos <i>snacks</i>	53
4.1.2.2.4	Avaliação física dos <i>snacks</i>	53
4.1.2.2.5	Análise estatística e determinação do <i>snack</i> com maior desejabilidade física	55
4.1.2.2.6	Composição centesimal e valor energético do <i>snack</i> com maior desejabilidade	55
4.1.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
4.1.3.1	Caracterização dos coprodutos	55
4.1.3.2	Propriedade física dos <i>snacks</i>	60
4.1.3.3	<i>Snack</i> de maior desejabilidade em relação as propriedades físicas	66
4.1.3.4	Composição centesimal e valor energético do <i>snack</i> de maior desejabilidade	68
4.1.4	CONCLUSÃO	69
	REFERÊNCIAS	70
4.2	ARTIGO 2	
	PROPRIEDADES FUNCIONAIS E QUÍMICAS DE FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS DE COPRODUTOS DE ARROZ E SOJA PRETA EM FUNÇÃO DAS VARIÁVEIS DE EXTRUSÃO	75
4.2.1	INTRODUÇÃO	76
4.2.2	MATERIAL E MÉTODOS	78

4.2.2.1 Material	78
4.2.2.2 Métodos	78
4.2.2.2.1 Obtenção dos coprodutos	78
4.2.2.2.2 Processamento das farinhas pré-gelatinizadas	79
4.2.2.2.3 Características físicas, químicas e micro-estruturais da mistura de coprodutos crua e das farinhas pré-gelatinizadas	80
4.2.2.2.4 Propriedades funcionais das farinhas pré-gelatinizadas e da mistura crua	80
4.2.2.2.5 Análise estatística	82
4.2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	83
4.2.3.1 Composição centesimal, valor energético e propriedades funcionais das mistura crua	83
4.2.3.2 Propriedades funcionais das farinhas pré-gelatinizadas.	85
4.2.3.3 Microscopia eletrônica de varredura	97
4.2.4 CONCLUSÃO	98
REFERÊNCIAS	99
5 CONCLUSÃO GERAL	104
ANEXOS	105

1 INTRODUÇÃO

O arroz é um alimento básico para mais da metade da população mundial. Os países com grande crescimento na produção de arroz são a Tailândia, China, Índia, Indonésia, Bangladesh, Birmânia, Vietnam, Japão e Filipinas (HU et al., 2009). O arroz é visto por muitos governos asiáticos como uma “*commodity*” estratégica, por ser o elemento mais importante na dieta dos mais pobres, e uma importante fonte de renda para os produtores (HOSSAIN et al., 2005).

Grãos quebrados são frações de arroz geradas durante o beneficiamento, que dependendo da cultivar, época de colheita e temperatura de secagem pode representar entre 14% e 60% do total dos grãos submetidos ao processo de beneficiamento. Normalmente este subproduto é rejeitado, obtendo apenas a quinta parte do valor comercial obtido pelo grão de arroz inteiro, o que gera grande perda econômica para o setor arroseiro do país. Entretanto, possui a mesma composição do grão inteiro, ou seja, é rico principalmente em amido (LIMBERGER, 2008).

Farelos são os produtos resultantes do processamento de grãos de cereais e ou leguminosas, constituídos principalmente de casca e ou gérmen, podendo conter partes do endosperma (BRASIL, 2005). O farelo de arroz também é gerado no brunimento e polimento, alcançando de 8 a 12% do total dos grãos, sendo excelente fonte de fibras, vitaminas, minerais, proteínas e lipídeos. As fibras do farelo de arroz (a maioria insolúveis) são componentes que possuem boa capacidade de absorção de água e óleo, e por isso podem contribuir para o desenvolvimento de uma grande variedade de produtos industrializados que requerem essas propriedades (LACERDA et al., 2009).

A soja pode ser subdividida em amarela, verde, marrom e preta, de acordo com a cor do tegumento da semente. A soja preta é conhecida por exibir atividade biológica superior à soja verde e amarela, possuindo componentes como ácidos fenólicos, antocianinas e isoflavonas, responsáveis por remover radicais livres e inibir a oxidação do LDL (lipoproteínas de baixa densidade). Além disso, a soja preta possui atividades anti-inflamatória e anticancerígena, despertando forte interesse por seus méritos biológicos e nutricionais (KIM et al., 2010). Tem sido utilizada como alimento e material medicinal na China e é uma importante fonte para o desenvolvimento de antioxidantes naturais (HUANG et al., 2004). A soja tem sido recomendada como alimento saudável, pois manifesta capacidade antioxidante, reduz o risco de doenças cardiovasculares e

obesidade, reduz a incidência de câncer, inibe a proliferação das células tumorais, e alivia sintomas relacionados com a menopausa (DI GIACOMO et al., 2009).

Okara é um subproduto da soja obtido a partir do processo de filtração do extrato aquoso, que mantém muitas das propriedades nutricionais e funcionais da leguminosa. Pesquisas demonstram sua elevada qualidade nutricional e possíveis aplicações, visando melhorias em produtos alimentícios, visto que atualmente tem sido pouco explorado na área alimentícia (BOWLES, DEMIATE, 2006). O okara apresenta altos teores de proteínas e fibras, sendo que em média varia entre 37 e 42,5%, respectivamente, além disso, um terço do conteúdo de isoflavona da soja transfere-se à okara tornando-a grande potencial para utilização como contendo grande quantidade deste composto bioativo (HSIEH et al., 2008).

A extrusão constitui processo contínuo, muito utilizado na tecnologia de transformação de alimentos, pois provoca alterações em várias propriedades funcionais do amido e de farinhas amiláceas em função dos parâmetros operacionais do processo, dependendo também de fatores como umidade e tipo de matéria-prima. Modificações químicas e estruturais ocorrem nos alimentos extrusados como a gelatinização do amido, a desnaturação de proteínas, formação de complexos entre amilose e lipídeos, reação de Maillard (VAN DEN EINDE et al., 2005). Vantagens da extrusão em relação a outros tipos de processamento também são observadas, como versatilidade, alta produtividade, viabilidade econômica, baixa degradação dos nutrientes dos alimentos, aumento da digestibilidade, destruição de alguns componentes anti-nutricionais, enzimas indesejáveis e microrganismos, eficiência no gasto de energia, produção de novos alimentos, além da economia de tempo (SINGH; KAUR; MCCARTHYB, 2007).

O mercado de *snacks* segue a tendência de ênfase na saúde e seus ingredientes alimentícios podem proporcionar qualidade de vida, comprovado pelo número de lançamentos de produtos fortificados, enriquecidos e funcionais (LUSTOSA et al., 2009). Os *snacks* mais comercializados são aqueles que utilizam o milho como matéria-prima básica, já que este possui características de cor, textura e sabor dentro dos padrões considerados aceitos pelo consumidor. Entretanto, *snacks* obtidos a partir de matérias-primas com aspectos nutricionais relevantes tem ganhado espaço no mercado (OLIVEIRA, 2013a).

O processo de pré-gelatinização do amido, obtido por meio da extrusão, amplia as possibilidades de elaboração de novos produtos e proporciona melhorias no processamento de alguns alimentos. A farinha pré-gelatinizada é obtida por meio do processo de extrusão e possibilita a produção de alimentos instantâneos como sopas e sobremesas, além de utilização como ingredientes para produtos como biscoitos e massas (LACERDA et al., 2010).

Assim, este trabalho objetivou estudar as propriedades de expansão e cor de *snacks* e de absorção em óleo e água, solubilidade em água, viscosidade durante o cozimento e resfriamento e força do gel de farinhas pré-gelatinizadas de arroz quebrado, farelo de arroz e okara desidratada de soja, em função dos teores de umidade e temperatura de extrusão.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. IMPORTÂNCIA ECONÔMICA E QUALIDADE NUTRICIONAL DAS MATÉRIAS-PRIMAS

2.1.1 Arroz

O arroz (*Oryza Sativa*) é o segundo cereal de maior produção mundial, perdendo somente para o trigo. Estima-se que na safra 2012 foram produzidas 730 milhões de toneladas de arroz em casca. O Brasil possui uma boa participação na produção mundial de arroz e é considerado o décimo consumidor global (FAO, 2013).

O aspecto mais relevante do arroz como fonte nutricional é que o mesmo fornece 20% da energia e 15% da proteína per capita necessária ao homem, sendo considerada a espécie vegetal que apresenta maior potencial para combater a fome no mundo (BASSINELLO; CASTRO, 2004). Mas, outras características do arroz também são importantes como: o fato de não ser um alimento alergênico; a existência de cultivares com ampla faixa de teor de amilose, que permite a seleção de acordo com a finalidade; não haver restrição para portadores de doença celíaca (não contém glúten); o pequeno tamanho dos grânulos de amido, que confere textura extremamente suave com o cozimento e sabor brandos; conter baixos níveis de sódio e alta proporção de amidos facilmente digeríveis (TORRES et al., 1999).

As características determinantes da qualidade do grão de arroz refletem-se diretamente no valor de mercado do produto e no grau de aceitação pelo consumidor. O termo qualidade de grãos em arroz apresenta diferentes significados, sendo concebido e visto também de forma diferenciada, dependendo da finalidade de consumo do produto, do grupo étnico envolvido, do tipo de processamento utilizado, entre outros fatores. Dessa forma, o arroz pode ser avaliado como sendo de boa ou má qualidade com influência de preferências e necessidades do consumidor e, quando essas preferências diferem, o mesmo produto pode ser julgado como bom e adequado por um grupo e totalmente inadequado por outro (VIEIRA; SANTOS; SANTANA, 1999). Portanto, qualidade de arroz é algo subjetivo, pois depende dos padrões estabelecidos nos diferentes países, que são afetados pelos padrões culturais e pela sua forma de utilização na alimentação. Para arroz o termo qualidade está relacionado, principalmente, ao comportamento do amido contido no endosperma e às dimensões do grão (CASTRO et al., 1999).

O grão de arroz compõe-se por cariopse e casca. A casca é uma camada protetora que corresponde a aproximadamente 20% da massa total. A cariopse é composta por diferentes camadas na parte externa (pericarpo, tegumento e camada de aleurona) e internamente pelo endosperma, sendo que o mesmo corresponde a cerca de 70% da massa total do grão. A porção conhecida como farelo (pericarpo, tegumento, camada de aleurona e germe) corresponde a aproximadamente 10% da massa total e concentra os lipídios presentes no grão (WALTER; MARCHEZAN; AVILA, 2008).

Obtém-se o arroz integral através do descascamento, separando-se a casca da cariopse, enquanto que o arroz branco é obtido quando o arroz integral é polido para a remoção do farelo. As etapas de beneficiamento do arroz geram percentuais de subprodutos que variam, e segundo Balachandran et al. (2008), no beneficiamento do arroz branco polido, gera-se cerca de 5 a 10% de farelo e em média 14% de grãos quebrados (Figura 1). Esses coprodutos apresentam baixo valor de mercado, além da pouca aceitação. Apenas uma pequena parcela deles é transformada em produtos de maior valor agregado como farinha de arroz e seus derivados (SILVA; SANCHES; AMANTE, 2006).

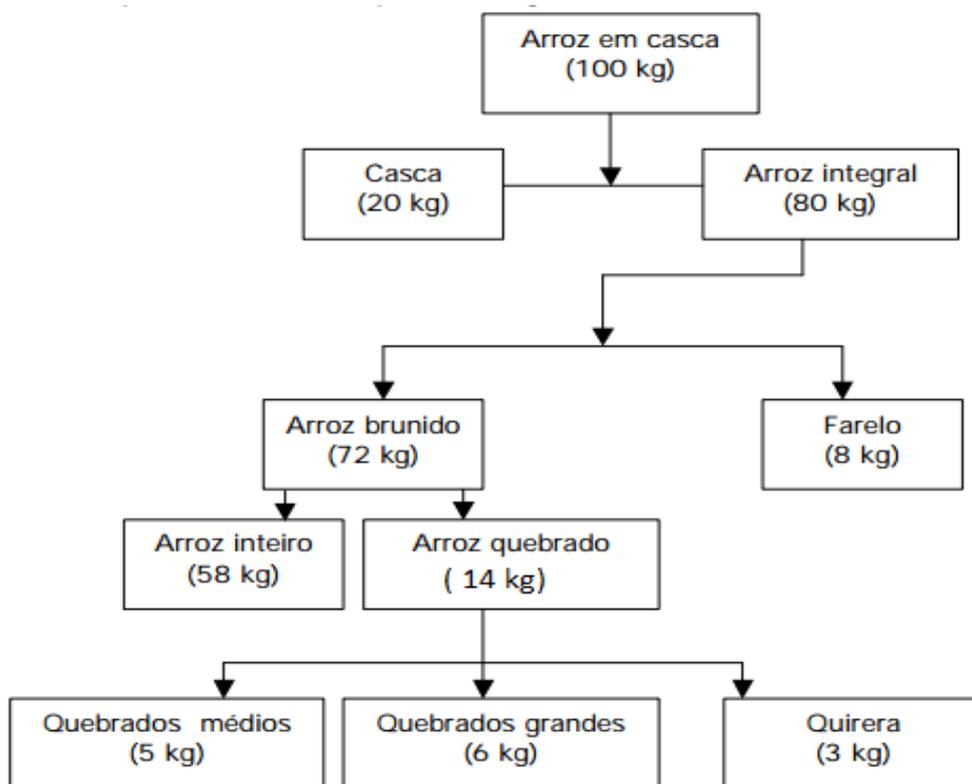


Figura 1: Quantidades aproximadas de grãos inteiros e coprodutos obtidos a partir do beneficiamento do arroz em casca. Fonte: Castro et al. (1999)

2.1.1.1 Grãos quebrados de arroz

Durante o beneficiamento perde-se entre 14 e 20% da produção na forma de grãos quebrados. A quebra dos grãos de arroz durante o processo de beneficiamento é causada por fissuras originadas durante a colheita mecânica ou regiões de menor resistência dos grãos, que quando são submetidas a diferentes gradientes de umidade durante a secagem causam a ruptura dos mesmos. Neste contexto, o uso de temperaturas elevadas para acelerar o processo é o fator de maior influência. Sabe-se que o manejo inadequado da lavoura, fatores climáticos e as características varietais também contribuem para o desenvolvimento das mesmas, ocasionando assim a quebra dos grãos inteiros, redução da qualidade física e do preço do produto (SILVA et al., 2008; SRINIVAS; BHASHYAM, 1985).

Na composição nutricional média da quirera de arroz totalizou-se 9,81 g de proteínas, 0,62 g de lipídeos; 0,78 g de fibras; 88,05 g de carboidratos; 0,78 g de cinzas e 397,02 kcal por 100 g de amostra, valor praticamente igual ao do arroz inteiro beneficiado (MENDONÇA, 2005). Em relação à farinha de grãos quebrados de arroz *in natura*, encontrou-se 8,33 g.100g⁻¹ de proteínas, 1,10 g.100g⁻¹ de lipídeos, 0,38 g.100g⁻¹ de cinzas, 0,62 g. 100g⁻¹ e 90,19 g.100g⁻¹ de carboidratos (FERREIRA, 2012). Com isso pode-se dizer que grãos quebrados de arroz possuem alta quantidade de carboidratos e proteínas.

Os grãos quebrados, incluindo a quirera de arroz, têm sido utilizados nos últimos anos como matéria-prima para elaboração de farinha de arroz, e a partir desta de vários alimentos, entre os quais os desenvolvidos por meio do processo de extrusão, como constituinte principal ou ingrediente em formulações na elaboração de novos produtos, prontos, semi-prontos, entre outros para o consumo humano e animal (SILVA et al., 2008).

Assim, podem ser obtidos vários novos produtos ou ingredientes a partir dos grãos quebrados e da farinha de arroz como: farinhas pré-gelatinizadas (BECKER, 2010), farinhas torradas (TAVARES et al., 2012), farinhas modificadas por enzimas e farinhas lácteas (FERREIRA, 2012), farinhas mistas pré-gelatinizadas e macarrão (MOURA, 2011), salgadinhos extrusados (SOARES JÚNIOR et al., 2011; MOURA, 2011), extratos hidrossolúveis (CARVALHO et al., 2011; SOARES JÚNIOR et al., 2010) e filmes biodegradáveis para embalagem de alimentos (SOUZA; SOARES JUNIOR; YAMASHITA, 2013), sobremesas instantâneas (GUIMARÃES, 2012), bolos (SOUZA et al., 2013), biscoitos, pães, entre outros.

2.1.1.2 Farelo de arroz

O farelo de arroz é a camada externa da castanha do *kernel* do arroz, o qual é removido durante processamento. Os principais constituintes do farelo são: pericarpo, aleurona e subaleurona, que compõem as camadas externas do grão, e geralmente inclui o embrião ou germe e quantidade variável de endosperma com amido (WANYO; CHOMNAWANG; SIXIAMORPUN, 2009). Segundo Poulari, Asghari e Yoshida (2009), a produção mundial de arroz e do farelo de arroz é de grande importância econômica (Quadro 1).

Quadro 1 – Produção de arroz e farelo de arroz em âmbito nacional e mundial

País	Produção de arroz (1.000 t)^(a)	Farelo de arroz (1.000 t)^(b)
China	193354	15468
Índia	148260	11861
Indonésia	60251	4820
Bangladesh	46905	3752
Vietnã	38725	3098
Mianmar	30500	2440
Tailândia	30467	2437
Filipinas	16816	1345
Brasil	12100	968
Japão	11029	882
EUA	9240	739
Mundial	685013	54801

(a) Dados referentes à produção no ano de 2008 (FAOSTAT, 2009);

(b) Calculado sobre 8 % (POURALI; ASGHARI; YOSHIDA, 2009) da produção mundial de arroz.

Como o farelo de arroz é um coproduto do beneficiamento do grão de alto valor nutricional, novas pesquisas devem ser realizadas para criar formas alternativas para seu aproveitamento, além de se evitar desperdícios, pois, grande quantidade de farelo de arroz é desprezada nas regiões em que o arroz possui alto consumo. Isso ocorre devido à falta de controle sanitário no beneficiamento e também pela facilidade de rancificação do produto, restringindo assim sua utilização na alimentação humana. A aplicação de tratamento térmico é o método mais seguro e eficaz para manter a qualidade e o valor nutricional e industrial do farelo (LACERDA et al., 2013). Pois, as enzimas, os microrganismos, os insetos e os agentes antinutricionais naturais no farelo são afetados pelo calor.

A estabilidade do farelo de arroz ocorre após o mesmo ser torrado por 10 min em fogo direto a temperaturas entre 105 a 110 °C em bateladas de 500 g (ALENCAR; ALVARENGA, 1991); em micro-ondas durante 3 min, utilizando potência útil de 900 W, em porções de 150g

(GARCIA et al., 2012a); ou após extrusão termoplástica sob temperatura de 110°C (LACERDA et al., 2013). Também há estudos que demonstram que o farelo de arroz parboilizado apresentou-se estável após quatro meses sem necessidade de processo complementar para garantir sua qualidade, indicando que a parboilização pode ser suficiente para gerar farelo estabilizado (SILVA; SANCHES; AMANTE, 2006).

Segundo Maragno e Kuhn (2013), após estudo do farelo de arroz cru e torrado, houve diferenciações na composição centesimal dos mesmos, sendo que o farelo de arroz cru com 8,90% de umidade, 13,97% de proteínas, 30,14% de lipídeos e 9,06% de cinzas e o farelo de arroz torrado houve uma pequena alteração quanto ao cru, sendo que possuiu 4,43% de umidade, 15,44% de proteínas, 27,24% de lipídeos e 9,05% de cinzas. O processo térmico utilizado pode ter afetado em pequena quantidade a estruturação química do farelo de arroz, já que não há trabalhos na literatura que comprove interferência grande entre o processo de torra e sua composição centesimal, visto também por Maragno e Kuhn (2013), que a influência no mesmo tipo de farelo é pequena e ainda o processo de torra preserva o co-produto contra rancificação.

O farelo de arroz apresenta propriedades únicas quando comparado a outros farelos de cereais, quanto ao seu emprego em panificação é apropriado como ingrediente para elaboração de diversos produtos, como pães (SOARES JUNIOR et al., 2009; SOARES JUNIOR et al., 2008), barras de cereais (GARCIA et al., 2012b), biscoitos (LACERDA et al., 2009), muffins (BASSINELLO; FERREIRA; BASSINELLO, 2011), entre outros.

2.1.2 Soja

A produção mundial estimada de soja na safra 2012 foi de 271,3 milhões de toneladas e o Brasil produziu 78 milhões de toneladas, sendo o segundo maior produtor mundial (HECK, 2013). A geração de novas tecnologias fez com que o Brasil tivesse um aumento na produção de soja (SANCHES; MICHELLON; ROESSING, 2011).

A soja é considerada um alimento rico nutricionalmente, devido seu elevado teor protéico e alto valor energético. Os grãos de leguminosas, em geral, são ricos também em carboidratos, vitaminas (especialmente do complexo B) e minerais, porém também apresentam alguns componentes antinutricionais, os quais se ligam às proteínas e à alguns minerais, como ferro, inibindo suas absorções e biodisponibilidades (HALLBERG et al., 1992). A soja tostada possui alto teor de ferro, 3,9 mg.100 g⁻¹, quando comparada ao teor encontrado em feijões cozidos, que variam de 0,9 a 2,5 mg.100 g⁻¹ (LESCANO, 2009).

O tratamento térmico melhora os valores nutricionais de produtos de soja, devido inativação dos inibidores de proteases. No geral, os produtos comerciais de soja recebem tratamento térmico de forma a apresentarem menos de 20% da atividade inibitória de tripsina da soja crua (TAKAHASHI et al., 2005).

A soja é considerada um alimento funcional, pois além de fornecer nutrientes ao organismo, proporciona benefícios para a saúde quando consumida como parte de uma dieta saudável. A soja possui aspectos importantes à saúde humana por sua capacidade antioxidante, redução do risco de doenças cardiovasculares e da obesidade, e da incidência de câncer, pois inibe a proliferação de células tumorais, e minimiza sintomas da menopausa. No entanto, o mecanismo de tais funções no nível de proteína não foi completamente elucidado (FANG et al., 2010).

2.1.2.1 Soja preta

Existem grãos de soja com tegumento amarelo, verde, marrom e preto, de acordo as características genéticas de cada material. A soja mais comum é a amarela, entretanto, a preta vem se destacando em alguns países do oriente devido suas propriedades funcionais. O valor nutritivo da soja preta é similar ao da soja amarela, porém contém maior quantidade de antioxidantes, o que é um fator benéfico a mais à saúde do consumidor. O teor de lipídeos da soja preta da pesquisa realizada por REZENDE (2012), foi de 24,4%, apresentando assim no seu estudo, 1,43% a mais de teor lipídico em relação à soja amarela, fornecendo assim calorias suficientes para que a proteína ingerida seja metabolizada para síntese de novos tecidos, diferente de uma dieta de baixo conteúdo calórico.

A soja preta é conhecida por exibir atividade biológica superior à soja verde e amarela, possuindo componentes como ácidos fenólicos, antocianinas e isoflavonas, responsáveis por remover radicais livres e inibir oxidação do LDL (lipoproteínas de baixa densidade). Além disso, a soja preta possui atividades anti-inflamatória e anticancerígena, despertando forte interesse por seus méritos biológicos, além dos nutricionais (KIM et al., 2010).

Os antioxidantes estão presentes na soja em seus diferentes tegumentos, sendo que as antocianinas são pertencentes à família dos flavonóides e são encontradas na forma de glicosídeos facilmente hidrolisados por aquecimento em meio ácido, resultando na formação de açúcares e agliconas. A estrutura básica é de um cátion flavílio que possui uma ou mais unidades de açúcar na posição R". Outras unidades de açúcares também podem ser ligadas pelos grupos OH nas posições 3, 5 e 7, como observado na Figura 2 (ROCHA, 2009). Os

ácidos fenólicos possuem ação anticéptica, anticarcinogênica e antioxidante, sendo representante da classe de fenóis e polifenóis. Outro representante de importância dos fenólicos são os flavonóides. Entre as substâncias fenólicas sintetizadas pelas plantas de importância biológica, aquelas que possuem estrutura similar ao hormônio estradiol apresentam atividade estrogênica, sendo que nesta classificação, incluem-se isoflavonas (genisteína e daidzeína), lignanas, coumestanas e estilbene. A soja preta é maior fonte de isoflavonas e seu conteúdo depende da variedade do grão, da safra e do tipo de processamento utilizado (VIZZOTTO; KROLOW; TEIXEIRA, 2010).

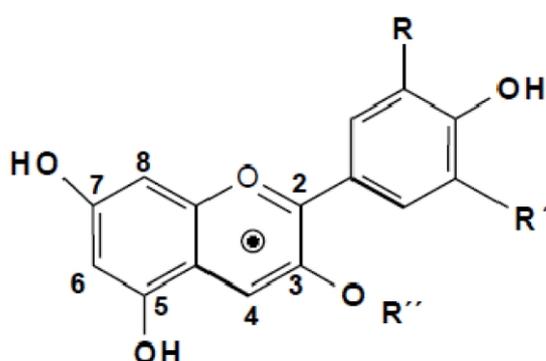


Figura 2 – Estrutura genérica das antocianinas a partir do esqueleto das antocianidinas (agliconas).

Fonte: CAMPOS (2006)

Devido à similaridade com o hormônio feminino 17 β -estradiol, as isoflavonas têm sido utilizadas como alternativa para tratamento dos sintomas e efeitos da menopausa. Han et al. (2002) observaram que a suplementação com isoflavonas resultou na melhora dos sintomas vasomotores de mulheres em menopausa e há uma revisão sistemática de dados da literatura conduzida por Howes, Howes e Knight (2006), na qual se demonstrou que a suplementação com isoflavonas promove uma modesta melhora nas ondas de calor provocadas pela menopausa.

A soja preta tem sido utilizada como alimento e material medicinal na China e é uma importante fonte para o desenvolvimento de antioxidantes naturais. Devido seu alto teor de antocianina, que pode estabilizar eficientemente o radical de oxigênio livre (KUO et al., 2006). Por um longo tempo, a pesquisa sobre antocianina da soja preta se concentrou na sua estrutura e nas suas propriedades químicas, enquanto pesquisas sobre a atividade fisiológica das antocianinas ainda são escassas (CUI et al., 2004).

Por causa dos grupos substituintes polares (hidroxilas, carboxilas e metoxilas) e glicosilas residuais ligados aos seus anéis aromáticos, as antocianinas são moléculas polares. Sendo assim, elas são mais solúveis em água do que em solventes não-polares, porém, dependendo das condições do meio (como o pH, luz, temperatura e metais), as antocianinas podem ser solúveis em éter (VALDUGA, 2008).

De acordo Rie et al. (2005), o revestimento da semente de soja preta possui teor de polifenóis mais elevado do que o de soja amarela ($29,0 \pm 0,56$ e $0,45 \pm 0,02$ mg/g, respectivamente). Os resultados gerais da pesquisa sugeriram que a soja preta pode ser mais eficaz na inibição da oxidação da LDL de que sojas amarelas, devido seu maior conteúdo total de polifenóis no seu revestimento de semente.

Segundo Xu e Chang (2008), o grão de soja preta e sem casca de soja preta apresentou o conteúdo de isoflavonas semelhantes em 7-O- β -glicosídeos e malonil glicosídeos de daidzeína e genisteína. A contribuição dos compostos fenólicos no tegumento à atividade antioxidante de peças de soja preta depende dos métodos de ensaio. Quando medido com os métodos de DPPH e FRAP, o revestimento da semente pode contribuir com 90% do total da capacidade antioxidante da soja preta.

2.1.2.2 Okara

Okara é um coproduto da soja obtido pela filtração do extrato aquoso, que mantém muitas propriedades nutricionais e funcionais da leguminosa. De acordo Devidé et al. (2012) e Mandarino, Benassi e Carrão-Panizzi (2003), o extrato aquoso da soja é obtido por uma sequência de etapas. Inicialmente, realiza-se a inativação dos fatores anti-nutricionais presentes nos grãos de soja, para posterior cocção. Na soja cozida, utiliza-se uma proporção de 2:1 de água em relação ao peso da soja para trituração dos mesmos. Com este homogeneizado, por filtração e centrifugação, torna-se possível a obtenção do extrato aquoso e enfim o okara, que é o produto sólido que permanece retido durante a etapa de filtração. Para utilização do okara, o ideal é que este resíduo seja desidratado em estufa de circulação de ar a 60 °C por 10 h (Figura 3).

O mercado de soja apresenta forte crescimento no segmento de bebidas, quando comparado a produtos tradicionais, sendo que o mercado à base de soja apresentou um crescimento de 93% nos últimos anos, enquanto que o mercado de sucos prontos cresceu 25% no mesmo período, crescimento decorrente da procura do consumidor por produtos saudáveis e práticos (JAEKEL; RODRIGUES; DA SILVA, 2010). A indústria de produtos a base de

extratos de soja, ingrediente necessário para a formulação das bebidas de soja, produzem grande quantidade de okara, mas normalmente não o reaproveitam para alimentação humana.

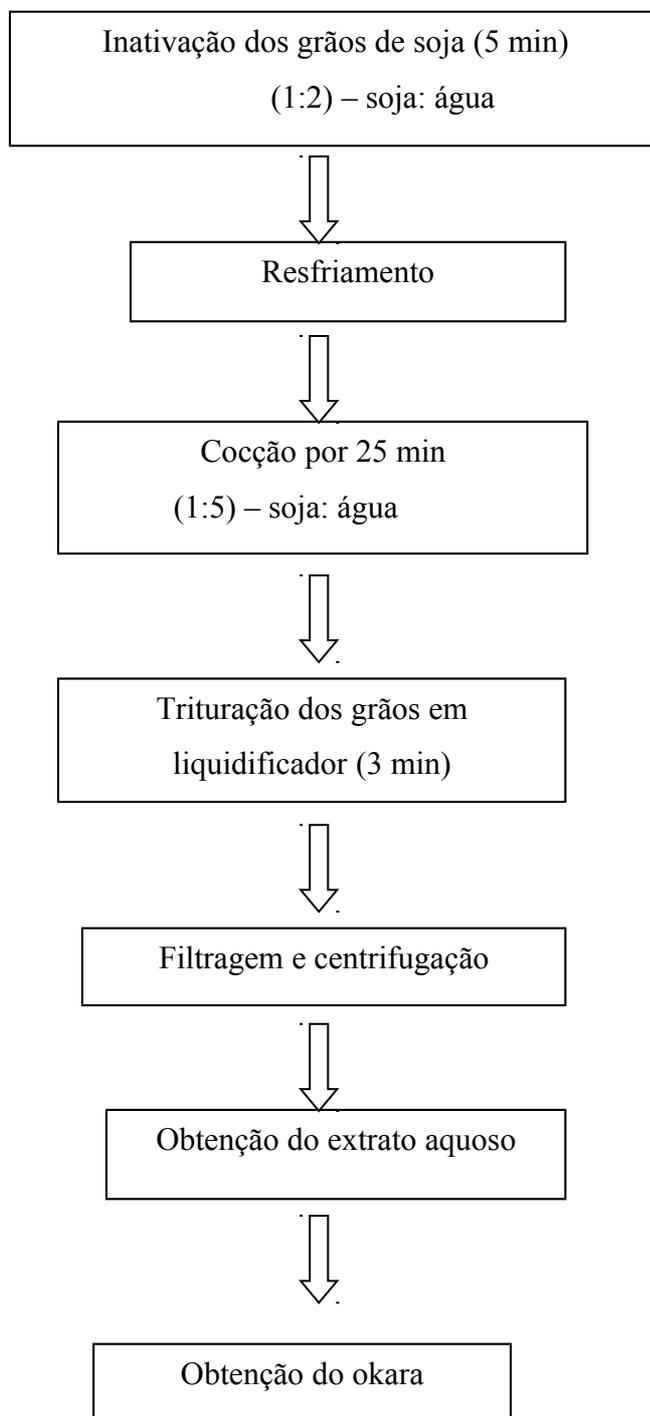


Figura 3 – Fluxograma da elaboração do extrato de soja e okara.

Fonte: DEVIDÉ et al. (2012)

Em relação à composição química, o okara possui altos teores de proteína, sendo em média 42,5% em base seca. Aproximadamente um terço de isoflavonas da soja é transferido ao okara de soja preta. Desta forma, esse coproduto, além de possuir potencial para ser utilizado como fonte de nutrientes, também é fonte de isoflavonas (LI et al., 2012).

O okara contém também elevado percentual de fibras, além de ótimo perfil em aminoácidos essenciais. Segundo Pauletto e Fogaça (2012), encontrou-se no okara 3,5 g.100 g⁻¹ de fibra bruta, 6,3 g.100 g⁻¹ de proteína e 0,8 g.100 g⁻¹ de minerais, porém o método de extração do okara realizado pelo autor pode ter afetado o valor nutritivo encontrado, já que outros autores encontram valores médios protéicos maiores, como Vieira, Santos e Santana (1999) que encontrou 32,4 g.100 g⁻¹ de proteínas.

O baixo valor de mercado deste resíduo o torna ótima alternativa para a formulação de alimentos como biscoitos, pães, bolos, doces e salgados nutricionalmente enriquecidos. Biscoitos doces elaborados com 40% de farinha de okara, apesar das transformações durante o processamento, preservam boa quantidade de isoflavonas (LAROSA et al., 2003).

O okara tem sido objeto de estudo afim de transformá-lo em um produto com maior valor agregado e que possa ser empregado em qualquer tipo de alimento. Além disso, esse resíduo da soja tem sido empregado na produção de gêneros alimentícios como hambúrgueres, iogurte e produtos de panificação (SOARES JÚNIOR et al., 2006). Apesar do seu potencial nutricional e tecnológico, ainda não é muito utilizado em alimentos para seres humanos, sendo mais empregado para a fabricação de rações animais (BOWLES; DEMIATE, 2006).

Neste contexto, sua mistura com outros coprodutos e o processo de extrusão poderia ser empregado para melhorar suas propriedades, como a capacidade de absorção de água e a solubilidade em água e, conseqüentemente, proporcionar maiores possibilidades de aproveitamento deste coproduto, aumentando sua utilização como ingrediente para formulação de muitos tipos de alimentos.

2.2. EXTRUSÃO TERMOPLÁSTICA: PRODUÇÃO DE SNACKS E FARINHAS MISTAS PRÉ-GELATINIZADAS

2.2.1 Extrusão termoplástica

A extrusão é um processo contínuo, termomecânico, que combina as operações unitárias como misturar, amassar e modelar, com cocção ou não, para ampliar as possibilidades de

elaboração de ingredientes ou alimentos típicos ou alternativos com distintas formas, texturas, cores e aromas. Seu princípio básico é a conversão de um material sólido em massa fluída pela combinação de umidade, calor, compressão e tensão de cisalhamento, forçando sua passagem através de uma matriz para formar um produto com características físicas e geométricas pré-determinadas, que levam à gelatinização do amido, à desnaturação de proteínas e à ruptura de ligações de hidrogênio (THAKUR; SAXENA, 2000).

Os produtos típicos incluem grande variedade de salgadinhos e cereais matinais expandidos de baixa densidade prontos para o consumo, ou também pode ser empregado para melhoria de aspectos tecnológicos de farinhas para diversos usos, como panificados, embutidos e outros. Existem também novas tecnologias, como as que combinam fluídos super-críticos com a extrusão, para produção de uma gama de novos produtos expandidos, massas e confeitos. Os produtos extrusados podem ser processados subsequentemente por secagem ou fritura, e são conservados por meio de embalagens distintas (FELLOWS, 2006).

A extrusão pode ser classificada como processo a quente ou a frio. No primeiro, o alimento é submetido a um tratamento térmico, o processo denomina-se cozimento por extrusão, em que o produto é aquecido pelo contato com as paredes da camisa da extrusora ou através de contato com a rosca aquecida internamente com vapor. Não havendo nenhum processamento ou tratamento térmico durante a extrusão, classifica-se o processo como a frio (YAGCI; GOGUS, 2009).

As variáveis do processo de extrusão são muitas, entre elas destacam-se o teor de umidade, a composição e a granulometria da matéria-prima, a taxa de alimentação, a configuração do parafuso, a temperatura da camisa do cilindro, a configuração da camisa do cilindro, a velocidade de rotação do parafuso, a forma e as dimensões da matriz. Já em relação aos fatores de qualidade dos produtos obtidos por extrusão se incluem: o índice de expansão, o volume específico, o valor nutritivo, os parâmetros instrumentais de cor (L^* , a^* e b^* e DE), a resistência mecânica e o nível de degradação molecular dos *snacks*, assim como os índices de absorção e de solubilidade em água, as características viscoamilográficas e as texturas dos géis formados a partir das farinhas pré-gelatinizadas (YACU, 1992; SOARES JÚNIOR et al., 1999; BASTOS, 2012).

2.2.2 Desenvolvimento de Novos Produtos

O processo de desenvolvimento de produto é uma sequência de atividades de uma empresa com finalidade de conceber, desenvolver e comercializar um novo produto, sendo

que muitas dessas atividades são intelectuais e organizacionais, ao invés de físicas (COOPER, 2001).

O desenvolvimento de um ingrediente ou produto alimentício se trata de um processo complexo e de natureza multidisciplinar que exige ampla relação entre a administração da empresa, a equipe de pesquisa e desenvolvimento e os setores de marketing, produção, compras, fornecedores, para se obter o sucesso almejado. Existem três componentes básicos no projeto de desenvolvimento de novos produtos: o processo de tomada de decisão, o processo de fluxo do trabalho e os sistemas paralelos de suporte ao processo (KAMINSKY, 2000).

A avaliação sensorial intervém em diferentes etapas do ciclo de desenvolvimento de produtos, como na seleção e caracterização de matérias-primas, na seleção do processo de elaboração, no estabelecimento das especificações das variáveis das diferentes etapas do processo, na otimização da formulação, na seleção dos sistemas de envase e das condições de armazenamento e no estudo de vida-de-prateleira do produto final (PENNA, 1999).

A produção de alimentos é um dos pilares de qualquer economia seja por sua abrangência e essencialidade, ou pela rede de setores direta e indiretamente relacionados, como o agrícola, o de serviços e o de insumos, aditivos, fertilizantes, agrotóxicos, bens de capital e embalagens (ABIA, 2012).

Há duas definições simples de um novo produto, sendo elas: um produto não fabricado anteriormente por uma empresa e introduzido por essa empresa em seu mercado ou em um novo mercado, ou a apresentação ou nova marca por uma empresa de produto estabelecido em uma nova forma, um novo pacote ou sob um novo rótulo para um mercado não explorado anteriormente por essa empresa (SOUSA, 2012).

2.2.3 Snacks Extrusados

Não há uma definição clara de *snacks*, mas são conhecidos como alimentos que se comem entre as refeições principais para reduzir a fome ou para obter o seu sabor, como: frutos, sementes, e alimentos à base de cereais. Biscoitos, pipocas, salgadinhos, pães e torradas são tipos de lanches à base de cereais que podem ser produzidos por vários processos, entre os quais por extrusão. Inicialmente, foram produzidos por extrusão os aperitivos de primeira geração, como os *snacks* de milho e os cereais matinais. Depois, surgiram os *snacks* de segunda geração. Os primeiros são expandidos diretamente ao sair da matriz de extrusão e depois são secos e temperados. Os de segunda geração não expandem

imediatamente após a extrusão, mas quando são submetidos a outro tratamento térmico, geralmente a fritura (YAGCI; GOGUS, 2009).

Os *snacks* são produtos oriundos da extrusão, sendo este um processo térmico de curta duração que ocorre a temperaturas elevadas, em que materiais amiláceos e/ou protéicos umedecidos são plasticizados e cozidos pela combinação de umidade, pressão, temperatura e cisalhamento mecânico, reestruturando as matérias-primas para criar novas formas e texturas, podendo melhorar as propriedades sensoriais, assim como a digestibilidade do material a ser extrusado; esta característica de transformação proporcionada pela extrusão permite elaboração de *snacks* de diversas matérias-primas diferentes e inclusive utilizar de coprodutos subutilizados pelas indústrias. Visto as possibilidades de enfoque sustentável (aproveitamento de coprodutos), a produção de *snacks* pode ser de grande importância econômica como também nutricional, desde que se utilize coprodutos ricos em nutrientes de interesse para alimentação humana (CARVALHO et al., 2012a).

Vários materiais têm sido utilizados para a produção de *snacks*, como milho (CAPRILES; SOARES; AREAS, 2007), farinha de arroz (BECKER, 2010), *gritz* de milho e grãos de milho (OLIVEIRA, 2013a), quirera de arroz e bandinhas de feijão (CARVALHO et al., 2012b), farinha de tremoço branco (OLIVEIRA, 2013b), além dos formulados com coprodutos de baixo valor comercial, como polpa residual de batata (BASTOS, 2012), farinhas mistas de arroz e linhaça (MOURA, 2011), mistura de bagaço e fécula de mandioca (FIORDA, 2011), fragmentos de arroz (SOARES JÚNIOR et al., 2011), farelo de arroz (LACERDA et al., 2010) e farinha de soja (BELLAVÉR; SNIZEK, 2012). Observa-se pelos trabalhos descritos nas literaturas acima que a produção de *snacks* com coprodutos tem sido uma tendência positiva para o mercado e a partir dos aspectos nutricionais positivos em grãos quebrados de arroz, farelo de arroz e okara de soja, estes coprodutos tornaram-se alvo de interesse da presente pesquisa.

A estrutura dos produtos expandidos extrusados depende do grau de gelatinização do amido e da fusão deste no interior do extrusor, pois a gelatinização, seguida da fusão, aumenta as características elásticas da massa. A partir disso, o vapor de água gerado durante o processo é responsável pela formação de bolhas no interior da massa fundida que são liberadas na saída da matriz, sendo esta a causa direta da expansão dos produtos extrusados (SOARES JUNIOR et al., 2011).

A expansão, a dureza, a crocância e a densidade são características importantes para *snacks*, já que afetam a aceitabilidade do produto final. É esperado como característica dos *snacks*, uma estrutura expandida, sendo assim, de grande importância a aferição do índice de

expansão e do volume específico nos mesmos, sendo obtido seu índice de expansão através da razão entre diâmetro dos extrusados e diâmetro do orifício de saída da extrusora, enquanto que para volume específico faz-se necessário aferir o volume e a massa dos *snacks* extrusados (BASTOS, 2012).

Há aferições instrumentais para parâmetros de textura dos *snacks*, geralmente para este tipo de produto, fazem-se medidas de fraturabilidade e dureza. Desde que as características de textura estejam dentro de um intervalo aceitável, a aplicação de sabor parece ser a mais importante para o apelo ao consumidor (FALLER; KLEIN; FALLER, 1999).

Quando os extrusados são moídos, transformam-se em farinhas pré-gelatinizadas e assim o produto adquire novo formato. A opção de desenvolver farinhas pré-gelatinizadas a partir da trituração dos *snacks* torna possível o emprego do extrusado como espessante ou estabilizante em produtos instantâneos, de panificação e de confeitaria, ou seja, novas oportunidades de inovação para o mercado consumidor (CARVALHO et al., 2012b).

2.2.4 Amidos e Farinhas Pré-Gelatinizadas

Por meio do processo de extrusão podem-se obter amidos e farinhas pré-gelatinizadas capazes de ampliar as possibilidades de aplicação como ingrediente alimentício, como em formulação de produtos instantâneos, pré-prontos ou produtos prontos (SINGH; KAUR, 2007).

O amido está presente na maioria dos tipos de farinhas que são submetidos ao processo de extrusão e o amido nativo classifica-se em três tipos de estruturas cristalinas a partir das diferenças dos difratogramas de raios-X: amidos de cereais como tipo “A”, amidos de tubérculos, frutas, milho com alto teor de amilose e amidos retrogradados como tipo “B” e amidos característicos de leguminosas como tipo “C”, uma mistura de “A” e “B” (LIU et al., 2009). A diferença no padrão de cristalinidade se deve principalmente à densidade do empacotamento das hélices, assim sendo, os amidos possuem padrão “A” apresentam-se mais densos; já o amido tipo “B” apresenta conteúdo de água maior e as cadeias de amilopectinas longas são mais numerosas quando se compara com amidos tipo “A” (HULLEMAN et al., 1999; VAN SOEST et al., 1996).

Amido é o produto amiláceo extraído das partes comestíveis de cereais, tubérculos, raízes e rizomas. A RDC nº 263 de 2005 regulamenta os produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. O amido quando extraído das plantas, sem alteração, denomina-se nativo, tendo ampla aplicação em diversos setores como indústria têxtil, de papel, farmacêutica, siderúrgica,

plástica e alimentícia e o amido modificado torna-se uma alternativa amplamente desenvolvida com objetivo de superar uma ou mais limitações dos amidos nativos e assim aumentar a utilidade deste polímero nas aplicações industriais (LEONEL; CEREDA; ROAVX, 1999; WURZBURG, 1986).

Os processos de modificação de amidos podem ser genéticos, físicos, químicos e enzimáticos. As novas exigências de processamento de alimentos necessitam de recursos da modificação de amidos, tais como: a capacidade espessante a frio nos alimentos instantâneos, solubilidade a frio de bebidas, estabilidade a altas temperaturas para alimentos infantis, estabilidade ao baixo pH em molhos para salada, maionese, temperos, estabilidade a congelamento ou descongelamento, resistência ao tratamento térmico em alimentos aquecidos por forno micro-ondas, regulador de absorção de óleo em alimentos fritos (RAINA et al., 2007).

A modificação do amido por processos genéticos aumenta a disposição de amilose ou amilopectina nos cereais e as principais características decorrentes da modificação genética após aumentar teor de amilose, é a maior temperatura de gelatinização, alta estabilidade ao tratamento térmico, alta retrogradação, baixa absorção de óleo e alta capacidade de formação de filme. Dentre as possibilidades de modificação do amido por processos físicos, está a pré-gelatinização por processo de extrusão e processos onde os amidos granulares intumescem em água fria e possuem vantagens de serem instantâneos, como melhor palatabilidade e brilho e geralmente são aplicados em pudins, sopas, molhos, cremes, etc (WEBER; COLLARES-QUEIROZ; CHANG, 2009).

O cozimento por extrusão aumenta significativamente a digestibilidade do amido quando comparado com os amidos não extrusados, devido à ruptura da estrutura física do grânulo de amido e à gelatinização, sendo caracterizado pelo aumento da viscosidade a frio (HAGENIMANA; DING; FANG, 2006).

As farinhas pré-gelatinizadas possuem modificação em sua estrutura amilácea de maneira que promove capacidade de melhoria na absorção e solubilidade da água, ou seja, as mudanças causam a gelatinização do amido e o aspecto de utilizar amido modificado pré-gelatinizado pode facilitar no processamento de produtos como bolo, pães, biscoitos e de confeitaria, além disso este tipo de farinha é um recurso extra para desenvolvimento tecnológico que proporciona redução de perdas industriais com utilização de coprodutos que anteriormente eram subutilizados e com o processo de extrusão e consequente produção de farinha pré-gelatinizada podem ser aproveitados (BASTOS, 2012).

As farinhas pré-gelatinizadas podem ser utilizadas na indústria alimentícia para elaboração de diversos produtos, tais como macarrões, bebidas em pó, formulação de sopas de preparo rápido, molhos semi-processados, produtos de confeitaria, entre outros (BASTOS, 2012).

De acordo com Fiorda (2011), na elaboração de farinha pré-gelatinizada obtidas a partir da mistura (70:30) de fécula e farinha de bagaço de mandioca, para a utilização em produtos empanados, as condições ideais de extrusão foram temperatura de 118,28 °C e umidade de 14 g.100 g⁻¹, para formulação de macarrão instantâneo e de espessante para bebidas frias. Tais parâmetros foram 90 °C e 16 g.100 g⁻¹ de umidade, sendo que neste trabalho, avaliou-se índice de absorção de água, de solubilidade em água, absorção de óleo e atividade de água das farinhas pré-gelatinizadas.

Segundo Bastos (2012), as farinhas pré-gelatinizadas de resíduos da industrialização de batata frita foram analisadas, e avaliados os efeitos das variáveis de extrusão termoplástica (temperatura e umidade) sobre propriedades físicas e funcionais dos produtos experimentais. Os valores de índice de solubilidade em água das farinhas pré-gelatinizadas e índice de absorção em água foram bastante superiores à valores da farinha crua, e a pesquisa concluiu que devido suas propriedades físicas e funcionais, essa poderia entrar como ingrediente em diversas formulações como biscoitos, massas, sopas instantâneas, dentre outros.

Em pesquisa de Costa, Moura e Soares Júnior (2011), as farinhas pré-gelatinizadas produzidas a partir de farinha de arroz e linhaça foi obtida pela moagem dos extrusados em moinho de martelo. Nos parâmetros de qualidade avaliados, observou-se que pôde produzir macarrão com a farinha pré-gelatinizada de arroz e linhaça contendo (80:20), 47 g.100 g⁻¹ de farinha de arroz e 10 g.100 g⁻¹ de farinha de linhaça, sendo este caracterizado com alimento rico em fibras.

Já em relação às pesquisas sobre misturas realizadas de farinhas pré-gelatinizadas contendo soja, Nascimento et al. (2007) realizou mistura de trigo e soja (80:20) para sopa cremosa semi-pronta, estudando efeito de umidade da mistura, temperatura de extrusão e velocidade de rotação do parafuso. Os resultados da pesquisa indicaram que as sopas cremosas obtiveram melhores escores de aceitação com o aumento da velocidade de rotação do parafuso até 180 rpm em temperatura de extrusão mais baixas e a sopa preparada com farinha mista com 26% de umidade e extrusada a 180 rpm e 120 °C, sendo que os efeitos de viscosidade foram melhores nessa faixa de rotação e temperatura.

Características importantes a serem avaliadas em ingrediente alimentício de uso em massas alimentícias e produtos de panificação, para que tenha aplicação alimentar, são as

propriedades como absorção de água e de óleo e solubilidade em água (MIZUBUTI et al., 2000). O índice de absorção de água (IAA) indica a quantidade de água absorvida pelos grânulos de amido inchados ou embebidos em água, enquanto que o índice de solubilidade em água (ISA) indica o grau de severidade do tratamento térmico e a consequente desramificação da estrutura das moléculas de menor peso molecular (ANDERSON et al., 1969).

O maior ou menor valor de IAA é determinado pela intensidade de ocorrência da gelatinização e fragmentação. Os grãos de amido gelatinizados absorvem mais água que os grãos de amido nativos e as proteínas, em virtude das mudanças conformacionais em suas estruturas, como alteração no seu balanço hidrofílico-hidrofóbico, além da severidade ou não severidade nos grânulos de amido ocasionada no tratamento de extrusão que podem contribuir em elevar ou reduzir o IAA (CARDOSO FILHO, 1993). O índice de solubilidade em água (ISA) relaciona-se 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 (KHANAL et al., 2008).

Freitas e Leonel (2008), estudando o efeito de condições operacionais de extrusão sobre o teor de amido resistente (AR) em fécula de mandioca, observaram um teor de AR de 4,15% antes da extrusão. Após a extrusão ocorreu redução do teor de AR, sendo que a temperatura de extrusão teve efeito significativo sobre este parâmetro, assim como a interação da umidade da matéria-prima com a rotação da rosca.

Geralmente condições de extrusão com teores mais baixos de umidade na mistura estão relacionados ao maior grau de dextrinização e menor viscosidade a frio (EL-DASH, 1982). Há grande influência da umidade na qualidade do extrusado, devido ao fato de afetar a estrutura celular e a fragilidade dos produtos expandidos (ONWULATA et al., 2001).

Muitas farinhas extrusadas melhoram o perfil viscoamilográfico, diminuindo o pico de viscosidade e a tendência à retrogradação. O pico de viscosidade ocorre após o início do aquecimento e antes do início do resfriamento da suspensão, sendo assim é um parâmetro que também mede a resistência do grânulo de amido ao colapso resultante da temperatura e do atrito mecânico (LUSTOSA et al., 2009). Já a viscosidade a quente é um parâmetro importante quando, por exemplo, as farinhas pré-gelatinizadas são destinadas às sopas, caldos, tortas ou outros alimentos em que é preciso a conservação da viscosidade em temperatura acima da ambiente (SILVA et al., 2008).

Os amidos que são capazes de inchar a um alto grau, também são menos resistentes à quebra no cozimento, exibindo consequente redução significativa na viscosidade após atingir

o valor máximo, ou seja, quanto maior é o seu valor proporcionalmente, menos resistente é o amido (LIMBERGER et al., 2008).

Após aquecimento, gelatinização e resfriamento do amido, uma das características de reconhecida importância, principalmente em relação à textura do produto, é o processo de retrogradação, sendo este, um fenômeno ocasionado devido a efeito da recristalização das moléculas de amilose e amilopectina. A degradação de grânulos de amido pode ocorrer na farinha extrusada. No processo de extrusão possíveis rompimentos das estruturas moleculares do amido podem ocasionar perda da capacidade de retrogradação das farinhas e reduzir a viscosidade no resfriamento, além de proporcionar diminuição na viscosidade final (ASCHERI et al., 2006).

A desnaturação e reorganização da estrutura das proteínas ocorrem devido ao tratamento térmico e podem aumentar a exposição dos sítios de ataque proteolítico e melhorar a digestibilidade protéica. Estes tipos de alterações também minimizam de forma eficaz o conteúdo de antinutricionais protéicos como lectinas e inibidores enzimáticos. Além disso, os antinutricionais não protéicos como ácido fítico, taninos e polifenóis sofrem degradação parcial ou complexação com proteínas e carboidratos, reduzindo assim, sua interferência na disponibilização e absorção de nutrientes (ALONSO; AGUIRRE; MARZO, 2000; RUIZ-RUIZ et al., 2008).

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Verificar a viabilidade da aplicação de grãos quebrados de arroz, farelo de arroz e okara da soja preta em *snacks* e farinhas pré-gelatinizadas, e avaliar o efeito da umidade e da temperatura de extrusão sobre a qualidade físico-químicas e tecnológicas desses produtos.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar os grãos quebrados, farelo de arroz e okara da soja preta e produtos finais *snacks* e farinhas-pré-gelatinizadas em relação às características químicas (composição centesimal);
- Desenvolver *snacks* e farinhas pré-gelatinizadas com os coprodutos de arroz e soja;
- Avaliar as propriedades físicas (expansão e parâmetros instrumentais de cor) dos *snacks* de coprodutos de arroz e soja em função do teor de umidade e temperatura de extrusão;
- Avaliar as propriedades tecnológicas, como índice de absorção em água (IAA), índice de solubilidade de água (ISA), índice de absorção em óleo (IAO), viscosidade durante o cozimento e o resfriamento e textura do gel e farinhas pré-gelatinizadas de coprodutos de arroz e soja em função do teor de umidade e temperatura de extrusão;
- Selecionar o *snack* extrusado com maior desejabilidade em relação à expansão e cor;
- Analisar a microestrutura da superfície dos *snacks* e farinhas com microscopia eletrônica de varredura.

REFERÊNCIAS

- ABIA (Associação Brasileira das Indústrias da Alimentação). **Sustentabilidade na indústria de alimentos**, Brasília, 40p., 2012. Disponível em: <http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_24/2012/09/03/187/20121122165418675687e.pdf>. Acessado em 10 out 2012.
- ANDERSON, R. A.; CONWAY, H.F.; PFEIFER, V. F.; GRIF-FN, L. J. Gelatinization of corn grit by roll and extrusion cook. **Cereal Science Today**, Saint Paul, v. 14, n. 1, p. 4-11, 1969.
- ALENCAR, M. L. C. B.; ALVARENGA, M. G. Farelo de arroz (I): composição química e seu potencial como alimento. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, Curitiba v. 34, n. 1, p. 95-9 108, 1991.
- ALONSO, R.; AGUIRRE, A.; MARZO, F. Effects of extrusion and traditional processing methods on antinutrients and in vitro digestibility of protein and starch in faba and kidney beans. **Food Chemistry**, London, v. 68, n. 2, p. 159-165. 2000.
- ASCHERI, D. P. R.; ANDRADE, C. T.; CARVALHO, C. W. P.; ASCHERI, J. L. R. Obtenção de farinhas mistas pré-gelatinizadas a partir de arroz e bagaço de jabuticaba: efeito das variáveis de extrusão nas propriedades de pasta. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos (CEPPA)**, Curitiba, v. 24, n. 1, p. 115-144, 2006.
- BALACHANDRAN, C; MAYAMOL, P.N. THOMAS, S.; SUKUMAR, D.; SUNDARESAN, A., An ecofriendly approach to process rice bran for high quality rice bran oil using supercritical carbon dioxide for nutraceutical applications. **Bioresource Technology**, New York, v. 99, n. 1, p.290 -2912. 2008.
- BASSINELLO, P. Z.; CASTRO, E. da M. de. Arroz como alimento. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 25, n. 222, p. 101-108, 2004.
- BASSINELLO, P. Z.; FERREIRA, R. A.; BASSINELLO, G. L. B. **Delícias com arroz e feijão**. Santo Antônio de Goiás Embrapa Arroz e Feijão, 2011. 8 p.
- BASTOS, G. M. **Resíduos da industrialização de batata: aplicação na produção de farinhas, snacks, farinhas pré-gelatinizadas e massa alimentícia fresca sem glúten**. 2012. 215 f. Dissertação – (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2012.
- BECKER, F. S. **Caracterização de farinhas cruas e extrusadas obtidas a partir de grãos quebrados de diferentes genótipos de arroz**. 2010. 76 f. Dissertação - (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.
- BELLAVER, C.; SNIZEK JR., P. N. **Processamento da soja e suas implicações na alimentação de suínos e aves**, Concórdia: Embrapa, 2012. 20p. (Boletim informativo).
- BOWLES, S.; DEMIATE, I. M. Physicochemical characterization of the soymilk byproduct - okara. **Ciência Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 3, p. 652-659, 2006.

BRASIL, Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução nº 263, de 22 de setembro de 2005. Dispõe sobre: **Regulamento Técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos**. Diário Oficial da União de 22 de dezembro de 2000, Brasília, 2005.

CAMPOS, D. D. P. **Extração, purificação e isolamento de antocianinas de jambolão (*Syzygium cuminii*) e avaliação dos seus efeitos biológicos**. 2006. 109f. Dissertação (Mestrado em Química Analítica) – Departamento de Química Analítica, Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

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

CARVALHO, A. V.; BASSINELLO, P. Z.; MATTIETTO, R. A.; CARVALHO, R. N.; RIOS, A. O. Processamento e caracterização de snack extrusado a partir de farinhas de quirera de arroz e de bandinha de feijão. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 15, n. 1, p. 72-83, 2012(a).

CARVALHO, A. V.; RIOS, A. O.; BASSINELLO, P. Z.; FERREIRA, T. F. Efeito dos parâmetros de extrusão termoplástica sobre as propriedades tecnológicas de farinhas pré-cozidas elaboradas com arroz e feijão. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 15, n. 4, out.-dez. 2012(b).

CARVALHO, W. T.; SOARES JÚNIOR, M. S.; REIS, R. C.; VELASCO, P.; BASSINELLO, P. Z.; CALIARI, M. Características físico-químicas de extratos de arroz integral, quirera de arroz e soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical (Online)**, Goiânia, v. 41, n. 3, p. 421-429, 2011.

CARDOSO FILHO, N. **Efeito de algumas variáveis no processo de extrusão e nas características funcionais da farinha de feijão comum**. 1993. 128f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos)-Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1993.

CASTRO, E. M.; VIEIRA, N. R. A.; RABELO, R. R.; SILVA, S. A. **Qualidade de grãos em arroz**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 30 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Circular Técnica, 34).

COOPER, R. G. **Winning at new products: accelerating the process from idea to launch**. 3. ed. Cambridge, Mass: Perseus, 2001. 425p.

COSTA, T. V. M.; MOURA, C. M. A.; SOARES JÚNIOR, M. S. Qualidade tecnológica de massa alimentícia produzida a partir de farinhas de arroz e linhaça. SBPC: Conpeex 2011, **anais...**, Goiânia, 2011.

CUI, Z.; JAMES, A. T.; MYIAZAKI, S.; WILSON, R. F.; CARTER JUNIOR, T. E. Breeding specialty soybeans for traditional and new soyfoods. In: LIU, K. (Ed.). **Soybeans as functional foods and ingredients**. Champaign: AOCS Press, p. 290-295. 2004.

DEVIDÉ, J. C.; SEIBEL, N. F. ; FALCÃO, H. G.; RIBEIRO, S. N.; YAMAGUCHI, M. M. Elaboração e caracterização de hambúrgueres de carne bovina com aplicação de okara. SEMINÁRIO DE INACIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DA UTFPR, **anais...**, Londrina, 2012.

DI GIACOMO, C.; ACQUAVIVA, R.; SORRENTI, V.; VANELLA, A.; GRASSO, S.; BARCELLONA, M. L.; GALVANO, F.; VANELLA, L.; RENIS, M. Oxidative and antioxidante status in plasma of runners Effect of oral supplementation with natural antioxidants, **Journal of Medicinal Food**, Larchmont, v. 12, n.1, p. 145-150, 2009.

EL-DASH, A. A. Application and control of thermoplastic extrusion of cereals for food and industrial uses. In: POMERANZ, Y.; MUNCH, L. **Cereal a renewable resource: theory and practice**. Wageningen: American Association of Cereal Chemists, 1982. p. 165-216.

FALLER, J. Y.; KLEIN, B. P.; FALLER, J. F. Acceptability of extruded corn snacks as affected by inclusion of soy protein. **Journal Food Science**, Chicago, v. 64, n. 1, p. 185-188, 1999.

FANG, E. F.; WONG, J. H.; LIN, P.; NG, T. B. Biochemical and functional properties of a lectin purified from korean large black soybeans a cultivar of glycine max. **Protein Pept Lett**, Gainesville, v. 17, n. 6, p. 690-698, 2010.

FAO. Rice **Market Monitor (RMM)**: Round-up, v. 16, n. 2, 2013. Disponível em: <<http://www.fao.org/economic/est/publications/rice-publications/rice-market-monitor-rmm/en/>>. Acesso em: 20 abr. 2013.

FAOSTAT (FAO Statistical Database). **Production, Crops, Rice paddy**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx# ancor>>. Acesso em: 28 dez. 2009.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos**: princípios e prática. 2 ed, São Paulo: Editora Artmed, 2006. 602 p.

FERREIRA, S. M. **Modificação enzimática da farinha de grãos quebrados de arroz para produção de alimento sem glúten**. 2012. Dissertação – (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 169 f. 2012.

FIORDA, F. A. **Bagaço e fécula de mandioca na elaboração de farinhas cruas e pré-gelatinizadas, snacks e macarrões instantâneos com amaranto**. 187f. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Goiás.

FREITAS, T. S.; LEONEL, M. Amido resistente em fécula de mandioca extrusada sob diferentes condições operacionais. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 19, n. 2, p. 183-190, 2008.

GARCIA, M. C.; LOBATO, L. P.; BENASSI, M. T.; SOARES JÚNIOR, M. S. Application of roasted rice bran in cereal bars. **Ciência e Tecnologia de Alimentos (Impresso)**, Campinas, v. 32, n. 4, p. 670-676, 2012a.

GARCIA, M. C.; BENASSI, M. T.; SOARES JÚNIOR, M. S. Physicochemical and sensory profile of rice bran roasted in microwave. **Ciência e Tecnologia de Alimentos (Online)**, Campinas, v. 32, n. 1, p. 754-761, 2012b.

GUIMARAES, F. I. T. **Farinha pré-gelatinizada de arroz na formulação de sobremesa instantânea**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Goiás.

HALBERG, L.; ROSSANDER-HULTÉN, L.; BRUNE, M.; GLEERUP, A. Calcium and iron absorption: mechanism of action and nutritional importance. **European Journal of Clinical Nutrition**, Londres, v. 46, n. 5, p. 317-327, 1992.

HAGENIMANA, A.; DING, X.; FANG, T. Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking, **Journal of Cereal Science**, London, v. 43, n. 1, p. 38–46, 2006.

HAN, K. K.; SOARES JR, J. M.; HAIDAR, M. A.; LIMA, G. R.; BARACAT, E. C. Benefits of soy isoflavone therapeutic regimen on menopausal symptoms. **The American College of Obstetricians and Gynecologists**, Washington, v. 99, n. 3, p. 389–94, 2002.

HOSSAIN, S. T.; SUGIMOTO, H.; AHMED, G. J. U.; ISLAM, M. R. Effect of integrated rice-duck farming on rice yield, farm productivity, and rice-provisioning ability of farmers. **Asian Journal of Agriculture and Development**, Laguna, v. 2, n.1, p. 79-86, 2005.

HOWES, L. G.; HOWES, J. B.; KNIGHT, D. C. Isoflavone therapy for menopausal flushes: a systemic review and meta-analysis. **Maturitas**, Limerick, v. 55, n. 4, p. 203-211, 2006.

HSIEH, F.; XIE, M.; HUFF, H.; MUSTAPHA, A. Puffing of okara/rice blends using a rice cake machine. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 3, n. 8, p. 341-348, 2008.

HU, H.; YOU, J.; FANG, Y.; ZHU, X.; QI, Z.; XIONG, I. Characterization of transcription factor gene SNAC2 conferring cold and salt tolerance in rice. **Plant Molecular Biology**, Dordrecht, v. 67, n. 3, p. 169-181, 2009.

HUANG, M. T.; XIE, J. G.; LIN, C. B.; KIZOULIS, M.; SEIBERG, M.; SHAPIRO, S.; CONNEY, A. Inhibitory Effect of Topical Applications of Non-denatured Soymilk on the Formation and Growth of UVB-induced Skin Tumors. **Oncology Research**, Ribeirão Preto, v.14, n. 7, p. 387-397, 2004.

HULLEMAN, S. H. D.; KALISVAART, M. G.; JANSEN, F. H. P.; FEIL, H.; VLIEGENTHART, J. F. G. Origins of B-type crystallinity in glycerol-plasticised, compression-molded potato starches. **Carbohydrate Polymers**, Birmingham, v. 39, n. 2, p. 351-360, 1999.

KAMINSKI, P. C. **Desenvolvendo produtos com planejamento, criatividade e qualidade**. Rio de Janeiro: CTC, 2000. 27p.

KHANAL, S. K. **Anaerobic biotechnology for bioenergy production: principles and applications**, Honolu: Wiley-Blackwell, 2008. 301p.

KUO, L. C.; CHENG, W. Y.; WU, R. Y.; HUANG, C. J.; LEE, K. T. Hydrolysis of black soybean isoflavone glycosides by *Bacillus subtilis natto*. **Applied Microbiology Biotechnology**, Berlim, v. 73, n. 1, p. 314-320, 2006.

JAEKEL, L. Z.; RODRIGUES, R. S.; DA SILVA, A. P. Avaliação físico-química e sensorial de bebidas com diferentes proporções de extrato de soja e de arroz. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, n. 2, p. 342-348, 2010.

KIM, H. J.; BAE, I. Y.; AHN, C. W. S.; LEE, H. G. Purification and identification of adipogenesisinhibitory peptide from black soybean protein hydrolysate. **Peptides**, New York, v. 28, n. 2, p. 2098-2103, 2010.

LACERDA, D. B. C. L.; SOARES JUNIOR, M. S.; BASSINELLO, P. Z.; DE CASTRO, M. V.; LOBO, V. L. S.; CAMPOS, M. R. H.; SIQUEIRA, B. S. Qualidade de farelos de arroz cru, extrusado e parboilizado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 4, p. 521-530, out.-dez., 2010.

LACERDA, D. B. C. L.; SOARES JÚNIOR, M. S.; BASSINELLO, P. Z.; SIQUEIRA, B. S.; KOAKUZU, S. N. Qualidade de biscoitos elaborados com farelo de arroz torrado em substituição à farinha de trigo e fécula de mandioca. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, Caracas, v. 59, n. 2, p. 199-205, 2009.

LACERDA, D. B. C. L.; SOARES JÚNIOR, M. S.; BASSINELLO, P. Z.; CALIARI, M.; CASTRO, M. V. L. The kinetics of lipase activity and hydrolytic rancidity of raw, parboiled and extruded rice bran during storage, **Ciência e Tecnologia de Alimentos (Impresso)**, Campinas, v. 33, n. 2, p. 376- 381, 2013.

LAROSA, G.; CARVALHO, M.R.; LIMA, T.M.; MELICIO, S.P.Utilização da farinha de okara na elaboração de biscoito doce contendo isoflavona. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DE ALIMENTOS, 5., 2003, Campinas. **Anais...** Campinas: FEA/UNICAMP/ FEA, 2003. 1 CD-ROM.

LESCANO, C. A. A. **Análise da secagem de resíduo de leite de soja**. 2009. 169 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) em Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

LEONEL, M.; CEREDA, M. P.; ROAU, X. Aproveitamento do resíduo da produção de etanol a partir de farelo de mandioca, como fonte de fibras dietéticas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 19, n. 2, p. 241-245, 1999.

LEONEL, M.; FREITAS, T. S.; MISCHAN, M. M. Physical characteristics of extruded cassava starch. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 66, n. 4, p. 486-493, 2009.

LIMBERGER, M. V. **Modificação física e química do amido de quirera de arroz para aproveitamento na indústria de alimentos**. 120 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Maria, 2006.

LIMBERGER, V. M.; SILVA, L. P.; EMANUELLI, T.; COMARELA, C. G.; PATIAS, L. D. Modificação química e física do amido de quirera de arroz para aproveitamento na indústria de alimentos. **Química Nova**, São Paulo, v. 31, n. 1, p. 84-88, 2008.

- LI, H.; LI, Q. E.; HU, Y. H.; CHEN, S. L. The Anti-Fatigue Effect of Black Soybean Peptide in Mice. **Advances in Material Research**, Switzerland, v. 554-556, p. 1475-1482, 2012.
- LIU, H.; YU, L.; DEAN, K.; SIMON, G.; PETINAKIS, E.; CHEN, L. Starch gelatinization under pressure studied by high pressure DSC. **Carbohydrate Polymers**, New York, v. 75, p. 395-400, 2009.
- LUSTOSA, B. H. B.; LEONEL, M.; LEITE, T. D.; FRANCO, C. M. L.; MISCHAN, M. M. Produção de farinha instantânea de mandioca: efeito das condições de extrusão sobre as propriedades térmicas e de pasta. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 31, n. 2, p. 231-238, 2009.
- MANDARINO, J. M. G; BENASSI, V. de T; CARRÃO-PANIZZI, M. C. **Manual de receitas com soja**, Londrina: Embrapa soja, 2003. 59 p.
- MARAGNO, V. P.; KUHN, R. C. Estabilidade do Farelo de Arroz Sob Diferentes Tratamentos: Micro-ondas, Peletização e Desengorduramento, **Unopar Científica. Ciências Biológicas e da Saúde**, Londrina, v. 15, n. 1, p. 47-53, 2013.
- MENDONÇA, X. M. F. D. **A extrusão termoplástica no desenvolvimento de produtos derivados de amaranto**. Rio de Janeiro, 2005. 211 p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Universidade Federal do Rio de Janeiro- UFRJ.
- MIZUBUTI, I. Y.; JÚNIOR, O. B.; SOUZA, L. V. O.; SILVA, R. S. F. S.; IDA, E. I. Propriedades funcionais da farinha e concentrado protéico de feijão guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp). **Archivos Latinoamericano de Nutricion**, Caracas, v. 50, n. 3, p. 274-280, 2000.
- MOURA, C. M. A. **Qualidade de farinhas pré-gelatinizadas e macarrões formulados com arroz (*Oryza sativa* L.) e linhaça (*Linum usitatissimum* L.)**. 2011. 178 f. Dissertação – (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.
- NASCIMENTO, K. O.; WANG, S. H.; ASCHERI, J. L.; CARVALHO, W. P. Propriedades de pasta de farinhas de trigo-soja pré cozidas por extrusão. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 18, n. 4, p. 25-42, 2007.
- OLIVEIRA, D. P. L. **Qualidade nutricional, tecnológica e sensorial de extrusados e massa alimentícia à base de milheto (*Pennisetum glaucum* L. Brown) e milho (*Zea Mays* L.)** 155 f., Dissertação (Mestrado em Nutrição e Saúde) - Universidade Federal de Goiás, 2013a.
- OLIVEIRA, C. T. **Caracterização bioquímica, determinação do perfil lipídico e obtenção de extrusados de grãos e farinhas de tremçoço branco (*Lupinus albus*)**. 2013. 120 f. Dissertação. – (Mestrado em Ciência de Alimentos). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013b.
- ONWULATA, C. I.; SMITH, P. W.; KONSTANCE, R. P.; HOLSINGER, V. H. Incorporation of whey products in extruded corn, potato or rice snacks. **Food Research International**, Toronto, v. 34, n. 2, p. 679-687, 2001.

PAULETTO, F. B.; FOGAÇA, A. O. Avaliação da composição centesimal de tofu e okara. **Scientia: Ciência da Saúde**, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 85-95, 2012.

PENNA, E. W. Desarrollo de alimentos para regimenes especiales. In: Morales, R.H.; Tudesca, M. V. **Optimizacion de formulaciones**. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. 1999. 45 p.

POURALI, O.; ASGHARI, F. S.; YOSHIDA, H. Simultaneous rice bran oil stabilization and extraction using sub-critical water medium. **Journal of Food Engineering**, Nova Iorque, v. 95, p. 510–516, 2009.

RAINA, C. S.; SINGH, S.; BAWA, A. S.; SAXENA, D. C. A comparative study of Indian rice starches using different modification model solutions. **LWT – Food Science and Technology**, London, v. 40, n. 5, p. 885-892, 2007.

REZENDE, D. F. **Estudo comparativo de características físico-químicas e nutricionais da soja preta e amarela**. 2012. 135 f. Dissertação. – (Mestrado em Ciência dos Alimentos). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

RIE, T.; OHMORI, R. KIYOSE, C.; MOMIYAMA, Y.; OHSUZU, F.; KONDO, K. Antioxidant activities of black and yellow soybeans against low density lipoprotein oxidation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 53, n. 11, p. 4578-4582, 2005.

ROCHA, F. I. G. **Caracterização e avaliação de métodos de secagem da polpa e extrato de mirtilo (*Vaccinium myrtillus*)**. 2009. 118p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

RUIZ-RUIZ, J.; MARTINEZ-AYALA, A.; DRAGO, S.; GONZÁLEZ, R.; BATANCURANCONA, D.; CHEL-GUERRERO, L. Extrusion of a hard-to-cook bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and quality protein maize (*Zea mays* L.) flour blend. **Food Science and Technology**, London, v. 41, n. 10, p. 1799-1807, 2008.

SANCHES, A. C.; MICHELLON, E.; ROESSING, A. C. Os limites de expansão da soja. **Revista Unioeste**, Londrina, v. 9, n. 1, p. 33-54, 2011. Disponível em: <<http://erevista.unioeste.br/index.php/gepec/article/download/201/136>>. Acessado em: 20 abr. 2011.

SILVA, M. A.; SANCHES, C.; AMANTE, E. R. Prevention of hydrolytic rancidity in rice bran. **Journal of Food Engineering**, Pullman, v. 75, n. 4, p. 487-491, 2006.

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

SINGH, J. M.; KAUR, L.; MCCARTHY, O. J. Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications - A review. **Food Hydrocolloids**, London, v. 21, n. 1, p. 1-22, 2007.

SOARES JÚNIOR, M. S.; BASSINELLO, P. Z.; CALIARI, M.; GEBIN, P. F. C.; JUNQUEIRA, T. L.; GOMES, V. A.; LACERDA, D. B. C. L. Qualidade de pães com farelo de arroz torrado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos (Impresso)**, Campinas, v. 29, n. 3, p. 636-641, 2009.

SOARES JÚNIOR, M. S.; BASSINELLO, P. Z.; CALIARI, M.; VELASCO, P.; REIS, R. C.; CARVALHO, W. T. Bebidas saborizadas obtidas de extratos de quirera de arroz, arroz integral e de soja. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 2, p. 407-413, 2010.

SOARES JÚNIOR, M. S.; BASSINELLO, P. Z.; LACERDA, D. B. C. L.; KOAKUZU, S. N.; GEBIN, P. F. C.; JUNQUEIRA, T. L.; GOMES, V. A. Características físicas e tecnológicas de pães elaborados com farelo de arroz torrado. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 4, p. 815-827, 2008.

SOARES JÚNIOR, M. S.; CALIARI, M.; OLIVEIRA, W. M.; VERA, R. Otimização da formulação de pães de forma preparados com diferentes proporções de farinha de trigo, fécula de mandioca e okara. **Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos (Impresso)**, Curitiba, v. 24, n. 1, p. 221-248, 2006.

SOARES JÚNIOR, M. S.; GROSSMANN, M. V. E.; SILVA, R. S. S. F.; CALIARI, M.; SPINOSA, W. A. Expansion and hydration properties of cassava starch extruded with emulsifier. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 2, n. 1,2, p. 57-61, 1999.

SOARES JÚNIOR, M. S.; SANTOS, T. P. B.; PEREIRA, G. F.; MINAFRA, C. S.; CALIARI, M.; SILVA, F. A. Desenvolvimento de salgadinhos extrudados a partir de fragmentos de arroz e de feijão. **Semina: Ciências Agrárias (Impresso)**, Londrina, v. 32, n. 1, p. 189-198, 2011.

SOUSA, C. E. R. **Metodologia de desenvolvimento de novos produtos orientados para o mercado**. 2012. 96f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial), Universidade do Minho (Escola de Engenharia), Braga, 2012.

SOUZA, G. M.; SOARES JÚNIOR, M. S.; YAMASHITA, F. Active biodegradable films produced with blends of rice flour and poly(butylene adipate co-terephthalate): effect of potassium sorbate on film characteristics. **Materials Science & Engineering. C, Biomimetic Materials, Sensors and Systems (Print)**, Lausanne, v. 33, n. ,6, p. 3153-3159, 2013.

SOUZA, T. A. C.; SOARES JÚNIOR, M. S.; CAMPOS, M. R. H.; SOUZA, T. S. C.; DIAS, T. D.; FIORDA, F. A. Bolos sem glúten a base de arroz quebrado e casca de mandioca. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 2, p. 717-728, 2013.

SRINIVAS, T.; BHASHYAM, M.K. Effect of variety environment of milling quality of rice. In: International Rice Research Institute. **Rice grain quality and marketing**. Manila: IRRI, p. 49-59, 1985.

TAVARES, J. S.; SOARES JÚNIOR, M. S.; BECKER, F. S.; EIFERT, E. C. Mudanças funcionais de farinha de arroz torrada com micro-ondas em função do teor de umidade e do tempo de processamento. **Ciência Rural (Impresso)**, Santa Maria, v. 42, n. 6, p. 1102-1109, 2012.

TAKAHASHI, R.; OHMORI, R.; KIYOSE, C.; MOMIYAMA, Y.; OHSUZU, F.; KONDO, L. Antioxidant activities of black and yellow soybeans against low density lipoprotein oxidation. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, Washington, v. 53, n. 11, p. 4578-4582, 2005.

THAKUR, S.; SAXENA, D. C. Formulation of extruded snack food (gum based cereal-pulse blend): optimization of ingredients levels using response surface methodology. **Food Science and Technology**, London, v. 33, p. 354-361, 2000.

TORRES, R. L.; GONZÁLES, R. J.; SÁNCHEZ, H. D.; OSELLA, C. A.; TORRES, M. A. G. Comportamiento de variedades de arroz en la elaboración de pan sin gluten. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, Caracas, v. 9, n. 2, p. 162-165, 1999.

VALDUGA, E. Extração, secagem por atomização e microencapsulamento de antocianinas do bagaço da uva Isabel (*Vitis labrusca*). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1568-1574, 2008.

VAN DEN EINDE, R. M.; VAN DER VEEN, M. E.; BOSMAN, H.; VAN DER GOOT, A. J.; BOON, R. M. Modeling macromolecular degradation of corn starch in a twin screw extruder. **Journal of Food Engineering**, Londres, v. 66, p.147-154, 2005.

VANSOEST, J. J. G.; HULLEMAN, S. H. D.; WIT, D.; Vliegenthart, J. F. G. Crystallinity in starch bioplastics. *Industrial Crops and Products*, Amsterdam, v. 5, n. 1, p. 11-22, 1996.

VIEIRA, N. R. de A.; SANTOS, A. B. dos; SANTANA, E. P. (Ed.). **A cultura do arroz no Brasil**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 633 p.

VIZZOTTO, M.; KROLOW, A. C.; TEIXEIRA, F. C. **Alimentos funcionais**: conceitos básicos, Brasília: Embrapa, 2010. 18 p. (Embrapa Documentos, 312).

WALTER, M.; MARCHEZAN, E.; AVILA, L. A. Arroz: composição e características nutricionais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 4, p. 1184-1192, 2008.

WANYO, P.; CHOMNAWANG, C.; SIXIAMORNpun, S. Substitution of wheat flour with Rice flour and Rice Bran in flake producers: effects on chemical, physical and Autoxidant properties. **World applied Science Journal**, Tóquio, v. 7., n. 1., p. 49-56, 2009.

YAGCI, S.; GOGUS, F. Selected physical properties of expanded extrudates from the blends of hazelnut flour-durum clear flour-rice. **Journal Food Properties**, Cidade do México, v. 12, n. 1, p. 405-413, 2009.

WURZBURG, O. B. Converted starches. In: Wurzburg, O. B. **Modified starches**: Properties and uses. Boca Raton, FL: CRC Press, 1986, 20 p.

WEBER, F. H.; COLLARES-QUEIROZ, F. P.; CHANG, Y. K. Caracterização físicoquímica, reológica, morfológica e térmica dos amidos de milho normal, ceroso e com alto teor de amilose. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29, n. 4, p. 748-753, 2009.

XU, B.; CHANG, S. K. C. Antioxidant capacity of seed coat, dehulled bean, and whole black soybeans in relation to their distributions of total phenolics, phenolic acids, anthocyanins, and isoflavones. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 56, n. 18, p. 8365-8373, 2008.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ARTIGO 1

PARÂMETROS FÍSICOS DE *SNACKS* FORMULADOS COM COPRODUTOS DE ARROZ E SOJA EM FUNÇÃO DA UMIDADE E TEMPERATURA DE EXTRUSÃO

RESUMO

No beneficiamento do arroz ocorre formação de grãos quebrados e farelo do arroz. Ambos coprodutos possuem características nutricionais de interesse para o consumo humano, mas ainda são mais utilizados na nutrição animal. Na indústria de extrato de soja há produção de okara que é o coproduto obtido após a etapa de filtração do produto. Este coproduto possui alto teor de proteínas e de lipídeos, além de que o okara também é rico em antioxidantes. Logo, torna-se interessante a utilização destes coprodutos na viabilização de novos produtos para o consumo humano, principalmente para o enriquecimento de alimentos, como é o caso dos *snacks*, consumidos principalmente pelo público infantil. Este trabalho teve como objetivo estudar o efeito de umidade e da temperatura de extrusão sobre as propriedades de expansão e cor de *snacks* obtidos a partir de grãos quebrados, farelo de arroz e okara da soja preta. Os *snacks* extrusados apresentaram o maior índice de expansão (3,39) na condição de 12 g.100 g⁻¹ de umidade e 85°C. Nas condições de extrusão o *snack* mais desejável (com maior expansão, cor mais parecida com o *snack* tradicional de milho) foi obtido a temperatura de 85 °C e 12 g.100 g⁻¹ de umidade. O produto selecionado possui 10,5 g.100 g⁻¹ de proteínas, 4,08 g.100 g⁻¹ de lipídeos e 1,57 g.100 g⁻¹ de fibras. Foi viável elaborar um produto expandido com a mistura dos coprodutos do arroz e soja preta, o que pode ajudar as indústrias a atingirem a sua sustentabilidade por meio da utilização de seus coprodutos, além da criação de uma alternativa para melhorar o valor nutricional dos *snacks* extrusados existentes no mercados, principalmente em relação àqueles a base de milho.

Palavras-chave: índice de expansão, cor, processamento, qualidade, sustentabilidade.

ABSTRACT

In the processing of rice grain formation occurs and broken rice bran. Both co-products have nutritional characteristics of interest for human consumption, but are still commonly used in animal nutrition. In the industry of soy extract is produced okara which is the byproduct obtained after the filtration step the product. This byproduct is high in protein and lipid, and the okara is also rich in antioxidants. Therefore, it becomes interesting to use these coproducts the viability of new products for human consumption, primarily for food fortification, as is the case of *snacks* consumed mainly by children. This work aimed to study the effect of moisture and temperature on the extrusion expansion properties and color of snacks made from broken grains, rice bran and soybean okara black. The extruded *snacks* showed the highest expansion index (3.39) provided 12 g.100 g⁻¹ humidity and 85 °C. In the extrusion conditions the most desirable *snack* (higher expansion, color most similar to the traditional corn *snack*) was obtained at 85 °C and 12 g.100 g⁻¹ of moisture. The product has 10.5 g.100 g⁻¹ protein, 4.08 g.100 g⁻¹ lipid and 1.57 g.100 g⁻¹ fiber. Develop a viable product was expanded with the mixture of byproducts of rice and black soybeans, which can help industries achieve their sustainability through the use of its byproducts, and the creation of an alternative to improve the nutritional value of extruded snacks existing markets, particularly in relation to those from corn.

Keywords: expansion index, color, processing, quality, sustainable.

4.1.1 INTRODUÇÃO

O beneficiamento do arroz resume-se na retirada da casca e do farelo para a obtenção do arroz branco para consumo e compreende etapas de limpeza, descascamento, separação pela câmara de palha e de marinho, brunição (separação do arroz integral em farelo e arroz branco) e homogeneização, classificação, embalagem e expedição. No descascamento e polimento, o processo pode originar a quirera, um coproduto constituído da camada intermediária entre casca e endosperma do pericarpo, do embrião e da aleurona e do germen, além de quantidade variável de amido o que depende do grau de polimento, sendo que a quirera do arroz é obtida na peneiragem, após a retirada da casca do grão (EIFERT et al., 2012).

O amido está presente em grande quantidade na quirera de arroz e se trata do mais abundante carboidrato de reserva em plantas, constituindo-se também em importante fonte

energética para a alimentação humana. O amido possui dois componentes macromoleculares, amilose e amilopectina, porém o amido na forma nativa pode apresentar algumas restrições como insolubilidade em água fria, instabilidade frente a ciclos de congelamento e descongelamento e tendência a retrogradação (LIMBERGER et al., 2008).

O farelo de arroz é a camada superficial do grão integral, resultante do beneficiamento do mesmo e representa 8% do grão em casca, sua constituição química depende de fatores como variedade genética, constituição do grão ou processo de beneficiamento e condições do ambiente de cultivo. Geralmente o farelo de arroz possui cerca de 222 kcal, ou seja é um alimento energético, além de corresponder a 11% da necessidade calórica diária com relação a proporção recomendada pela RDC 360/2003 (BRASIL, 2003).

A soja é considerada um alimento funcional por possuir conteúdo rico em antioxidantes. Pesquisas mostram que o consumo da soja traz benefícios para a saúde, tais como na minimização do risco de doenças cardiovasculares, câncer, osteoporose e atenuação dos sintomas da menopausa (MOLINA; FEIHRMANN, 2009).

A indústria de alimentos comercializa o próprio grão “in natura”, além de produzir diversos produtos à base de soja, sejam eles concentrados ou isolados de soja, como soja texturizada, óleo de cozinha, alimentos fermentados, extrato ou leite de soja ou não fermentados como tofu, farinhas e farelos de soja. Na filtração do extrato de soja se obtêm o okara (SILVA; CARRÃO-PANIZI; PRUDÊNCIO, 2009). Este tem sido muito estudado, visando sua transformação em produto com maior valor agregado e que possa ser empregado em qualquer tipo de alimento, pois é fonte de fibras, vitaminas e altamente proteico. Esse resíduo da soja tem sido utilizado em gêneros alimentícios como hambúrgueres, iogurte e produtos de panificação (MOLINA; FEIHRMANN, 2009).

O *grits* de milho é a principal matéria-prima na produção comercial de *snacks* extrusados, apresentando alta porosidade, textura crocante e agradável ao paladar (ASCHERI et al. 2003). Ultimamente, outras matérias-primas têm sido utilizadas para fabricação de *snacks*, geralmente ricas em amido, mais conveniente para obtenção de produtos expandidos (SOARES JÚNIOR et al., 2011; BASTOS, 2012; CAPRILLES, ARÊAS, 2012; CARVALHO et al.; 2012). A produção de *snacks* por extrusão com coprodutos de arroz e soja pode ser uma ótima alternativa de alimento processado de interesse comercial, devido às características de expansão da mistura (rica em amido) e o valor nutricional, proveniente do maior teor de proteína e melhor perfil de aminoácidos essenciais da soja e do arroz, em relação ao milho.

Este trabalho teve como objetivo estudar as propriedades de expansão e cor de *snacks* compostos por coprodutos do arroz e soja em função das variáveis de umidade da mistura e

temperatura de extrusão, para eleger as condições de processamento para obter o *snack* com maior desejabilidade física.

4.1.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.1.2.1 Material

Para o desenvolvimento dos *snacks*, utilizou-se grãos quebrados e farelo de arroz (mistura das cultivares IRGA 417 e IRGA 424), safra 2012, doados pela empresa Cristal Alimentos Ltda., situada em Aparecida de Goiânia – GO. E soja preta adquirida na Cerealista São José, localizada em São Paulo - SP.

4.1.2.2 Métodos

4.1.2.2.1 Obtenção dos coprodutos

Os coprodutos do arroz, tanto os grãos quebrados quanto o farelo de arroz, foram utilizados da mesma forma como chegaram da indústria. Os grãos quebrados de arroz possuíam granulometria desuniforme e grossa, que facilitou a alimentação da extrusora para obtenção dos *snacks*, pois essa se assemelha à do *gritz* de milho.

Para obtenção do okara de soja preta, realizou-se tratamento térmico dos grãos em água em ebulição por 5 minutos, visando à inativação dos fatores antinutricionais da leguminosa (DEVIDÉ et al., 2012). Utilizou-se uma parte de grão de soja para 5 partes de água (m/v). A água foi descartada e os grãos lavados em água corrente. Em seguida, realizou-se o cozimento. Para tal, foram utilizados fogão industrial de quatro bocas e panelas de alumínio com capacidade de 20 L, limpas e sanitizadas com solução de hipoclorito de sódio a concentração de 200 ppm. Nesses recipientes, foram adicionados os grãos em uma nova água na proporção de (1:5) para a obtenção do ponto adequado de cozimento. Realizou-se cocção dos grãos por 25 min. Posteriormente, executou-se a trituração dos grãos cozidos utilizando liquidificador industrial, no qual foi padronizada uma parte de soja para duas partes de água durante 3 min até obtenção de uma mistura homogênea (DEVIDÉ et al., 2012). A extração do okara da soja preta ocorreu por meio de uma centrifuga mecânica. O homogeneizado foi centrifugado durante 10 min, sendo por batelada (1 kg de homogeneizado por vez) e o coproduto (okara) foi coletado com luvas de borracha e guardado sob

refrigeração em embalagem de polietileno de baixa densidade até momento de desidratação. O okara ficou retido na peneira da centrífuga e o que passou constituiu o permeado, que é o que foi chamado de extrato. A seguir o okara foi seco em estufa de circulação de ar (*Tecnal TE-394/3, Piracicaba, Brasil*) em temperatura de 60 °C durante 10 horas.

4.1.2.2.2 Caracterização dos coprodutos

A composição centesimal, o valor energético, o pH e a granulometria dos co-produtos foram determinados. As proteínas foram mensuradas por meio de método Kjeldahl para determinação do nitrogênio total convertido em proteína bruta pelo fator 6,25; o teor de lipídeos pelo método de Bligh-Dyer por extração a frio com clorofórmio, metanol e água na proporção de 1: 2: 0,8 (v/v); a umidade com a perda de massa da amostra sob aquecimento em estufa a 105 °C, até peso constante; o teor de cinzas por carbonização seguida de incineração completa em mufla a 550°C (IAL, 2008).

A fibra bruta foi determinada pelo método de Scharrer e Kurschner, descrito por Angelucci et al. (1987), usando ácido nítrico, ácido tricloroacético e ácido acético para hidrólise. Os carboidratos foram calculados pelo método de diferença, com subtração de cem os valores de umidade, cinzas, proteínas e lipídeos (AOAC, 2010). O valor energético total foi estimado seguindo os valores de conversão de Atwater, em que se multiplicou o conteúdo de carboidrato (menos o teor de fibra bruta) e proteína por quatro e o de lipídeos por nove, os produtos somados constituíram o valor energético total (OSBORNE; VOOGT, 1978). A aferição do pH das amostras de co-produtos foi realizado a partir de potenciômetro digital (Hanna Instruments, HI9224, Singapura, China), conforme método oficial (IAL, 2008).

A granulometria foi avaliada em equipamento vibratório (*Produtest, MOD.T, São Paulo, Brasil*) composto por peneiras e fundo, cujas aberturas variaram de 32 a 270 *mesh*. Durante 15 min a amostra de 50 g sofreu vibração na regulagem máxima do equipamento. Em seguida foram anotadas as massas segregadas em cada peneira (DIAS; LEONEL, 2006).

Micrografias dos coprodutos utilizados foram obtidas em microscópio eletrônico de varredura (*Sputter Coater, SCD 050, Scotia, USA*) com aproximações de 140 x, 550x, 900x, 3000x e 6000x, após as amostras serem secas em estufa de circulação de ar a 60 °C por 24 h, permanecendo em dessecador até o momento da análise. As amostras foram fixadas nos *stubs* de alumínio, com auxílio de fita dupla face e banhadas com filme de ouro de 15 nm de espessura.

4.1.2.2.3 Processamento dos *snacks*

Os *snacks* foram elaborados a partir de uma mistura de grãos quebrados de arroz, farelo de arroz e okara da soja preta (81:9:10), proporção estabelecida devido ao conteúdo de amido, lipídeos e fibras que afetam a processabilidade da mistura no extrusor e teor de aminoácidos essenciais (lisina na soja e metionina no arroz) contidos nos coprodutos em questão. A mistura foi obtida em misturador homogeneizador tipo Y (*Tecnal, TE 201/05, Piracicaba, Brasil*), durante 15 min. Avaliaram-se os efeitos os parâmetros de processamento variáveis (umidade da mistura e temperatura na terceira zona do extrusor) sobre as propriedades de expansão (volume específico e índice de expansão) e parâmetros instrumentais de cor (L^* , a e b) dos *snacks*. Os valores codificados das variáveis independentes foram -1,41; -1; 0; 1 e 1,41, enquanto que os valores reais de temperatura de extrusão variaram entre 60 e 110°C e de umidade entre 12 e 20 g.100g⁻¹.

A mistura de coprodutos foi acondicionada em diferentes níveis de umidade, conforme os valores estipulados no planejamento experimental. A quantidade de água a ser adicionada às amostras foi calculada considerando-se a quantidade de mistura a ser extrusada e a sua umidade inicial (Equação 1).

$$Q_a = \left\{ \left[\frac{(U_f - U_i)}{(100 - U_f)} \right] * 100 \right\} * M_a \quad \text{(Equação 1)}$$

Na qual:

Q_a = quantidade de água a ser adicionada na mistura (g)

U_f = umidade final da estabelecida pelo delineamento;

U_i = umidade inicial da amostra;

M_a = massa da amostra (g).

A extrusão termoplástica foi realizada em extrusor com parafuso simples (*Inbramaq, PQ-30, Ribeirão Preto-SP, Brasil*). Os parâmetros de processamento fixos foram: rotação do motor de 250 rpm, abertura da matriz circular de 4 mm de diâmetro, pré-matriz com 22 orifícios, parafuso com três entradas de 30 cm de comprimento e taxa de compressão da rosca de 3:1, camisa helicoidal, taxa de alimentação de (335 g.min⁻¹); e temperatura na primeira e segunda zona de aquecimento de 40 °C e 60 °C, respectivamente.

4.1.2.2.4 Avaliação física dos *snacks*

Análises físicas dos *snacks* (volume específico, índice de expansão e parâmetros instrumentais de cor) foram realizadas no Laboratório de Aproveitamento de Resíduos e

Subprodutos Agroindustriais – LABDARSA, da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás (EA/UFG).

O volume dos *snacks* foi averiguado pelo deslocamento de sementes de painço, conforme o método descrito por (LEONEL et al., 2006), com 10 replicatas por unidade avaliada. A massa dos *snacks* foi determinada com balança analítica, com duas casas decimais após a vírgula. O volume específico (VE) foi calculado segundo a Equação 2. A média de cada experimento foi calculada a partir de 20 *snacks* escolhidos de forma aleatória.

$$VE = \frac{V}{m} \quad (\text{Equação 2})$$

Na qual:

VE = volume específico (mL. g⁻¹);

v = volume (mL);

m = massa (g).

O índice de expansão (IE) foi aferido através da razão entre o diâmetro dos extrusados e o diâmetro do orifício de saída da extrusora (4 mm), de acordo com método descrito por Faubion et al. (1982). O instrumento de aferição do diâmetro dos extrusados foi um paquímetro (*Digital Caliper, Messen, Danyang, China*) e a média aritmética de cada experimento foi calculada a partir de 10 *snacks* escolhidos ao acaso.

Os *snacks* foram avaliados quanto aos parâmetros instrumentais de cor, seguiu-se metodologia descrita por Paucar-Menacho et al. (2008), de acordo sistema CIEL L*, a*, b* em colorímetro (*Color Quest, XE, Reston, EUA*). Ângulo de observação em 10° e o iluminante padrão D65 foram fixados, correspondendo à luz natural do dia. Os resultados foram expressos em valores de L*, a* e b*, em que L* refere-se à luminosidade ou brilho, e variam de preto (0) ao branco (100), as cromacidades são a*, variando do verde (-60) ao vermelho (+60) e b* variando do azul (-60) ao amarelo (+60). Também foi verificada a diferença de cor (ΔE^*) entre as farinhas cruas e a cor dos *snacks* moídos, calculada pela Equação 3. As análises instrumentais de cor foram realizadas em triplicata.

$$\Delta E^* = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Equação 3})$$

Na qual:

$\Delta L^* = L_o$ (luminosidade do padrão) - L_e (luminosidade da amostra);

$\Delta a^* = a_o$ (valor de a* do padrão) - a_e (valor de a* da amostra);

$\Delta b^* = b_o$ (valor de b* do padrão) - b_e (valor de b* da amostra).

4.1.2.2.5 Análise estatística e determinação do *snack* com maior desejabilidade física

Os dados obtidos de IE, VE, L*, croma a*, croma b* e diferença de cor ΔE^* dos *snacks* foram avaliados por meio de análise de variância, com elaboração de modelos de regressão múltipla e construção de gráficos de superfície de resposta e curvas de nível para visualização do efeito das variáveis independentes sobre variáveis dependentes a partir de auxílio do aplicativo Statistica (*Statsoft, Statistica 7.0, Tulsa, USA*). A partir dos modelos matemáticos obtidos para IE, VE, L*, a*, b* e ΔE^* dos *snacks* gerados pelo planejamento experimental e com auxílio da função *Response Desirability Profiling*, do programa Statistica foi realizado a estimativa do *snack* mais desejável, em função da umidade da mistura e temperatura de extrusão utilizada. Foi considerado como mais desejável o *snack* com maiores valores de IE, VE, cromaticidade a* e b* e diferença de cor (ΔE^*) e menor luminosidade, com base na maior semelhança com o *snack* tradicional de milho. A técnica de otimização baseou-se na definição de uma função de desejabilidade restrita no intervalo de 0 a 1, para a qual se adotou como limites inferior, médio e superior nos valores de 0; 0,5 e 1,0, respectivamente para as variáveis dependentes estudadas (DERRINGER; SUICH, 1980).

4.1.2.2.6 Composição centesimal e valor energético do *snack* com maior desejabilidade

A composição centesimal e o valor energético do *snack* com maior desejabilidade foi determinada segundo os métodos já descritos no item 4.1.2.2.2.

4.1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1.3.1 Caracterização dos coprodutos

Os baixos valores encontrados de umidade dos coprodutos foram adequados (Tabela 1), já que umidades abaixo de 14 g.100g⁻¹ evitam o desenvolvimento microbiano, elevam a estabilidade química e enzimática, e aumentam a sua vida útil (BARBOSA-CÁNOVAS et al., 2007).

Em relação às cinzas, verificou-se que o farelo de arroz é mais rico e os grãos quebrados de arroz mais pobres. Pois, o farelo de arroz é constituído das camadas protetoras do grão, possuindo maior teor de cinzas que o endosperma (maior constituinte dos grãos quebrados) (BASSINELLO; CASTRO, 2004). O teor de cinzas do farelo de arroz foi 45,74%

maior que dos grãos quebrados de arroz e 449,33% maior que o okara de soja preta desidratado. Segundo CALHEIROS (2007), o teor de cinzas encontrado para o farelo de arroz foi de 7,77 g.100 g⁻¹, ou seja, menor do que o valor encontrado no presente trabalho. De acordo BECKER (2010), o teor de cinzas da farinha de arroz foi de 0,40 g.100 g⁻¹. Os resultados de ambos autores diferiram tanto para quirera de arroz quanto para farelo de arroz, provavelmente pelo fato de se tratar de cultivares de arroz e processamentos diferentes. Já o conteúdo de cinzas do okara da soja preta, em pesquisa realizada por Pinto e Castro (2008), foi 2,82%, maior do que o encontrado no presente trabalho, isso provavelmente pode ter ocorrido devido aos procedimentos de preparo e obtenção do coproduto em questão.

Tabela 1. Composição centesimal (base úmida), valor energético e pH dos coprodutos (grãos quebrados e farelo de arroz e okara da soja preta desidratada)

Componente	Grãos Quebrados de		Okara de Soja Preta
	Arroz ¹	Farelo de Arroz ¹	Desidratada ¹
Umidade ²	10,45 ± 0,19 (1,86)	3,54 ± 0,17 (4,99)	2,26 ± 0,04 (1,61)
Cinzas ²	0,22 ± 0,02 (11,7)	10,20 ± 0,19 (1,83)	2,27 ± 0,14 (6,18)
Lipídeos ²	0,96 ± 0,06 (5,94)	18,32 ± 0,07 (0,36)	24,73 ± 0,11(0,43)
Proteína ²	6,52 ± 0,16 (2,41)	10,89 ± 0,14 (1,25)	40,66 ± 0,07 (0,16)
Fibra Bruta ²	0,17 ± 0,02 (11,76)	5,61 ± 0,13 (2,31)	7,07 ± 0,20 (2,83)
Carboidratos Totais ²	81,85	57,05	30,05
Valor energético ³	361,39	418,90	477,17
pH	6,26 ± 0,05 (0,75)	6,15 ± 0,06 (0,94)	6,84 ± 0,06 (0,01)

¹Média seguida de desvio padrão e coeficiente de variação; ² g. 100g⁻¹; ³ kcal (100g)⁻¹

O valor médio para lipídeos nos grãos quebrados de arroz foi pequeno (3,88% do verificado no okara e 5,24% do farelo de arroz). O farelo de arroz e o okara são coprodutos com consideráveis teores de lipídios, o que eleva o valor energético dos *snacks* formulados com estes ingredientes. Entretanto, altos teores de lipídios podem prejudicar a expansão destes produtos, enquanto pequenos teores (até 5%) facilitam a extrusão e melhoram a textura. Durante o processo de extrusão, os lipídeos podem se alterar como resultado de reações de oxidação, hidrogenação, isomerização ou polimerização (CAMIRE; CAMIRE; KRUMAR, 1990). Dependendo da quantidade, os lipídeos podem provocar a deterioração do alimento durante o armazenamento, produzindo odor e gosto de ranço (KUBOW, 1993). Por outro lado, a atividade enzimática da lipase é diminuída no processo de extrusão, garantindo uma maior estabilidade em relação ao produto cru (LACERDA et al., 2010) e segundo estes autores, o teor de lipídeos no farelo de arroz da cultivar de terras altas BRS Primavera sem

tratamento por extrusão obteve valor de 21,82 g.100 g⁻¹. O teor lipídico encontrado no presente trabalho mesmo sendo alto, ainda foi 3,5% menor do que na pesquisa de autoria citada, já em relação ao okara de soja, as pesquisas realizadas apontam resultados entre 15 a 25 g.100 g⁻¹, sendo que Pinto e Castro (2008) encontraram teor de 22,25 g.100 g⁻¹ de lipídeos, ou seja, 3,93% a mais do que quantidade de gordura do coproduto encontrado no presente trabalho.

Quanto ao conteúdo de proteína e de fibras dos coprodutos, observou-se que o okara da soja preta desidratada apresentou os maiores valores, 524 e 4.059% a mais de proteína e fibra bruta, respectivamente, em relação aos grãos quebrados de arroz, e 273 e 26% respectivamente a mais que o farelo de arroz. Mattos e Martins (2000) propuseram uma classificação para o teor de fibras dos alimentos: muito alto (maior que 7 g.100 g⁻¹); alto (4,5 a 6,9 g.100 g⁻¹); moderado (2,4 a 4,4 g.100 g⁻¹) e baixo (inferior a 2,4 g.100 g⁻¹). De acordo com esta classificação, o farelo de arroz possui alto teor, o okara da soja preta desidratada teor muito alto, enquanto que os grãos quebrados de arroz possuem baixo teor de fibras. A presença de elevados teores de proteína e fibras no okara da soja preta desidratada e no farelo de arroz mostram que esses coprodutos podem enriquecer os produtos elaborados com os mesmos, podendo oferecer benefícios ligados à nutrição e à saúde dos consumidores. As fibras, principalmente as solúveis, podem atuar na prevenção de doenças intestinais como hemorróidas, constipação, hérnia hiatal e câncer de cólon. Contribui também no controle da obesidade, redução do colesterol sanguíneo e do risco de diabetes e doenças cardiovasculares (VITOLLO; CAMPAGNOLO; GAMA, 2007). Assim, os coprodutos do arroz e da soja preta se mostraram boa fonte alternativa de nutrientes, pois podem auxiliar na diminuição das deficiências alimentares do *snack* tradicional, elaborado com *gritz* de milho (mais vendido).

Quanto ao teor de carboidratos, os grãos quebrados de arroz apresentaram 143,05 e 271,98% a mais que o farelo de arroz e o okara da soja preta, respectivamente. O okara da soja preta apresentou valor energético total 13,91% maior que o farelo de arroz e 32,04% maior que a quirera de arroz. Segundo SOARES JUNIOR et al. (2006), em experimento envolvendo também okara de soja, encontrou-se valor de carboidrato inferior aos resultados desta pesquisa, pois o okara apresentou apenas 12,2% de carboidratos.

Nas análises de composição centesimal, torna-se comum observar diferentes teores de macronutrientes do mesmo alimento entre pesquisas realizadas anteriormente. Isso devido a diversos fatores afetarem a composição química do arroz e da soja, sendo eles: cultivar, estágio de maturação, condições ambientais, solo, clima, adubação e as doenças, além do tipo de processamento empregado (LEONEL, 2005).

Os valores de pH dos coprodutos foram próximos da neutralidade, oscilando entre 6 e 7. O pH é capaz de determinar a sobrevivência e o crescimento de microrganismos durante o processamento, armazenamento e distribuição dos alimentos. A constante de dissociação (pKa) corresponde a valores de pH em que metade do ácido total está na forma não dissociada e este varia em relação ao tipo de ácido orgânico utilizado como conservador em alimentos. Isso significa que a medida em que o pH do alimento reduz, aumenta-se a proporção de moléculas de ácido na forma não dissociada e ocorre conseqüente maior eficácia como agente antimicrobiano (AZEVEDO et al., 2012). Entretanto, devido ao baixo teor de umidade dos *snacks*, que evita problemas microbiológicos, a faixa de pH ficou adequada para o consumo humano.

A análise granulométrica dos coprodutos (Tabela 2) na forma em que foram preparadas as misturas e levadas ao extrusor aferiu que os grãos quebrados de arroz apresentaram índice de uniformidade (6:4:0), ou seja 60% de partículas grossas e 40 de partículas médias; o okara de soja apresentou IU (7:3:0); e o farelo de arroz IU (0:6:4). Portanto, os coprodutos que apresentaram maior uniformidade foram o okara de soja, seguido pelo farelo e os grãos quebrados de arroz.

Tabela 2. Percentual de amostra retida nas peneiras durante análise granulométrica dos coprodutos do arroz e soja preta utilizados na formulação dos *snacks*

Tyler	Abertura (mm)	Farelo de Arroz (%)	Grãos Quebrados de Arroz (%)	Okara de soja (%)
32	2,00	3,31	62,76	68,74
60	0,25	63,07	36,92	31,02
100	0,15	32,06	0,32	0,24
150	0,106	1,28	0	0
270	0,053	0,28	0	0
Fundo	0	0	0	0

Pode-se considerar uma granulometria mais grosseira do okara de soja e dos grãos quebrados de arroz (100% das partículas entre média e grossa), semelhantes ou até maiores que as dimensões das partículas de *gritz* de milho. Em contraposição, o farelo de arroz apresentou granulometria mais fina (100% entre média e fina), obtida devido às etapas de brunição e polimento do grão no processo de beneficiamento.

Pela microscopia eletrônica de varredura (MRV), os grãos quebrados e o farelo de arroz apresentaram aspecto semelhante, com grânulos de amido arredondados com diâmetro médio de 5,4 μm e em grande quantidade, soltos ou aglomerados em uma matriz proteica,

porém íntegros (Figura 4 A, B, E e F). Enquanto que o okara de soja preta apresentou estruturas com formas alongadas, desuniformes e características das proteínas e fibras da soja (Figura 4 C e D).

A estruturação do farelo de arroz apresentou bastante grânulos de amido facilmente perceptíveis em maiores aproximações de imagens pela figura 4 F e também obteve-se formas alongadas com superfície mais lisa em certos pontos da amostra (Figura 4 E e F).

A análise dos grânulos de amido é de importância para a compreensão do comportamento da pasta de amido. Na indústria de alimentos, grânulos de amidos maiores são preferíveis para uso como espessante, devido se desejar uma alta viscosidade. Leonel (2007) afirma que os grânulos de amido pequenos podem ser utilizados como substitutos de lipídeos, devido possuir estrutura com tamanho semelhante. O amido de arroz observado na microscopia possui grânulos pequenos, sendo mais bem visualizados com aproximação de 3000x e 6000x.

No farelo de arroz, com aproximações de até 6000x, também foi possível observar grânulos de amido ao entorno das estruturas, mas menos intactos e com algumas rupturas (Figura 4 F), devido se tratar de um coproduto que passa por processos intensos, como o brunimento e o polimento, sendo que nesta etapa podem ser agressivos aos grânulos de amido e ocasionar a sua desestruturação e dos demais constituintes químicos, originando os grânulos danificados de amido que possuem propriedades funcionais diferenciadas em relação ao amido nativo, obtido por outros processos mais brandos, como na moagem úmida do arroz.

No caso dos grãos quebrados de arroz, os mesmos foram submetidos a processos de moagem antes de serem levadas ao microscópio eletrônico de varredura e com isso, o amido nativo altera sua disposição e estrutura física. O okara da soja preta apresentou características de superfície lisa, sendo que o MEV revelou a estrutura de morfologia diferente dos coprodutos de arroz analisados por se tratar de um coproduto de estrutura protéica. Quando comparado a microscopia de soja em grão íntegro ou proteína texturizada (LACERDA et al., 2008), a morfologia ilustra formas diferentes do presente trabalho, já que neste trabalho, a estrutura do okara apareceu com um revestimento no qual não torna tão favorável a exposição da proteína, mesmo que a mesma apareça em alto teor neste coproduto.

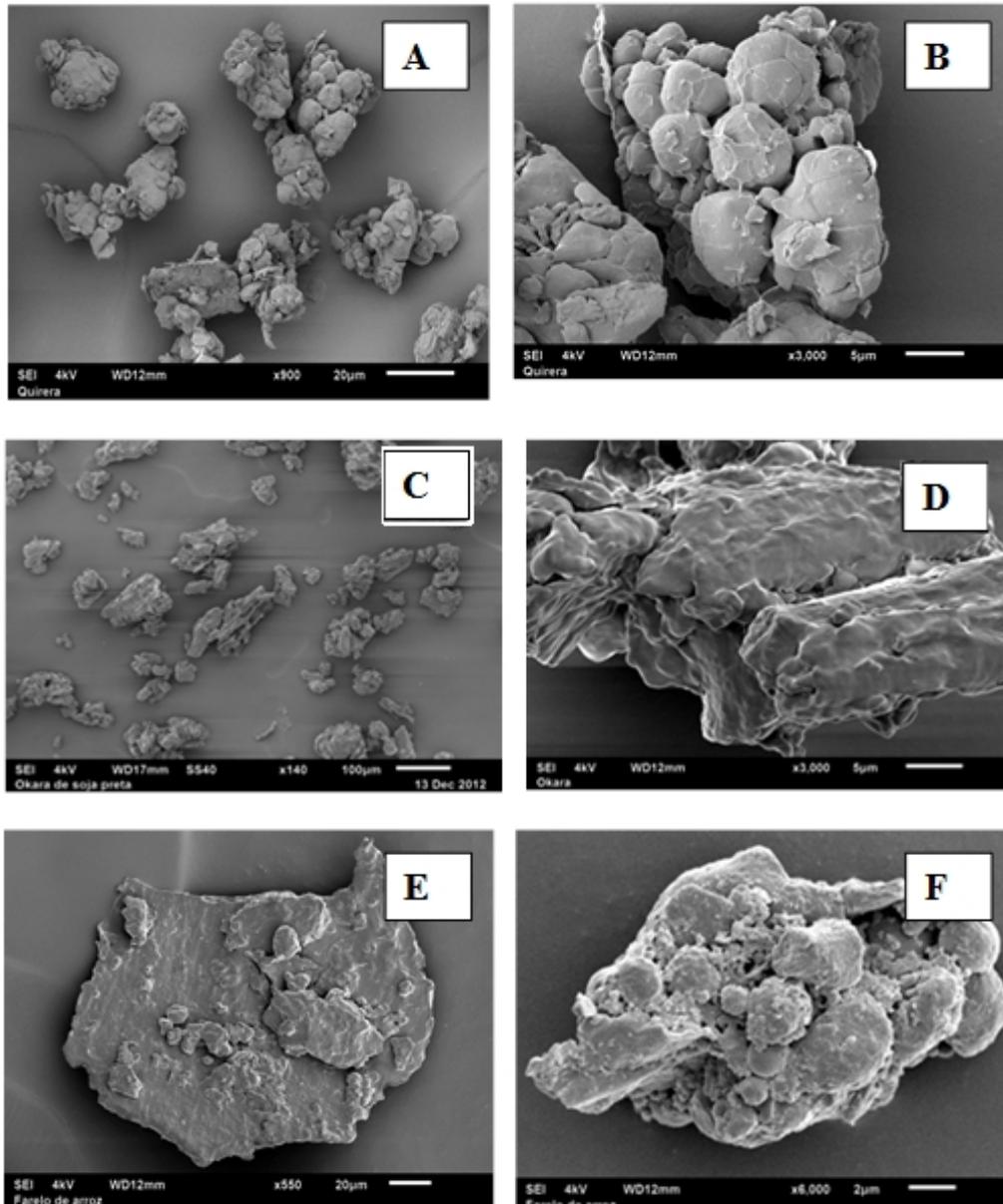


Figura 4. Microscopias eletrônicas de varredura de: (A) Grãos quebrados de arroz com aproximação de 900x; (B) de 3000x; (C) de 140x, (D) Okara de soja preta com aproximação de 3000x; (E) Farelo de arroz com aproximação de 550x e (F) de 6000x

4.1.3.2 Propriedades físicas dos *snacks*

Os *snacks* se apresentam com tom acinzentado, mais claro nos tratamentos relacionados à menores teores de umidades e de temperatura da terceira zona do extrusor a partir de 85°C, enquanto os tratamentos com maiores umidades e empregado menores temperaturas na terceira zona do extrusor resultaram em *snacks* pouco expandidos e bem mais escuros, o que deixou evidente a influência da umidade e temperatura no aspecto final dos *snacks* (Figura 5). Os dados obtidos de volume específico, índice de expansão e parâmetros instrumentais de cor (L^* , a^* , b^* e DE) dos *snacks* extrusados formulados com grãos

quebrados de arroz, farelo de arroz e okara de soja preta desidratada (81:9:10) em função da temperatura (T) e umidade (U) estão apresentados na Tabela 3.

O nível de significância do efeito da temperatura e umidade (linear, quadrático e interação), o modelo ajustado significativo e o coeficiente de determinação para as propriedades de expansão e cor estão apresentados na tabela 4. Os modelos para luminosidade, coordenada de cromaticidade b^* e variação de cor (DE) não foram significativos ($P > 0,10$). Os demais modelos foram significativos ($P \leq 0,10$), com coeficientes de determinação explicando entre 60 e 80% das respostas (Tabela 4).

O IE variou entre 2,33 a 3,61, com variação percentual de 55% (Tabela 3). Os efeitos quadráticos da temperatura e da umidade, assim como o efeito linear da umidade foram significativos ($P < 0,10$) (Tabela 4). Os maiores valores de IE foram observados em temperaturas próximas ao ponto central (Figura 6A). Os maiores valores de IE (acima de 2,90) foram observados próximo a área central do gráfico (efeitos quadráticos). Mercier, Linko e Harper (1998) observaram que a expansão pode reduzir em temperaturas de extrusão baixas, devido o amido não ser completamente fundido, e que o grau de expansão radial é proporcional à temperatura até certo valor, para depois decrescer em temperaturas elevadas. A diminuição da expansão a temperaturas muito altas é atribuída ao aumento da dextrinização e enfraquecimento da estrutura.

A área do gráfico de maiores valores de IE (acima de 3,0) possui formato semi-elíptico, e esta situada entre umidades de 13,2 a 16,2 g.100 g⁻¹ e temperatura acima de 85 °C (Figura 6A e anexo 1). O griz de milho é a principal matéria-prima na produção de *snacks*, sendo que estes apresentam alta porosidade, textura crocante e agradável. Sabe-se que o *snack* produzido a partir do *griz* de milho contém altos índice de expansão, chegando a atingir valores de 7,0 a 9,0 (ASCHERI et al., 2003). Os maiores índices de expansão obtidos no presente trabalho são bem menores em relação ao padrão de *snacks* de milho disponível no mercado.

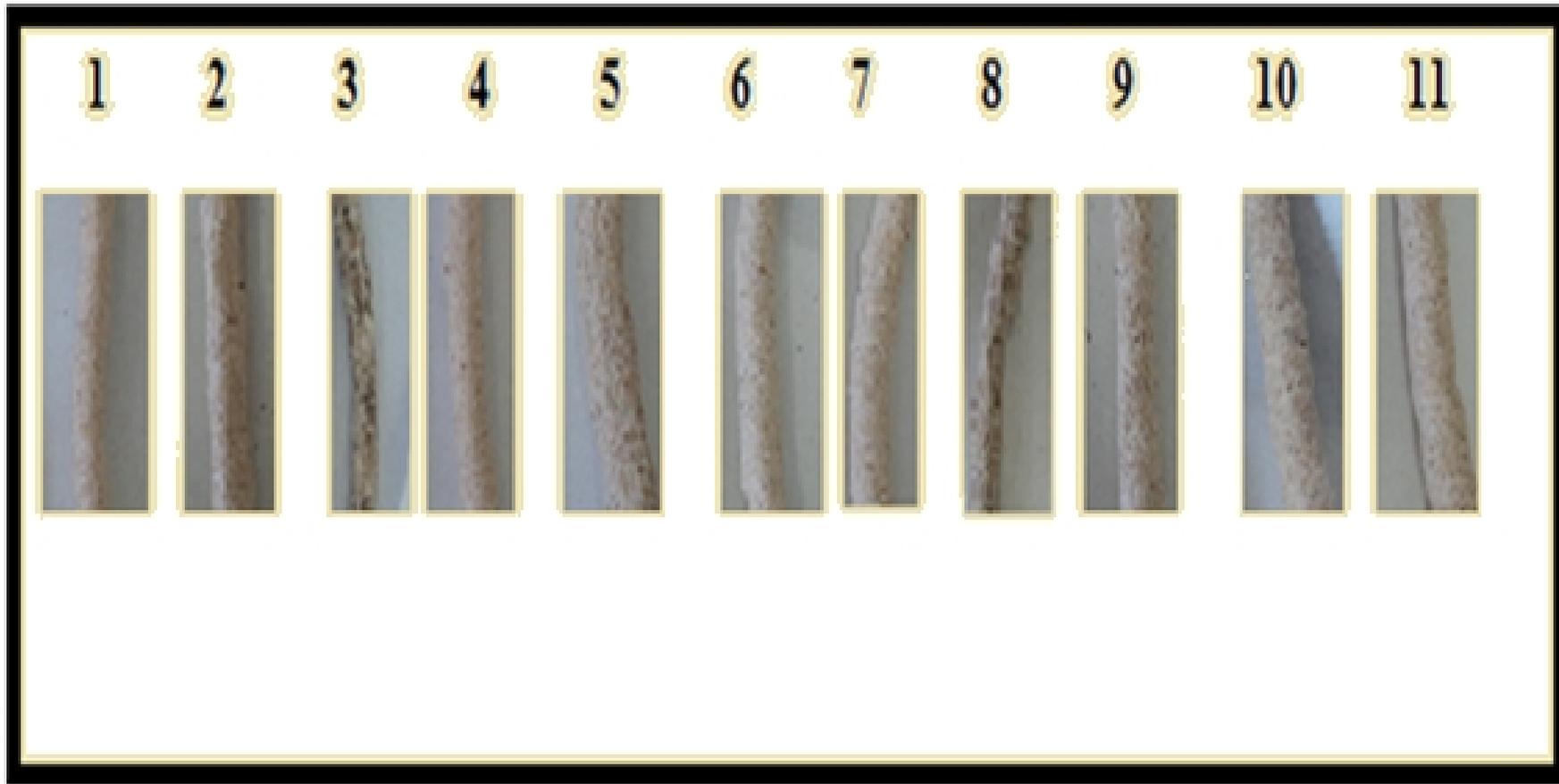


Figura 5. Aspecto geral dos *snacks* experimentais de coprodutos de arroz e soja. Experimento 1 (umidade 13,16 g.100 g⁻¹ e temperatura 67,3 °C); Experimento 2 (umidade 13,16 g.100 g⁻¹ e temperatura 102,7 °C); Experimento 3 (umidade 18,84 g.100 g⁻¹ e temperatura 67,3 °C); Experimento 4 (umidade 18,84 g.100 g⁻¹ e temperatura 102,7 °C); Experimento 5 (umidade 16 g.100 g⁻¹ e temperatura 60 g.100 g⁻¹); Experimento 6 (umidade 16 g.100 g⁻¹ e temperatura 110 °C); Experimento 7 (umidade 12 g.100 g⁻¹ e temperatura 85 °C); Experimento 8 (umidade 20 g.100 g⁻¹ e temperatura 85 °C); Experimento 9 (umidade 16 g.100 g⁻¹ e temperatura 85 °C); Experimento 10 (umidade 16 g.100 g⁻¹ e temperatura 85 °C).

Tabela 3. Volume específico (VE), índice de expansão (IE), luminosidade (L^*), coordenadas de cromaticidade (a^* e b^*) e diferença de cor em relação à cor da mistura crua (DE) dos *snacks* extrusados de coprodutos de arroz e soja em função da temperatura de extrusão (x_1) e umidade (x_2)

Exp.	Valor codificado		Valor real		Propriedade física					
	Temp.	Umidade	Temp.	Umidade	VE	IE	L^*	a^*	b^*	DE
	(x_1)	(x_2)	($^{\circ}\text{C}$)	($\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$)	($\text{mL}\cdot\text{g}^{-1}$)					
1	-1	-1	67,3	13,16	13,5	2,62	77,4	2,59	11,62	20,57
2	1	-1	102,7	13,16	11,71	2,59	77,7	2,72	11,29	20,17
3	-1	1	67,3	18,84	6,97	2,33	76,6	1,96	9,62	20,17
4	1	1	102,7	18,84	13,81	2,55	77,4	2,52	11,39	20,29
5	-1,41	0	60	16	7,75	2,64	78	2,05	10,17	19,21
6	1,41	0	110	16	8,4	2,92	74,3	2,79	11,85	23,3
7	0	-1,41	85	12	13,5	3,39	75,6	2,52	10,47	21,5
8	0	1,41	85	20	5,92	2,28	77,4	1,79	9,5	19,3
9	0	0	85	16	11,07	3,23	75,1	2,28	9,45	21,42
10	0	0	85	16	11,26	3,61	72,6	2,44	11	24,37
11	0	0	85	16	11,87	3,42	74,9	2,38	9,48	21,65

Quanto ao VE, houve variação entre 5,92 a 13,81, e consequente variação percentual de 133% (Tabela 3), além de apresentar forte dependência do efeito linear da umidade ($p < 0,10$) observado pela tabela 4. A área com os elevados valores de VE no gráfico foi ampla, indicando uma maior flexibilidade em relação ao binômio umidade da mistura de coprodutos de arroz e soja e a temperatura de extrusão (efeito da interação), o que pode facilitar as operações industriais (Figura 2B e Anexo 2). Entretanto, os maiores valores de VE (acima de $13,0 \text{ mL}\cdot\text{g}^{-1}$) podem ser visualizados na região que compreende temperaturas acima de $78,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e umidade abaixo de $14 \text{ g}\cdot 100\text{g}^{-1}$ e menores valores (abaixo de $7,5 \text{ mL}\cdot\text{g}^{-1}$) à temperaturas abaixo de $84,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e mistura acima de $17,9 \text{ g}\cdot 100 \text{ g}^{-1}$ (Figura 6B).

Segundo Ding et al. (2005), a água tem efeito inverso sobre a expansão, agindo como um plastificante para materiais amiláceos, reduzindo sua viscosidade e dissipação da energia mecânica no extrusor, com isso, o produto fica mais denso e o crescimento das bolhas é comprimido, fato verificado neste trabalho. Launay e Lisch (1983) relatam que o fenômeno da

expansão é basicamente dependente das propriedades viscoelásticas da massa derretida, enquanto que a temperatura aumenta, a viscosidade do fundido é reduzida e a expansão axial aumenta. Os *snacks* de milho geralmente apresentam volume específico com valores semelhantes aos encontrados na presente pesquisa. Segundo Alves e Grosmann (2002) *snacks* de milho comercial atingem até 8,373 mL.g⁻¹. Os fatores de expansão, dureza, crocância e densidade são características importantes para *snacks*, devido afetar a aceitabilidade do produto final. Nos *snacks* é esperada uma estrutura expandida (CHRISTOFIDES et al., 2004).

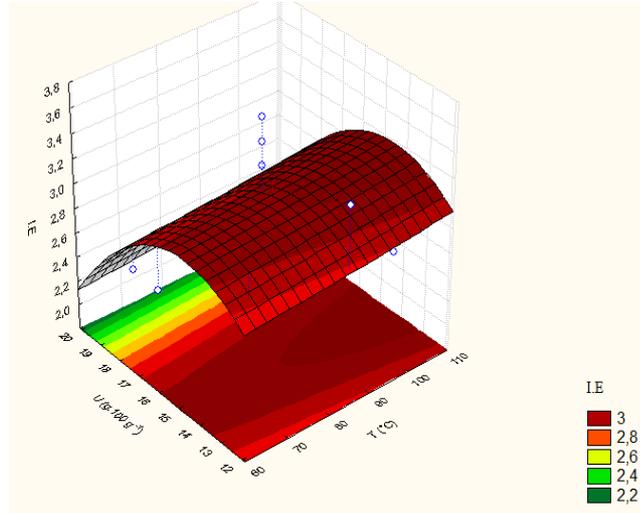
Tabela 4. Nível de significância dos efeitos da temperatura (x_1) e umidade (x_2) sobre o índice de expansão (IE), volume específico (VE) e parâmetro de cor croma a^*

Parâmetro físico	Nível de Significância (ANOVA)					Modelo ajustado	R ²
	T (L)	T (Q)	U (L)	U (Q)	TxU		
IE	-	0,01	0,04	0,01	-	$y = 3,42 - 0,39x_1^2 - 0,24x_2 - 0,37x_2$	0,78
VE	-	-	0,03	-	0,06	$y = 10,52 + 1,90x_2 + 2,15x_1x_2$	0,6
a^*	0,005	-	0,003	-	-	$y = 2,37 + 0,22x_1 - 0,24x_2$	0,8

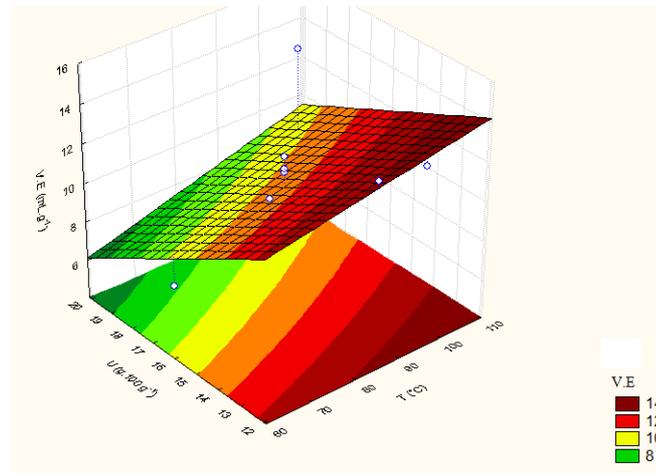
A coloração dos *snacks* é uma característica bastante importante para a comercialização dos mesmos, sendo que são influenciados pelas matérias-primas que compõem sua formulação (PAUCHAR-MENACHO et al., 2008; AKILLIOGLU; YALCIN, 2010). A luminosidade dos *snacks* variou entre 72,6 e 78 (7,5%), a cromacidade a^* entre 1,79 a 2,79 e (56%); a cromacidade b^* de 9,45 a 11,85 (25%) e ΔE entre 19,21 a 24,37 (27%). O efeito da umidade e da temperatura não foram significativos para L^* , b^* e ΔE , desta forma não foram construídos os gráficos de superfície de resposta para estas propriedades, assim como tais parâmetros não foram utilizados no teste de desejabilidade. Borba, Sarmiento e Leonel (2005) relatam aumento da intensidade de amarelo (aumento do croma b^*) quando o produto foi extrusado e justifica-se o ocorrido pelo baixo conteúdo de umidade durante o processamento, favorecendo surgimento de reações de escurecimento não enzimático, enquanto que aumento da umidade exerce efeito contrário. Apesar do modelo não ser significativo no presente trabalho, notou-se que geralmente a intensidade de amarelo aumentou com as umidades menores (Tabela 3). Em relação ao croma a^* , apesar da variação ter sido pequena, os efeitos lineares da temperatura de extrusão e umidade da mistura de coprodutos de arroz e soja foram significativos. Os maiores valores de croma a^* (acima de

2,6) foram verificados em temperaturas acima de 76,7 °C e umidade abaixo de 16,9 g.100g⁻¹ (Figura 6 C e Anexo 3).

(A)



(B)



(C)

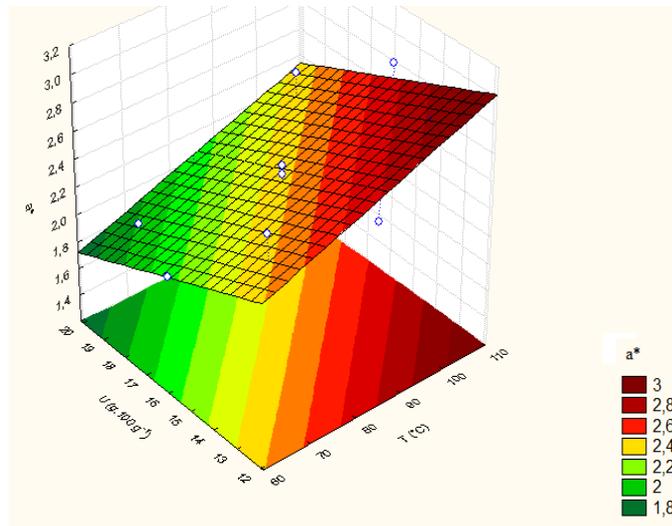


Figura 6. (A) Índice de expansão (IE), (B) volume específico (VE); e (C) croma a* dos snacks de coprodutos do arroz e soja preta em função da umidade da mistura ($\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$) e da temperatura ($^{\circ}\text{C}$) de extrusão na terceira zona do extrusor.

Conforme Lacerda et al. (2010), as reações de Maillard e de caramelização provavelmente são as explicações para que altas temperaturas e baixas umidades dêem produtos mais avermelhados, com maior teor de melanoidinas. A croma a* para *snacks* de milho possui valor próximo de 7,4, ou seja, em média de cromaticidade a* para *snacks* de milho chega a valores mais de três vezes maiores do que o encontrado no presente trabalho (CAPRILES; AREAS, 2012).

De forma geral, os *snacks* aparentaram-se um pouco escurecidos (baixos valores de L^*), em função do okara da soja preta que possui pigmentação escura, apesar da sua menor proporção em relação aos coprodutos de arroz (Figura 5). Os valores de b^* também foram baixos, diferenciando-se dos *snacks* tradicionais a base de milho, que possuem elevado teor de carotenóides, que conferem maior tonalidade amarelada. Isso pode ser melhorado com a utilização de corantes naturais, como o urucum, como visto no trabalho de Leonel, Souza e Mischan (2010).

4.1.3.3 Snack de maior desejabilidade em relação as propriedades físicas

Os modelos de regressão para IE, VE e coordenada de croma a* obtidos foram adequados para descrever os dados experimentais. Portanto, as melhores condições de processamento (umidade e temperatura) para obter o *snack* com o melhor conjunto de propriedades físicas foram estabelecidos com base nesses parâmetros. As propriedades físicas desejáveis para o *snack* consideradas, foram os fatores de máxima expansão, volume específico e de croma a*, ou seja, o mais parecido possível com o *snack* produzido com griz de milho comercial, matéria-prima mais utilizada e mais consumida pela população com o *snack*, sendo assim, buscou-se por um produto em que as características físicas se adequadas para obter maior aceitabilidade no mercado

O *snack* de coprodutos de arroz e soja com maior desejabilidade foi obtido com teor de umidade da mistura de $12 \text{ g}\cdot 100\text{g}^{-1}$ e 85°C de temperatura de extrusão (Figura 7 e Figura 8), no qual estimou-se valores de 3,39 para índice de expansão; $13,5 \text{ mL}\cdot\text{g}^{-1}$ para volume específico e 2,52 para croma a*. Após nova extrusão, para validação do modelo, se encontraram valores bastante próximos aos resultados estimados, tais como volume específico

de $13,25 \pm 0,47 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1}$, índice de expansão de $3,36 \pm 0,16$ e coordenada de cromaticidade a^* de $2,51 \pm 0,03$, confirmando a capacidade preditiva dos modelos ajustados.

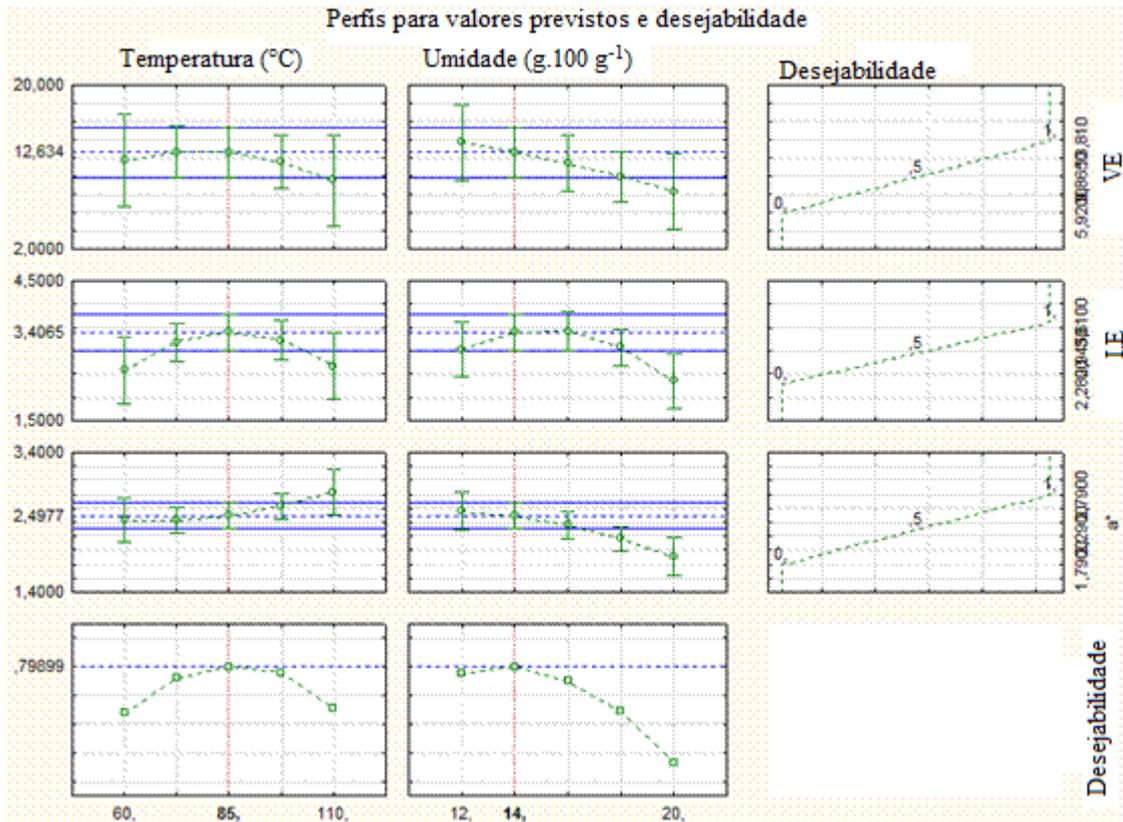


Figura 7- Diagrama gráfico da desejabilidade. *Snacks* com propriedades físicas necessárias em um produto com potencial comercial, em função das condições de umidade e de temperatura de extrusão durante o processamento.



Figura 8. Snacks de coprodutos de arroz e soja com maior desejabilidade

4.1.3.4 Composição centesimal e valor energético do *snack* de maior desejabilidade

O *snack* de coprodutos de arroz e soja preta extrusados foi analisado em relação à composição centesimal e valor energético (Tabela 5). Observou-se que o conteúdo de umidade foi baixo e que ficou abaixo do limite estabelecido como máximo para farinhas pela ANVISA (BRASIL, 2005), que é de 15 g.100 g⁻¹. Com a quantidade de proteína presente no *snacks* de coprodutos de arroz e soja otimizado, pode-se considerar que o mesmo é fonte de proteínas (Tabela 1), pois segundo ANVISA (BRASIL, 2012), um produto fonte de proteínas, necessita de no mínimo 6 g.100 g⁻¹ de disposição de proteínas no alimento. Segundo ASSIS et al. (2009), a incorporação de soja em farinhas de arroz provocou aumento nos teores de proteínas e minerais nas farinhas em relação ao arroz parboilizado. O teor de proteína do *snack* experimental foi mais de 4 vezes maior que o tradicional de milho.

Os teores de carboidratos e lipídeos dos *snacks* de coprodutos de arroz e soja foram maiores do que os encontrados em *snacks* de milho segundo a tabela 1. O *snack* de coprodutos de arroz e soja possui 27 e 64 % respectivamente a mais de conteúdo de carboidratos e lipídeos quando comparados ao *snack* de milho citado por Bombo (2006). Logo, nota-se que o teor nutricional dos *snacks* de coprodutos de arroz e soja são maiores do que os de milho.

Tabela 5 - Composição centesimal do *snack* otimizado (base úmida)

Componente	<i>Snacks de coprodutos de arroz</i>	<i>Snacks de milho*</i>
	e soja	
Umidade ²	5,39 ± 0,28 (5,29)	18,28 ± 1,26
Cinzas ²	0,67 ± 0,01 (1,73)	1,79 ± 0,06
Lipídeos ²	4,08 ± 0,10 (2,46)	2,49 ± 0,13
Proteína ²	10,50 ± 0,12 (1,16)	7,45 ± 0,80
Fibra Bruta ²	1,57 ± 0,09 (5,73)	2,09
Carboidratos ²	79,35	62,43
Valor energético ³	390,19	332,17

¹ Média seguida de desvio padrão e coeficiente de variação; ² g. 100g⁻¹; ³ kcal (100g)⁻¹;

*BOMBO (2006)

Segundo HOSENEY (1986), quanto maior a quantidade ou a contaminação de farelo na farinha, maior será o teor de cinzas resultante, ou seja, pode ser que sujidades estejam contaminando o produto farináceo e aumentando os minerais. Em relação ao *snack* de coprodutos de arroz e soja, o valor encontrado de cinzas foi baixo diante dos valores obtidos para *snack* de milho. O *snack* de coprodutos de arroz e soja possui 1,12 g. 100g⁻¹ a menos de

cinzas do que o *snack* de milho. Com certeza, o conteúdo menor de cinzas dos *snacks* experimentais pode ser decorrente das matérias-primas utilizadas na produção desses *snacks*.

Em relação ao valor energético dos *snacks*, obteve-se valor de 390,19 g.100 g⁻¹, assemelhando-se às médias encontrados na literatura, pois de acordo Silva, Ascheri, Pereira (2007) e Soares Junior et. al. (2010), o valor energético de produto farináceo de arroz e soja está entre 351,81 a 410,10 kcal.100g⁻¹. Já em relação ao *snack* de milho, o valor energético de *snack* de coprodutos de arroz e soja foi 17,47% maior do que o *snack* tradicional de milho, pois seu conteúdo lipídico foi maior.

4.1.4 CONCLUSÃO

Os coprodutos do arroz (grãos quebrados e farelo) apresentaram em sua composição centesimal grande quantidade de carboidratos. O farelo de arroz e o okara de soja preta possuem alto teor protéico e lipídico. Esta combinação proporcionou mistura crua com alto valor nutricional, fonte de proteínas, lipídeos e rica em carboidratos de interesses para o consumo humano.

Os coprodutos de arroz e soja preta se mostraram matérias-primas adequadas para produção de *snacks* extrusados, apesar do índice de expansão ter sido inferior ao dos *snacks* tradicionais elaborados com *gritz* de milho.

Os *snacks* que obtiveram um conjunto de características físicas mais desejáveis foram processados com umidade da mistura de coprodutos de arroz e soja de 12 g.100 g⁻¹ e temperatura de extrusão de 85 °C.

A produção de *snacks* de arroz e soja pode agregar valor a estes coprodutos, pois estes possuem características desejáveis para o consumidor em relação às propriedades físicas, e principalmente devido ao alto valor nutricional e funcional quando comparado com os *snacks* tradicionais de milho, pois os potenciais consumidores deste produto são crianças em fase de crescimento.

REFERÊNCIAS

- AKILLIOGLU, H. G.; YALCIN, E. Some Quality Characteristics and Nutritional Properties of Traditional Egg Pasta (Erişte). **Food Science Biotechnology**, Bratislava, v. 19, n. 2, p. 417-424, 2010.
- ALVES, R. M. L.; GROSSMANN, M. V. E. Parâmetros de extrusão para produção de “snacks” de farinha de cará. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 22, n. 1, p. 32-38, 2002.
- ANGELUCCI, E.; CARVALHO, L. R.; CARVALHO, N. R. P.; FIGUEIREDO, B. I.; MANTOVANI, B. M. D.; MORAES, M. R. **Análise química de alimentos**, Campinas: Edusp, 1987. 123p. (Manual Técnico)
- ASCHERI, J. L. R.; MENDONÇA, X. M. F. D.; NASCIMENTO, R. E.; CARVALHO, C. W. P.; DELLA MODESTA, R. C.; SPEHAR, C. R. **Elaboração de “snacks” e farinha instantânea de amaranto / arroz**. Rio de Janeiro: Embrapa-CTAA, 2003. 2p. (Comunicado Técnico, 62).
- ASSIS, L. M.; ZAVAREZE, E. R.; RADÜNZ, A. L.; DIAS, A. R. G.; GUTKOSKI, L. C.; ELIAS, M. C. Propriedades nutricionais, tecnológicas e sensoriais de biscoitos com substituição de farinha de trigo por farinha de aveia ou farinha de arroz parboilizado. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 20, n. 1, p. 15-24, 2009.
- AOAC - Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis of AOAC International**: Food composition, additives, natural contaminants. 19. ed. Gaithersburg: AOAC International, 2010.
- AZEVEDO, H, M, C.; PINTO, G. A.; BRITO, E. S.; AZEREDO, R, M, C. **Fundamento de estabilidade de alimentos**: alterações microbiológicas em alimentos durante a estocagem. 2 ed. Brasília: Embrapa, 2012, 15p.
- BARBOSA-CÁNOVAS, G. V.; FONTANA JUNIOR, A. J.; SCHMIDT, S. J.; LABUZA, T. P. **Water activity in foods**: fundamentals and applications. Blackwell Publishing, Oxford, 423 p., 2007.
- BASSINELLO, P. Z.; CASTRO, E. M. Arroz como alimento. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 25, n. 222, p. 101-108, 2004.
- BASTOS, G. M. **Resíduos da industrialização de batata**: aplicação na produção de farinhas, snacks, farinhas pré-gelatinizadas e massa alimentícia fresca sem glúten. 2012. 215 f. Dissertação – (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2012.
- BECKER, F. S. **Caracterização de farinhas cruas e extrusadas obtidas a partir de grãos quebrados de diferentes genótipos de arroz**. 2010. 76 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

BOMBO, A. J. **Obtenção e caracterização nutricional de *snacks* de milho (*Zeamays L.*) e linhaça (*Linum usitatissimum L.*)**. 2006. 96 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

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

BRASIL, Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária Resolução RDC nº 360: **Regulamento técnico sobre rotulagem nutricional de alimentos embalados, tornando obrigatória a rotulagem nutricional**. Brasília, 2003. Diário Oficial da União de 26 de dezembro de 2003. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/1c2998004bc50d62a671ffbc0f9d5b29/RDC_N_360_DE_23_DE_DEZEMBRO_DE_2003.pdf?MOD=AJPERES>. Acesso em 23 dez. 2012.

BRASIL, Resolução RDC nº 263: **Regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos**, de 17 de outubro de 2005. ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária), Brasília, 2005. Diário Oficial da União de 23 de setembro de 2005. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br/leisref/public/showact.php>>. Acesso em: 15 jul. 2010.

BRASIL, Resolução RDC nº 54: **Regulamento técnico sobre informação nutricional complementar**, 12 de novembro de 2012. ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária), Brasília, 2012. Diário Oficial da União de 21 de agosto de 2006. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/630a98804d7065b981f1e1c116238c3b/Resolucao+RDC+n.+54_2012.pdf?MOD=AJPERES>. Acesso em: 20 dez. 2012.

CAPRILES, V. D.; AREAS, J. A. G. Avaliação da qualidade tecnológica de *snacks* obtidos por extrusão de grão integral de amaranto ou de farinha de amaranto desengordurada e suas misturas com fubá de milho. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 15, n. 1, p. 21-29, 2012.

CARVALHO, A. V.; BASSINELLO, P. Z.; MATTIETTO, R. A.; CARVALHO, R. N.; RIOS, A. O. Processamento e caracterização de *snack* extrusado a partir de farinhas de quirera de arroz e de bandinha de feijão. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 15, n. 1, p. 72-83, jan.-mar. 2012.

CALHEIROS, M. N. **Extração de orizanol da borra de neutralização do óleo de farelo de arroz**. 2007. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

CAMIRE, M. E.; CAMIRE, A.; KRUMAR, K. Química e nutricional alterações nos alimentos durante a extrusão. **Resenhas Críticas em Ciência dos Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 29, n. 1, p. 35-57, 1990.

CHRISTOFIDES, V.; AINSWORTH, P.; IBANOGLU, S.; GOMES, F. Physical evaluation of maize-based extruded snack with curry powder. **Nahrung**, Berlim, v. 48, n. 1, p. 61-64, 2004.

DING, Q.; AINSWOTH, 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**, Maryland Heights, v. 66, n. 3, p. 283-289, 2005.

DEVIDÉ, J. C.; SEIBEL, N. F. ; FALCÃO, H. G.; RIBEIRO, S. N.; YAMAGUCHI, M. M. Elaboração e caracterização de hambúrgueres de carne bovina com aplicação de okara. SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DA UTFPR, **Anais...**, Londrina, 2012.

DERRINGER, G.; SUICH, R. Simultaneous optimization of several response variables. **Journal of Quality Technology**, Washington, v. 12, n. 1, p. 214-219, 1980.

DIAS, L. T.; LEONEL, M. Caracterização físico-química de farinhas de mandioca de diferentes localidades do Brasil. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 4, p. 692-700, 2006.

EIFERT, E. da COSTA; ELIAS, M. C.; FRANCO, D. F.; da FONSECA, J. R. Beneficiamento do arroz. Santo Antônio do Goiás: Embrapa, 2012. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/arroz/equipe_editorial.html>. Acesso em: 20 out. 2012.

FAUBION, J. M.; HOSENEY, R. C. High temperature and short time. Extrusion-cooking of wheat starch and flour. Effect of moisture and flour type on extrudate properties. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 59, n. 6, p. 529-533, 1982.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. 2. ed. São Paulo: Editora Artmed, 2006. 602 p.

HOSENEY, R. C. **Principles of cereal science and technology**. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1986. 327p.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4 ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020 p.

KUBOW, S. Lipid oxidation products in food and atherogenesis. **Nutrition Reviews**, New York, v. 51, n. 2, p. 33-40, 1993.

LACERDA, L. G.; CARVALHO FILHO, M. A. S.; BANNACH, G.; DEMIATE, I. M.; IONASHIRO, M.; SCHNITZLER, E. Thermal behavior of corn starch granules under action of fungal α -amilase. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, Budapeste, v. 93, p. 445-449, 2008.

LACERDA, D. B. C. L. SOARES JÚNIOR, M. S.; BASSINELLO, P. Z.; CASTRO, M. V. L.; SILVA-LOBO, V. L.; CAMPOS, M. R. H.; SIQUEIRA, B. S. Qualidade de farelos de arroz cru, extrusado e parboilizado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 4, p. 521-530, 2010.

LAUNAY, B.; LISCH, J. M. Twin-screw extrusion cooking of starches: flow behavior of starch pastes, expansion and mechanical properties of extrudates. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 2, p. 259-280, 1983.

LEONEL, M. Análise da forma e tamanho de grânulos de amidos de diferentes fontes botânicas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 3, p. 579-588, 2007.

LEONEL, M.; MISCHAN, M. M.; PINHO, S. Z.; IATAURO R. A.; DUARTE FILHO, J. Efeitos de parâmetros de extrusão nas propriedades físicas de produtos expandidos de inhame. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 2, p. 459-464, 2006.

LEONEL, M.; SOUZA, L. B.; MISCHAN, M. M. Produção de snacks extrusados à base de polvilho doce e fibra de laranja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 6, p. 1411-1417, 2010.

LEONEL, M. **Processamento de batata: fécula, flocos, produtos de extrusão**. Associação Brasileira da batata, 2005. Disponível em: <<http://www.abbabatatabrasileira.com.br/minas2005/18%20-%20Outras%20formas%20de%20processamento.pdf>>. Acesso em: 12 jun. 2010.

LIMBERGER, V. M.; SILVA, L. P.; EMANUELLI, T.; COMARELA, C. G.; PATIAS, L. D. Modificação química e física do amido de quirera de arroz para aproveitamento na indústria de alimentos. **Química Nova**, São Paulo, v. 31, n. 1, p. 84-88, 2008.

MATTOS, L. L.; MARTINS, I. S. Consumo de fibras alimentares em população adulta. **Revista de Saúde Pública**, Salvador, v. 34, n. 1, p. 50-55, 2000.

MERCIER, C.; LINKO, P.; HARPER, J. M. **Extrusion cooking**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1998. 471 p.

MOLINA, G.; FEIHRMANN, A. C. Bebidas feitas de soja. **Higiene Alimentar**, São José do Rio Preto, v. 23, n. 176/177, p. 29-32, 2009.

OSBORNE, D. R.; VOOGT, P. **The analysis of nutrient in foods**. London: Academic Press, 1978. 251 p.

PAUCAR-MENACHO, L. M.; BARRETO, P. A. A.; MAZAL, G.; FAKHOURI, F. M.; STEEL, C. J.; COLLARES-QUEIROZ, F. P. Desenvolvimento de massa alimentícia fresca funcional com a adição de isolado protéico de soja e polidextrose utilizando páprica como corante. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 4, p. 767-778, 2008.

PINTO, D. D. J.; CASTRO, P. S. Estudo preliminar da secagem do okara (resíduo do extrato aquoso de soja) para inativação dos fatores antinutricionais e conservação. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 2, p. 125-131, dez. 2008.

SILVA, R. F.; ASCHERI, J. L. R.; PEREIRA, R. G. F. A. Composição centesimal e perfil de aminoácidos de arroz e pó de café. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 18, n. 3, p. 325-330, 2007.

SILVA, J. B. da; CARRÃO-PANIZZI, M. C.; PRUDÊNCIO, S. H. Composição química e física de soja tipo grão e tipo alimento para o processamento de alimentos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 7, p. 777-784, 2009.

SOARES JÚNIOR, M. S.; BASSINELLO, P. Z.; CALIARI, M.; VELASCO, P.; REIS, R. C.; CARVALHO, W. T. Bebidas saborizadas obtidas de extratos de quirera de arroz, arroz integral e de soja. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 2, p. 407-413, 2010.

SOARES JÚNIOR, M. S.; CALIARI, M.; OLIVEIRA, W. M.; VERA, R. Otimização da formulação de pães de forma preparados com diferentes proporções de farinha de trigo, fécula de mandioca e okara. **Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos (Impresso)**, Curitiba, v. 24, n. 1, p. 221-248, 2006.

SOARES JÚNIOR, M. S.; SANTOS, T. P. B.; PEREIRA, G. F.; MINAFRA, C. S.; CALIARI, M.; SILVA, F. A. Desenvolvimento de salgadinhos extrusados a partir de fragmentos de arroz e de feijão. **Semina: Ciências Agrárias (Impresso)**, Londrina, v. 32, n. 1, p. 189-198, 2011.

STATSOFT, INC. **STATISTICA** (data analysis system). Version7. São Caetano do Sul: copyright statsoft, 2004.

VITTOLO, M. R.; CAMPAGNOLO, P. D. B.; GAMA, C. M.; Fatores associados ao risco de consumo insuficiente de fibra alimentar entre adolescentes, **Jornal de Pediatria**, Porto Alegre, v. 83, n. 1, p. 47-52, 2007.

4.2 ARTIGO 2

PROPRIEDADES FUNCIONAIS E QUÍMICAS DE FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS DE COPRODUTOS DE ARROZ E SOJA PRETA EM FUNÇÃO DA UMIDADE E TEMPERATURA DE EXTRUSÃO

RESUMO

Os coprodutos do arroz e da soja (grão quebrado, farelo e okara), são alimentos ricos nutricionalmente e subutilizados pelas indústrias de alimentos. Com a idéia de ampliar o aproveitamento destes coprodutos e como ingredientes para a indústria de alimentos, elaborou-se farinhas pré-gelatinizadas com diferentes condições de extrusão. A mistura crua e as pré-gelatinizadas foram avaliadas quanto a suas propriedades físicas, químicas e tecnológica de acordo as variáveis de extrusão (umidade de mistura e temperatura de extrusão na terceira zona do extrusor). Quanto aos índices de absorção em água, de absorção de óleo e de solubilidade em água se observaram maiores valores nas farinhas pré-gelatinizadas, 9,61 g gel por g de matéria seca, 8,29 g gel por g de matéria seca e 12,48%, respectivamente, do que na mistura crua, 2,8 g gel por g de matéria seca, 2,0 g de gel por grama de matéria seca e 4,8% respectivamente. Foi possível notar que a temperatura da extrusão não influenciou tanto quanto a umidade em relação aos valores de viscosidade final, tendência a retrogradação e força gel. Já em relação a estrutura dos grânulos de amido, da mistura extrusada, foi possível observar desde danos parciais até totais na estrutura em função das variáveis de extrusão. A partir da elaboração de farinha pré-gelatinizada da mistura dos coprodutos do arroz e da soja criou-se opções para emprego da mesma como ingredientes em produtos de panificação, sopas e sobremesas instantâneas, dentre outros.

Palavras-chave: Absorção de água, solubilidade em água, absorção de óleo, propriedades viscoamilográficas, soja preta, sustentabilidade.

ABSTRACT

The byproducts of rice and soybeans (broken grain, meal and okara) are nutritionally rich foods and underutilized by food industries. With the idea of expanding the use of these coproducts and as ingredients for the food industry, was conducted pre-gelatinized flour with different extrusion conditions. The crude mixture and pre-gelatinized were evaluated for their physical, chemical and technological according extrusion variables (moisture mixing and

extrusion temperature in the third zone of the extruder). As for the ratios of water absorption, oil absorption of water solubility and highest values observed in the pre-gelatinized flour 9.61 g gel per g of dry matter, 8.29 g of gel per g dry weight and 12.48 %, respectively, than the crude mixture, 2.8 g of gel per g dry matter, 2.0 g of gel per gram of dry matter and 4.8% respectively. Was possible to notice that the temperature of extrusion is not influenced as much moisture from the values of viscosity end retrogradation and gel strength. Regarding the structure of starch granules, the mixture extruded, it was observed from partial to total damage in the structure according to the variables of extrusion. From the preparation of pre-gelatinized flour mix of byproducts of rice and soybeans set up options for the same job as ingredients in bakery products, instant soups and desserts, among others.

Keywords: Water absorption, solubility in water, oil absorption, viscoamylographic properties, black soybeans, sustainability.

4.2.1 INTRODUÇÃO

Na indústria de beneficiamento de arroz, produz-se uma grande quantidade de farelo e grãos quebrados de arroz e o principal destino a estes coprodutos é a indústria de ração animal (WALTER; MARCHEZAN; AVILA, 2008). No entanto, sabe-se que o teor nutricional e os valores energéticos de ambos coprodutos são de interesse para o consumo humano, por ser importante fonte de carboidratos, fibras e lipídeos. Já a soja preta, assim denominada por possuir tegumento desta cor, possui um importante diferencial em relação à soja comum (de tegumento amarelo), que é seu conteúdo rico em antocianinas (KIM et al., 2010).

O processamento da soja está em constante expansão nos últimos anos devido aos seus benefícios à saúde, dando origem a vários produtos e coprodutos de grande importância, como o okara. O okara é um coproduto obtido do processamento do extrato aquoso da soja, tendo alto valor nutricional por possuir proteínas, lipídeos e fibras em quantidades significativas, além de compostos bioativos, como as isoflavonas. Porém, a grande quantidade anualmente produzida de okara no mundo representa um problema de descarte significativo, uma vez que só na Coréia no ano de 2004, foram produzidas a partir do tofu, cerca de 310.000 t de okara (REGINATO-D'ACE, 2006; LI; MEIYING; LU, 2012).

Atualmente, o mundo encontra-se em uma fase cuja responsabilidade socioambiental é fundamental para a sobrevivência dos negócios (SOARES; VALADÃO JÚNIOR, 2007; BUSCH; RIBEIRO, 2009). As indústrias processadoras de arroz e de soja geram coprodutos

cujo destino deve ser objeto de estudo para desenvolvimento de atividades que impactem minimamente o meio ambiente. Neste contexto, a tecnologia da extrusão tem se tornado um dos principais processos no desenvolvimento de novos produtos. Se tratando de um processo limpo e contínuo, no qual a matéria-prima é forçada através de uma matriz ou molde, em condições de mistura e aquecimento por pressão e fricção, que leva à gelatinização do amido e a desnaturação de proteínas, além de que a extrusão termoplástica combina atrito mecânico e aquecimento (TORRES et al., 2005).

Os grânulos de amido nativo limitam-se na capacidade de absorver água fria. Durante o cozimento por extrusão, o amido apresenta inicialmente uma forma granular, sendo progressivamente comprimido e transformado em um material denso, sólido e compacto, desaparecendo sua estrutura cristalina e granular. Já o amido extrusado ou pré-gelatinizado apresenta propriedades funcionais de absorção e solubilidade quando dispersos em água maiores que os amidos nativos. Pois, o amido absorve água rapidamente, formando uma pasta a temperatura ambiente, sem qualquer aquecimento. O aumento da solubilidade com a gelatinização é a base para a confecção de alimentos amiláceos instantâneos ou pré-preparados (BORBA; SARMENTO; LEONEL, 2005).

As farinhas pré-gelatinizadas são obtidas a partir da moagem dos extrusados. Estas podem ser utilizadas como ingrediente, possuindo funções de espessante e estabilizante em sistemas alimentares complexos, como na elaboração de produtos panificados e de confeitaria, sopas e cremes instantâneos, condimentos, misturas para sobremesas, bebidas lácteas, caldos de carne desidratados, molhos prontos, entre outros (CARVALHO et al., 2010).

Outras propriedades funcionais também são afetadas na pré-gelatinização de farinhas, como as de viscosidade. O rápido viscoamilógrafo (RVA) é o instrumento mais utilizado para construção de curvas de viscosidade, substituindo as análises realizadas no tradicional viscoamilógrafo. Os parâmetros de viscosidade (viscosidade a frio, pico de viscosidade, quebra de viscosidade, viscosidade final e tendência à retrogradação) são importantes na avaliação das farinhas pré-gelatinizadas, uma vez que a fluidez do produto sob diferentes condições de processamento pode interferir nos tipos de equipamento a serem utilizados, nos dimensionados da linha de produção, na formulação e nas características finais dos produtos fabricados (DINIZ; PIROZI, GERMANI, 2008).

O objetivo deste trabalho foi verificar a influência das variáveis de extrusão (temperatura e umidade) nas características funcionais de farinhas pré-gelatinizadas de grãos quebrados de arroz, farelo de arroz e okara da soja preta, a fim de ampliar a gama de

ingredientes disponíveis para indústria de alimentos, mais baratos e nutritivos, além das possibilidades de utilização de coprodutos agroindustriais para redução do impacto ambiental.

4.2.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.2.1 Material

Para desenvolvimento das farinhas pré-gelatinizadas utilizaram-se grãos quebrados e farelo de arroz, de cultivares IRGA 417 e IRGA 424 misturados, safra 2012, doados pela empresa Cristal Alimentos Ltda., situada em Aparecida de Goiânia – GO. E soja preta adquirida na Cerealista São José, localizada em São Paulo - SP.

4.2.2.2 Métodos

4.2.2.2.1 Obtenção dos coprodutos

Os coprodutos do arroz, tanto os grãos quebrados quanto o farelo de arroz, foram utilizados da mesma forma como chegaram da indústria. Os grãos quebrados de arroz possuíam granulometria grossa, que facilitou a alimentação da extrusora para obtenção dos extrusados, devido ao sistema de alimentação ser por gravidade.

Para obtenção do okara de soja preta, realizou-se tratamento térmico dos grãos em água em ebulição por 5 min, visando à inativação dos fatores antinutricionais da leguminosa (BELLAYER; SNIZEK JUNIOR, 2012). Utilizou-se um parte de grão de soja para 5 partes de água (m/v). A água foi descartada e os grãos lavados em água corrente. Em seguida, realizou-se o cozimento. Para tal, foram utilizados fogão industrial de duas bocas e panelas de alumínio com capacidade de 20 L, limpas e sanitizadas com solução de hipoclorito de sódio a concentração de 200 ppm. Nesses recipientes, foram adicionados os grãos em uma nova água na proporção de (1:5) para a obtenção do ponto adequado de cozimento. Realizou-se cocção dos grãos por 25 min. Posteriormente, executou-se a trituração dos grãos cozidos utilizando liquidificador industrial, no qual foi padronizado uma parte de soja para duas partes de água (m/v) durante 3 min. Depois, realizou-se a desintegração em liquidificador doméstico dos grãos cozidos, utilizando a proporção de uma parte de produto cozido para duas partes de água, sendo que a água utilizada não foi a mesma da cocção. A mistura foi liquidificada por 5 min, até sua homogeneização completa (SOARES JÚNIOR et al., 2010). A extração do okara

da soja preta ocorreu por meio de uma centrifuga mecânica. O material homogeneizado foi centrifugado durante 10 min em bateladas de 1 kg. O okara ficou retido na peneira da centrífuga e o que passou constituiu o permeado, que foi denominado de extrato. O coproduto foi coletado com luvas plásticas, acondicionado em embalagem de polietileno de baixa densidade, e armazenado sob refrigeração a 5 °C. Em seguida, o okara foi desidratado em estufa de circulação de ar (*Tecnal TE-394/3, Piracicaba, Brasil*) em temperatura de 60 °C durante 10 h.

4.2.2.2.2 Processamento das farinhas pré-gelatinizadas

As farinhas pré-gelatinizadas foram elaborados a partir de uma mistura de grãos quebrados de arroz, farelo de arroz e okara da soja preta (81:9:10), obtida em misturador homogeneizador tipo Y tipo Y (*Tecnal, TE 201/05, Piracicaba, Brasil*), durante 15 min. Avaliaram-se os efeitos os parâmetros de processamento variáveis (umidade da mistura e temperatura na terceira zona do extrusor) sobre o índice de absorção de água, índice de solubilidade em água, índice de absorção de óleo, propriedades viscoamilográficas e a força do gel das farinhas pré-gelatinizadas. Os valores codificados das variáveis independentes foram -1,41; -1; 0; 1 e 1,41, enquanto que os valores reais de temperatura de extrusão variaram entre 60 e 110 °C e de umidade entre 12 e 20 g.100 g⁻¹.

A mistura de coprodutos foi acondicionada em diferentes níveis de umidade, conforme os valores estipulados no planejamento experimental. A quantidade de água a ser adicionada às amostras foi calculada considerando-se a quantidade de mistura a ser extrusada e a sua umidade inicial (Equação 1).

A extrusão termoplástica foi realizada em extrusor com parafuso simples (*Inbramaq, PQ-30, Ribeirão Preto-SP, Brasil*). Os parâmetros de processamento fixos foram: rotação do motor de 250 rpm, abertura da matriz circular de 4 mm de diâmetro, pré-matriz com 22 orifícios, parafuso com três entradas de 30 cm de comprimento e taxa de compressão da rosca de 3:1, camisa helicoidal, taxa de alimentação de (335 g.min⁻¹); e temperatura na primeira e segunda zona de aquecimento de 40 °C e 60 °C, respectivamente. Após o processamento, os extrusados foram moídos em um moinho de facas (*Marconi, MA-090 CET, Piracicaba, Brasil*) com peneira de 30 *mesh*, para obtenção das farinhas pré-gelatinizadas. Análises físicas, químicas, tecnológicas e microscópicas das misturas cruas e farinhas pré-gelatinizadas sob diferentes condições de umidade e temperatura de extrusão foram realizadas.

4.2.2.2.3 Características físicas, químicas e micro-estruturais da mistura de coprodutos crua e das farinhas pré-gelatinizadas

A composição centesimal, o valor energético, o pH da mistura crua dos coprodutos de arroz e soja foram determinados no Laboratório de Aproveitamento de Subprodutos e Resíduos Agroindustriais, da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás (EA/UFG). As proteínas foram mensuradas por meio de método Kjeldahl para determinação do nitrogênio total convertido em proteína bruta pelo fator 6,25; o teor de lipídeos pelo método de Bligh-Dyer por extração a frio com clorofórmio, metanol e água na proporção de 1: 2: 0,8 (v/v); a umidade com a perda de massa da amostra sob aquecimento em estufa a 105 °C, até peso constante; o teor de cinzas por carbonização seguida de incineração completa em mufla a 550°C (IAL, 2008). A fibra bruta foi determinada pelo método de Scharrer e Kurschner, descrito por Angelucci et al. (1987), usando ácido nítrico, ácido tricloroacético e ácido acético para hidrólise. Os carboidratos foram calculados pelo método de diferença, com subtração de cem os valores de umidade, cinzas, proteínas e lipídeos (AOAC, 2010). O valor energético total foi estimado seguindo os valores de conversão de Atwater, em que se multiplicou o conteúdo de carboidrato (menos o teor de fibra bruta) e proteína por quatro e o de lipídeos por nove, os produtos somados constituíram o valor energético total (OSBORNE; VOOGT, 1978). A aferição do pH das amostras de coprodutos foi realizado a partir de potenciômetro digital (Hanna Instruments, HI9224, Singapore, China), conforme método oficial (IAL, 2008).

Micrografias da mistura crua e das farinhas pré-gelatinizadas, com aumentos entre 700, 900, 3000 x, foram obtidas no Laboratório Multiusuário de Microscopia de Alta Resolução, do Instituto de Física da Universidade Federal de Goiás (IF/UFG). Utilizou-se microscópio eletrônico de varredura (*Sputter Coater*, SCD 050, *Scotia*, USA). Após as amostras serem secas em estufa de circulação de ar a 60 °C por 24 h permaneceram em dessecador até o momento da análise. As amostras foram fixadas nos *stubs* de alumínio, com auxílio de fita dupla face e banhadas com filme de ouro de 15 nm de espessura.

4.2.2.2.4 Propriedades funcionais das farinhas pré-gelatinizadas e da mistura crua

Os índices de absorção de água (IAA) e de solubilidade em água (ISA) foram determinados segundo metodologia proposta por Anderson et al. (1969). Em um tubo de centrífuga, previamente tarado, colocou-se aproximadamente 2,5 g de amostra peneirada (60

mesh) e 30 mL de água destilada a 28°C. Os tubos permaneceram sob agitação em banho-maria a 28 °C por 30 minutos e em seguida, foram centrifugados em centrífuga (*Fanem, 204 NR, São Paulo, Brasil*) a 3000 G por 10 min. Do líquido sobrenadante foram cuidadosamente pipetados 10 mL e colocados em placa de petri, previamente taradas e levados a estufa a 105 °C até peso constante. Após esse período, o material foi resfriado em dessecador e pesado em balança analítica com precisão de 0,0001 g. A diferença do peso (g) foi multiplicada por três, sendo o valor obtido o do resíduo de evaporação. O líquido restante no tubo de centrífuga foi cuidadosamente descartado, o gel remanescente (resíduo de centrifugação) pesado e o IAA calculado conforme a Equação 4.

$$IAA = \frac{(PRC)}{PA - PRE} \quad (\text{Equação 4})$$

Na qual:

IAA= índice de absorção de água (g gel/g de matéria seca);

PRC= peso do resíduo da centrifugação (g);

PA= peso da amostra (g) (base seca);

PRE= peso do resíduo da evaporação (g).

A solubilidade em água foi calculada pela relação entre o peso do resíduo seco do sobrenadante (resíduo de evaporação) e o peso da amostra, conforme a equação 5.

$$ISA = \left\{ \left[\frac{(PRE)}{PA} \right] * 6 \right\} * 100 \quad (\text{Equação 5})$$

Na qual:

-1

ISA= índice de absorção de água (g.g);

PRE= peso do resíduo da evaporação (g);

PA= peso da amostra (g) (base seca);

Para determinação do índice de absorção de óleo (IAO) utilizou-se a metodologia proposta por Anderson et al. (1969) adaptada. A água foi substituída pelo óleo de soja. Após a centrifugação, o líquido sobrenadante de cada amostra foi descartado, deixando-se os tubos ligeiramente invertidos por 1 min. O IAO foi obtido pela relação entre a massa do resíduo centrifugado pelo peso da amostra em base seca (Equação 6).

$$IAO = \frac{(PRC)}{PA} \quad (\text{Equação 6})$$

Na qual:

IAO= índice de absorção em óleo (g gel/ g de matéria seca);

PRC= peso do resíduo da centrifugação (g);

PA= peso da amostra (g) (base seca).

As propriedades de pasta (viscosidade inicial, viscosidade máxima, quebra de viscosidade, viscosidade final e tendência a retrogradação) e a força do gel foram determinadas no Laboratório de Reologia do Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL), localizado em Campinas – SP. Para as propriedades viscoamilgráficas utilizou-se o Rapid Visco Analyser – RVA (*Perten Instruments, 4500, Warriewood, Austrália*), usando programa *Thermocline for Windows* versão 3. Foram pesados 5,0 g de amostra (corrigidos para 14% de umidade), que foi adicionada a 25 mL de água em copo especial de alumínio. A dispersão foi feita com o agitador acrílico próprio do aparelho. O conjunto copo/agitador foi acoplado ao aparelho e o teste iniciado pelo programa Extrusion 1. Os dados foram interpretados a partir dos gráficos fornecidos.

O gel obtido da análise de RVA foi transferido para um pote de alumínio de 2,5 cm de altura e 4,5 cm de diâmetro. Estes foram vedados com filme plástico de PVC transparente e armazenados a 5 °C por 18 h. Após, o recipiente contendo o gel foi deixado a temperatura ambiente por 1 hora. Realizaram-se as leituras de força do gel utilizando o analisador de textura TA.XT2i, (*Stable Micro Systems, Haslemere, Reino Unido*). Os parâmetros utilizados foram: probe cilíndrico de acrílico (P20), velocidade no teste: 1,0 mm.s⁻¹, velocidade no pré-teste: 0,5 mm.s⁻¹, velocidade no pós-teste 10,0 mm.s⁻¹, força de contato de 5 g e distância de 5 mm. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

4.2.2.2.5 Análise estatística

Utilizou-se delineamento central composto rotacional, com quatro pontos fatoriais, quatro axiais e três repetições no ponto central, totalizando onze experimentos (BOX; HUNTER; HUNTER, 1978). Os dados obtidos de índice de absorção de água, índice de solubilidade em água, índice de absorção em óleo, propriedades viscoamilgráficas e força do gel das farinhas pré-gelatinizadas foram avaliados por meio de análise de variância, com elaboração de modelos de regressão múltipla ajustados e construção de gráficos de superfície de resposta e curvas de nível para visualização do efeito das variáveis independentes sobre

variáveis dependentes a partir de auxílio do aplicativo Statistica 7.0 (*Statsoft, Statistica 7.0, Tulsa, USA*) e Statistica 7.0 (STATSOFT 2007). Todas as análises foram realizadas em triplicata. Enquanto que, para comparação da farinha crua com farinhas pré-gelatinizadas, obteve-se desvio-padrão e coeficiente de variação.

4.2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.2.3.1 Composição centesimal, valor energético e propriedades funcionais da mistura crua de coprodutos de arroz e soja

A mistura crua composta por grãos quebrados e farelo de arroz e okara da soja preta, possui a composição centesimal apresentada na Tabela 6. A quantidade de cinzas presente na mistura crua foi principalmente oriunda do farelo de arroz, que possui alto teor de cinzas (10,20 g.100 g⁻¹), enquanto que os grãos quebrados e o okara obtiveram 0,22 e 2,27 g.100 g⁻¹, respectivamente, sendo que esse teor de cinzas é variável de acordo características do coproduto e grau de contaminação com partes da casca e endosperma do grão no processo de beneficiamento (BASSINELLO; CASTRO, 2004). Tanto o farelo de arroz, quanto o okara da soja preta possuem alto teor de lipídeos, sendo assim, este foi repassado à mistura, apesar das pequenas proporções destes componentes na mistura. Segundo Hu et al. (2010), o teor lipídico da soja preta foi de 16,40 g.100g⁻¹, e segundo Pestana et al. (2008), o farelo de arroz possui entre 12,8 e 22,6 g.100g⁻¹ de lipídeos, enquanto que no presente trabalho, o teor da mistura de coprodutos de arroz e soja foi em teor menor do que encontrado para farelo de arroz e okara de soja, devido a grande quantidade de grãos quebrados de arroz na mistura destes coprodutos.

A mistura crua pode ser considerada rica em proteína. De acordo com a Agência de Vigilância Sanitária do Brasil (Anvisa), para um alimento ser considerado fonte de proteína e de fibras deve possuir no mínimo 6 g.100 g⁻¹ e 3 g.100 g⁻¹ dentro da porção diária recomendada, respectivamente. O okara de soja possui alto teor de proteínas segundo legislação vigente (BRASIL, 2012). Segundo Fernandes et al. (2000), em mistura de arroz e soja foi encontrado 13,65 g.100 g⁻¹ de proteínas, valor maior que o obtido no presente trabalho, provavelmente devido a diferenças dos cultivares de soja e arroz avaliados. Entretanto, esses autores utilizaram grãos inteiros, e neste estudo foram utilizados coprodutos, que possuem como vantagem menores custos que os grãos integrais.

Foi encontrado uma boa quantidade de carboidratos na mistura crua, sendo que foi um alimento energético particularmente digerível e segundo a tabela de composição centesimal de

alimentos (TACO, 2006), os coprodutos farelo de arroz, grãos quebrados do arroz e okara da soja preta possuem respectivamente 49,46; 79,57; 22,10 g.100⁻¹, devido ao fato de que maior parte da mistura crua consiste nos grãos quebrados do arroz e este contém maior quantidade de carboidratos e assim favoreceu que esta também tivesse mais que 70 g.100 g⁻¹ de carboidratos e conseqüentemente apresentasse o valor energético encontrado na Tabela 6.

O valor de IAA obtido neste estudo para mistura crua (Tabela 6) ficou dentro da faixa reportada por Trombini (2010), em que o objeto de análise foi uma mistura de fécula de mandioca e farelo de soja, onde se relatou que houve variações no IAA entre 2,35 e 2,92 g de gel (g de matéria seca)⁻¹. Esse mesmo autor encontrou valores de ISA entre 2,78 e 6,81%, maiores que os obtidos na presente pesquisa. Provavelmente, tal fato ocorreu devido maior teor de proteína proveniente do farelo de soja, visto que a maior parte das proteínas da soja são as globulinas, que são solúveis em água (WANG et al., 1999). No caso do okara, parte dessas proteínas já haviam se solubilizado no processo de obtenção do extrato hidrossolúvel.

Tabela 6. Composição centesimal, valor energético e índices de absorção em água e óleo, e índice de solubilidade em água da mistura crua de grãos quebrados e farelo de arroz e okara da soja preta (81:9:10), seguidos pelo desvio-padrão e coeficiente de variação

Componente/ Característica	Mistura crua ⁴
Umidade ¹	9,14 ± 0,09 (0,09)
Cinzas ¹	1,32 ± 0,04 (3,03)
Lipídeos ¹	4,55 ± 0,05 (1,16)
Proteína ¹	10,71 ± 0,63 (5,89)
Fibra Bruta ¹	1,52 ± 0,16 (10,53)
Carboidratos ¹	74,27
Valor energético ¹	373,67
Índice de Absorção de Água ²	2,84 ± 0,05 (1,72)
Índice de Solubilidade em Água ³	2,01± 0,06 (1,19)
Índice de Absorção em Óleo ²	4,85± 0,06 (3,10)

¹ g(100 g)⁻¹; ² g de gel (g de matéria seca)⁻¹; ³ (%); ⁴ Média, desvio-padrão e coeficiente de variação

A absorção de óleo de um alimento é proporcional à quantidade de sítios apolares das cadeias de proteínas responsáveis por aprisionar o óleo. Assim, o conteúdo e o tipo de proteína presente na farinha determinam sua capacidade de absorção de óleo (RAVI; SUSHELAMMA, 2005). A mistura crua apresentou níveis superiores de IAO (Tabela 6) quando comparada ao estudo de Zheng et al. (2007). Estes autores, pesquisando o farelo de arroz, que também é um alimento fonte de proteína, verificaram índices de absorção de óleo entre 1,2 a 1,418 g de gel (g de matéria seca)⁻¹.

As estruturas dos componentes da mistura foram visualizadas na microscopia eletrônica de varredura (Figura 9A), com partículas do endosperma dos grãos quebrados de arroz (seta sentido superior-inferior) e de okara de soja, cuja aparência, mais alongada, indica a presença de proteínas e fibras (seta sentido inferior-superior). Em um detalhe de maior ampliação, notou-se a presença de grânulos de amido imersos em uma matriz protéica (Figura 9B), típicos do endosperma dos grãos de arroz.

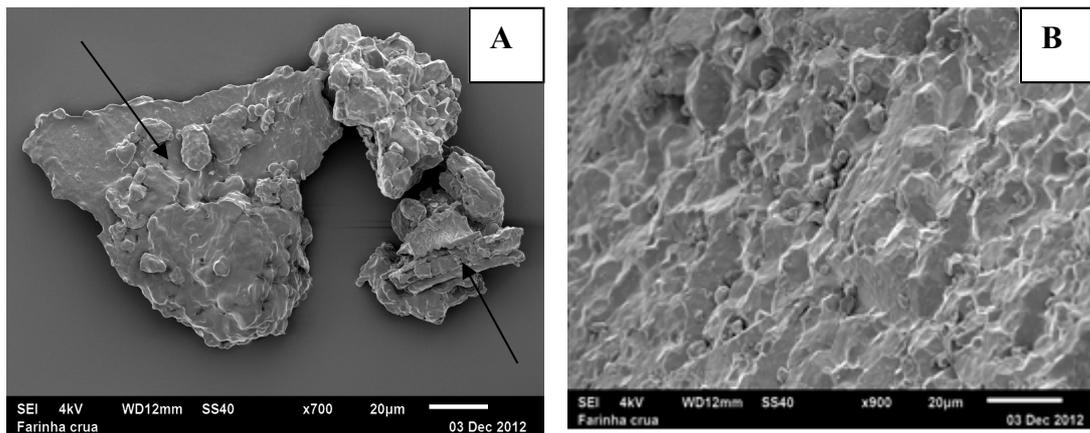


Figura 9. Farinha de coprodutos de arroz e okara crua com : (A) aproximação de 700x; (B) Farinha de coprodutos de arroz e okara crua com aproximação de 900x

4.2.3.2 Propriedades funcionais das farinhas pré-gelatinizadas

Índice de absorção de água

Em relação ao IAA, ocorreu oscilação percentual de 28% em função da umidade da mistura de coprodutos de arroz e soja e da temperatura de extrusão (Tabela 7). O IAA está relacionado aos grupos hidrofílicos (-OH) disponíveis nos grânulos de amido modificados pelo processamento, que podem se ligar às moléculas de água, resultando na formação de gel. Durante a extrusão os grânulos de amido sofrem gelatinização e as proteínas são desnaturadas (CARVALHO, 2000). Logo, a farinha pré-gelatinizada aumenta o IAA em relação à crua (Tabelas 6 e 7), ampliando suas possibilidades de aplicação em vários tipos de alimentos. A elevada absorção em água faz-se importante para manter a umidade em produtos de panificação ou cárneos, permitindo a adição de mais água à massa (JAMES; SLOAN, 1984).

O modelo ajustado para IAA foi significativo a 10% de probabilidade, explicando 70% das respostas, sendo significativos somente os efeitos linear e quadrático da temperatura ($p \leq 0,10$) (Tabela 8). A área do gráfico com valores máximos IAA (acima de $9,4 \text{ g gel.g}^{-1}$ de matéria seca) foi obtida com temperaturas entre 85 a $98,75 \text{ }^\circ\text{C}$ e independe da umidade.

Enquanto, a área do gráfico de menor região de IAA (abaixo de $7,8 \text{ g gel.g}^{-1}$ de matéria seca) foi verificada em temperatura de $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e independe da umidade (Figura 5 A e Anexo 4). Os maiores valores encontrados evidenciam alta capacidade de absorção de água e a mesma é desejável para o preparo de sopas, mingaus, sobremesas instantâneas, para os quais valores altos de IAA são importantes para auxiliar a manter a umidade destes, permitindo a adição de mais água à massa, melhorando suas características de manuseio (BECKER, 2010; WANG, 2006).

Índice de solubilidade em água

Os valores de ISA foram maiores após a extrusão (Tabela 7), e oscilaram entre 6,89 e $12,48 \text{ g.100g}^{-1}$, com variação percentual de 89% (Tabela 8), se mostrando fortemente dependentes da temperatura de extrusão e da umidade da mistura. Primeiramente, o ISA aumentou com a elevação da temperatura (efeito linear) e depois diminuiu ligeiramente (efeito quadrático). Já em relação à umidade, os valores de ISA somente aumentaram com a sua gradual elevação (efeito linear). O modelo ajustado para ISA foi significativo, explicando 89% das respostas. A área do gráfico com os valores mais altos de ISA (acima de 12%) situou-se em temperaturas entre $86,75^{\circ}\text{C}$ a $105,09 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e umidade de 12 a $12,19 \text{ g.100g}^{-1}$, enquanto que os menores valores (abaixo de 6%) em umidades maiores que $19,5 \text{ g.100g}^{-1}$ e temperaturas menores que $60,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (Figura 10B e Anexo 6).

O ISA é um indicativo da degradação de componentes moleculares como por exemplo, o grau de conversão do amido durante o processo, medindo a quantidade de polissacarídeos solúveis liberados das macromoléculas componentes do amido após o processo de extrusão, ou seja é um indicador de severidade do tratamento de extrusão (DING et al., 2005), o que explica o efeito quadrático da temperatura observado neste trabalho, além do efeito positivo e linear da umidade, que atua como lubrificante durante a extrusão, o que torna as condições de processo mais brandas. Os valores elevados de ISA foram obtidos com temperaturas, desde que as umidades fossem menores, que correspondem às farinhas pré-gelatinizadas mais dextrinizadas. Estas podem ser melhor empregadas em alimentos que requerem baixas temperaturas para serem preparados (instantâneos) ou como ingredientes para formulação de sopas, sobremesas e molhos, que necessitam de ingredientes com maior solubilidade em água (LEONEL; SOUZA; MISCHAN, 2010).

Tabela 7 - Propriedades funcionais das farinhas pré-gelatinizadas da mistura de grãos quebrados de arroz, farelo de arroz e okara de soja preta (81:9:10) obtidas em função da temperatura de extrusão e umidade da mistura

T ¹ (°C)	U ² (g.100g ⁻¹)	IAA ³ (g gel.g ⁻¹)	ISA ⁵ (% ¹)	IAO ⁴ (g gel.g ⁻¹)	Viscosidade Inicial (cP)	Viscosidade Final (cP)	Tendência a Retrogradação (cP)	Força do Gel (N)
67,3	13,16	8,81	11,01	2,51	3352	3106	2229	215
102,7	13,16	8,93	11,51	8,29	2840	3272	2290	189
67,3	18,84	8,45	7,51	2,39	1295	5812	4298	281
102,7	18,84	8,78	8,69	6,42	2637	5028	3741	318
60	16	7,52	6,89	2,58	615	4624	3236	193
110	16	9,54	10,77	7,18	3595	3661	2724	271
85	12	9,61	12,48	8,02	3008	3210	2357	225
85	20	8,96	8,64	6,13	2573	5456	4475	275
85	16	9,5	10,22	6,96	2049	4235	3206	302
85	16	9,57	9,41	7,57	2058	4333	3259	289
85	16	9,59	10,79	8,2	2068	4108	3109	276

¹Temperatura; ² Umidade; ³ Índice de Absorção de Água; ⁴ Índice de Absorção de Óleo; ⁵ Índice de Solubilidade em Água

Tabela 8 - Nível de significância dos efeitos linear, quadrático e interação entre temperatura e umidade, modelos ajustados e coeficiente de correlação para as propriedades funcionais das farinhas pré-gelatinizadas da mistura de grãos quebrados de arroz, farelo de arroz e okara de soja preta (81:9:10) obtidas em função da temperatura de extrusão (T) e umidade da mistura (U)

Propriedade Funcional	Nível de significância (p) obtido para cada efeito na ANOVA do modelo ajustado					Modelo ajustado	R ²
	T (L)	T (Q)	U (L)	U (Q)	T x U		
Índice de Absorção de Água	0,02	0,01	-	-	-	$y=9,39+0,41x_1-0,50x_1^2$	0,70
Índice de Solubilidade em Água	0,01	0,03	0,01	-	-	$y=10,33+0,90x_1-0,72x_1^2-1,47x_2$	0,89
Índice de Absorção de Óleo	0,001	0,011	-	-	-	$y=7,09+2,04x_1-1,47x_2$	0,83
Viscosidade inicial ou a frio	0,02	-	0,11	0,14	0,14	$y=299,1+630,7x_1-360,4x_2+376,0x_2^2+463,4x_1.x_2$	0,77
Viscosidade Final	0,03	-	0,01	-	-	$y=425,7-247,6x_1+956,6x_2$	0,93
Tendência a Retrogradação	0,01	0,04	0,01	0,08	0,03	$y=3191,8-152,9x_1-121,3x_1^2+815,6x_2+98,0x_2^2-164,5x_1.x_2$	0,99
Força do gel	0,17	0,06	0,01	0,16	-	$y=291,43+15,16x_1-7,22x_1^2+33,31x_2-18,52x_2^2$	0,78

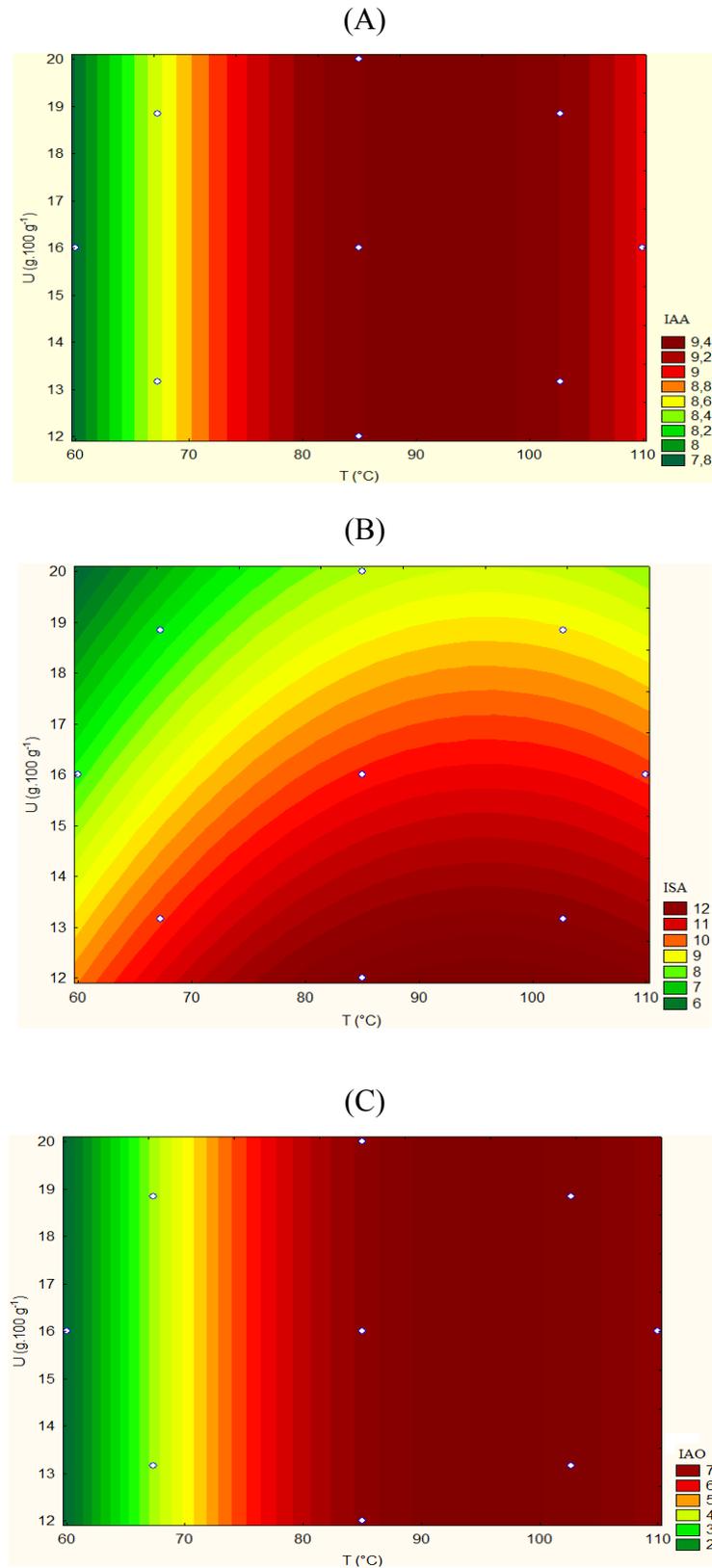


Figura 10. Índice de absorção (A), índice de absorção de óleo (B) e índice de solubilidade em água (C) de farinhas pré-gelatinizadas de grãos quebrados de arroz, farelo de arroz e okara de soja preta (81:9:10) em função da temperatura de extrusão (T) e umidade da mistura (U).

Índice de absorção de óleo

Os valores de IAO das misturas de coprodutos de arroz e soja foram maiores após o processamento (Tabelas 6 e 7). Em relação aos valores de IAO obtidos após a extrusão, houve variação de 247% (Tabela 7). O IAO mostrou-se fortemente dependente da temperatura e independe da umidade, com efeito linear e quadrático significativo (Tabela 8). O modelo ajustado para IAO também foi significativo, explicando 78% das respostas. A elevação da temperatura fez o IAO aumentar (efeito linear) e depois diminuir (efeito quadrático). De acordo Ravi e Sushelamma (2005), a absorção de óleo é definida como a capacidade de sítios apolares das cadeias de proteínas aprisionarem óleo, assim, o conteúdo e tipo de proteína presente na farinha determinam a capacidade de absorção de óleo dos alimentos. Segundo Alonso et al. (2000), as condições de extrusão, principalmente a temperatura, podem provocar alterações nas moléculas de proteína, provocando sua desnaturação e modificando a quantidade de sítios hidrofóbicos que reagem com os lipídeos do óleo de soja. A área de maior IAO (7g gel. 100 g⁻¹) foi observada entre temperatura de 89,47 °C a 106,49 °C, independente da umidade, enquanto que abaixo de 2 g gel. g⁻¹ com temperaturas menores que 60,1°C, independente da umidade (Figura 10C e Anexo 5) . Isso provavelmente ocorreu devido ao fato de que temperaturas mais baixas não geraram aumentos na capacidade de absorver óleo. No processo de extrusão, os grânulos de amido sofrem gelatinização e o balanço hidrofílico/hidrofóbico é alterado, modificando a absorção de óleo (LEORO, 2007).

Propriedades viscoamilográficas

No ensaio de extrusão as propriedades viscoamilográficas variaram entre 63 e 485%. A viscosidade máxima e a quebra de viscosidade obtiveram as menores oscilações (63 e 84%, respectivamente). A viscosidade final variou 87%, a tendência a retrogradação 101% e a viscosidade inicial 485%, registrando a maior variação percentual (Tabela 7). Os modelos de regressão foram significativos a 10% de probabilidade para viscosidade a frio, tendência à retrogradação e viscosidade final, explicando 77 a 99% das respostas. Enquanto que os modelos de viscosidade máxima e quebra de viscosidade não foram significativos, portanto a temperatura de extrusão e a umidade não afetaram estas propriedades (Tabela 8). Entretanto, as farinhas pré-gelatinizadas analisadas apresentaram alto pico de viscosidade e pode observar que houve estabilidade da pasta durante manutenção da temperatura a 95 °C e ação mecânica, o que favorece o uso deste ingrediente em alimentos pré-cozidos, uma vez que indica

indiretamente, a capacidade do produto se manter íntegro durante o cozimento (TEBA; ASCHERI; CARVALHO, 2009).

O menor valor obtido para viscosidade a frio foi 615 cP (Tabela 7), referente à menor temperatura do delineamento (60°C) e a umidade intermediária (16 g.100 g⁻¹), influência do efeito quadrático da umidade (P=0,11). Embora não significativos a 10% de probabilidade, os efeitos linear e quadrático da umidade, assim como a interação temperatura e umidade foram mantidos no modelo para melhor ajuste dos dados experimentais. No gráfico de curvas de nível gerado foi possível observar o efeito positivo da temperatura na terceira zona do extrusor. A área do gráfico com os maiores valores de viscosidade inicial ou a frio (acima de 3500 cp) foi observada em umidade até 12,1 g.100g⁻¹, mas não foi muito influenciada pela temperatura, enquanto a área de menor viscosidade inicial (abaixo de 1000 cp) entre 18,5 e 20 g.100 g⁻¹ de umidade e temperatura em torno de 60 °C (Figura 11A e Anexo 7). Provavelmente, elevados teores de umidade exercem efeito lubrificante no alimento durante o processo de extrusão, fazendo com que o amido sofresse menores taxas de esforço mecânico devido menor atrito que ocorre entre o parafuso e as paredes internas do tubo do extrusor, resultando assim, na formação de maiores cadeias moleculares de amilose e amilopectina e consequentemente em maiores índices de viscosidade inicial (SILVA; ASCHERI, 2009).

No início da marcha do RVA as farinhas pré-gelatinizadas de coprodutos de arroz e soja apresentaram alta viscosidade, se observando o aumento abrupto na viscosidade à temperatura ambiente (25 °C). Comportamento característico de farinhas extrusadas, que demonstra a quebra estrutural dos grânulos de amido (SILVA; ASCHERI, 2009). Portanto, na faixa de temperatura estudada no presente ensaio, quanto maior a temperatura de extrusão, mais intensa a desestruturação dos grânulos de amido, com conseqüente maior formação de gel e obtenção de maiores valores de viscosidade inicial. O que permite a utilização das farinhas pré-gelatinizadas de coprodutos de arroz e soja na elaboração de alimentos instantâneos sem a utilização do calor, como sobremesas pré-prontas, que vão diretamente para a geladeira (MOURA, 2011; BASTOS, 2012).

Os efeitos lineares negativo da temperatura de extrusão e positivo da umidade afetaram a viscosidade final das farinhas pré-gelatinizadas de coprodutos de arroz e soja (Tabela 8). A área do gráfico que apresentou os maiores valores de viscosidade final (acima de 5500 cp) foram observadas em temperaturas de extrusão abaixo de 86 °C e umidades acima de 18,8 g.100 g⁻¹, enquanto a menor região (abaixo de 3000 cp) foram observados em temperaturas acima de 76,64 °C e umidades abaixo de 13,3 g.100 g⁻¹ (Figura 11B).

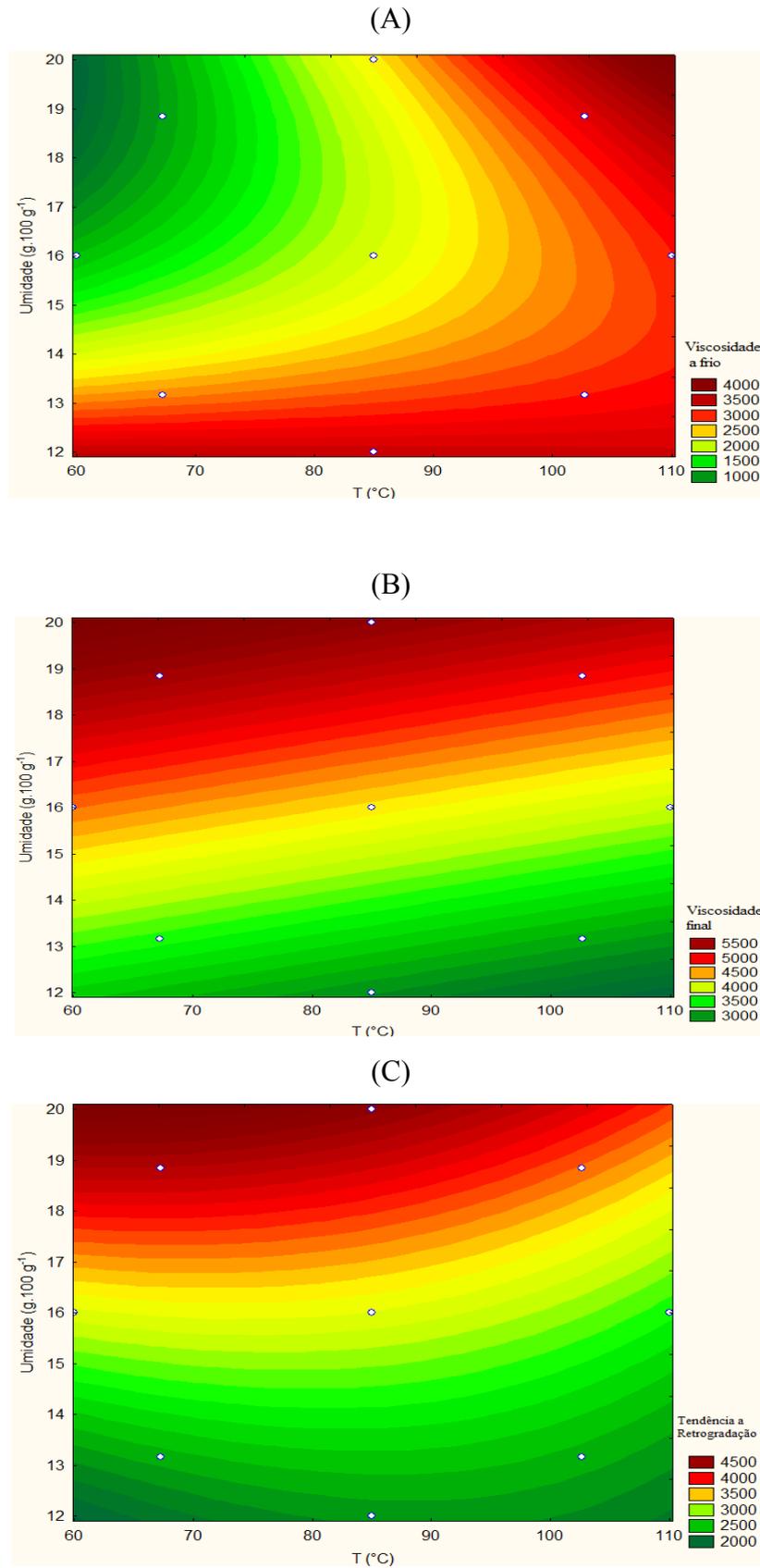


Figura 11. Viscosidade inicial ou a frio (A), viscosidade final (B) e tendência à retrogradação (C) das farinhas pré-gelatinizadas de coprodutos de arroz e soja em função do teor de umidade da matéria-prima e da temperatura de extrusão.

As menores temperaturas e maiores umidades são condições mais brandas de extrusão e resultam em menor degradação dos grânulos e conseqüentemente maiores viscosidades finais e tendência a retrogradação, visto que, segundo Silva et al. (2008), após o aquecimento, gelatinização e resfriamento do amido, o processo de retrogradação é fenômeno que ocorre por efeito da recristalização das moléculas de amilose e amilopectina, resultando na reorganização da estrutura molecular e, conseqüente aumento da viscosidade final durante o processo de resfriamento. Logo, farinhas pré-gelatinizadas obtidas por temperatura de extrusão mais brandas, levaram a alta viscosidade final, fornecendo assim, boa aplicabilidade deste tipo de farinha como ingrediente alimentício.

Os efeitos linear e quadrático da temperatura de extrusão, linear da umidade e a interação temperatura e umidade foram significativos para a tendência a retrogradação (Tabela 8). Os valores verificados de tendência a retrogradação seguiram o mesmo perfil observado para viscosidade final. A área do gráfico onde se verificaram os maiores valores (acima de 4500 cP) foram em temperaturas de extrusão abaixo de 87,54 °C e umidades abaixo de 19,22 g.100 g⁻¹, enquanto a menor região (abaixo de 2000 cP) foram independente da temperatura os menores em umidades abaixo de 13,5 g.100 g⁻¹, independente da temperatura de extrusão (Figura 11C).

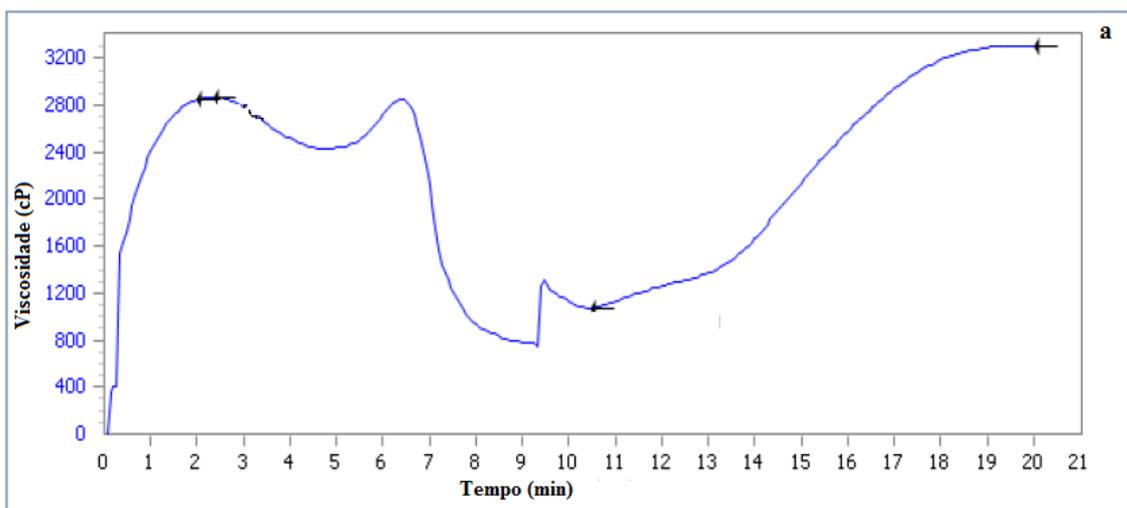
No estudo realizado por Becker (2010), a tendência a retrogradação da farinha de arroz variou de 1295,6 a 2775,9 cP e para estudo realizado por Trombini e Leonel (2010), a farinha de soja houve variação quanto a esse parâmetro de 101,25 a 169,16 cP. No presente trabalho, por ter empregado o processo de extrusão, ocorreram valores de retrogradação maiores que os citados, sendo que o valor máximo desta pesquisa (4298 cP) foi 54,83% maior que o estudo de arroz citado por Becker (2010) e também foi 2440,79% maior do que o estudo da soja citado por Trombini e Leonel (2010).

Foi possível observar que a queda de viscosidade ocorreu de forma intensa alterando bastante o comportamento de viscosidade após atingir a viscosidade máxima (Figura 12). Nos minutos iniciais houve aumento rápido da viscosidade de pasta da farinha pré-gelatinizada, sendo que o pico de viscosidade foi alcançado em torno de 6 min, que foi quando os grânulos de amido presentes na amostra começaram a intumescer aumentando mais a viscosidade, havendo sob temperatura de 95 °C constante e agitação uma quebra da viscosidade, devido ao rompimento dos grânulos, liberando amilose, com posterior estabilização da viscosidade de pasta entre 10 e 12 min.

Em relação aos viscoamilogramas da figura 12, observou-se que o perfil de viscosidade inicial da figura 12A apresentou características diferentes quanto a curvatura do

que na figura 12B, no geral os valores de viscosidade da figura 12B foram maiores do que na 12A. Essa diferença nítida entre o comportamento viscoamilográfico dos dois tratamentos ocorreu devido a diferença de condições de temperatura na terceira zona do extrusor e umidade das misturas, sendo condições mais brandas no tratamento 3 ocasionando maiores valores de viscosidade e mais drástica no tratamento, gerando assim valores mais baixos no perfil de viscosidade.

(A)



(B)

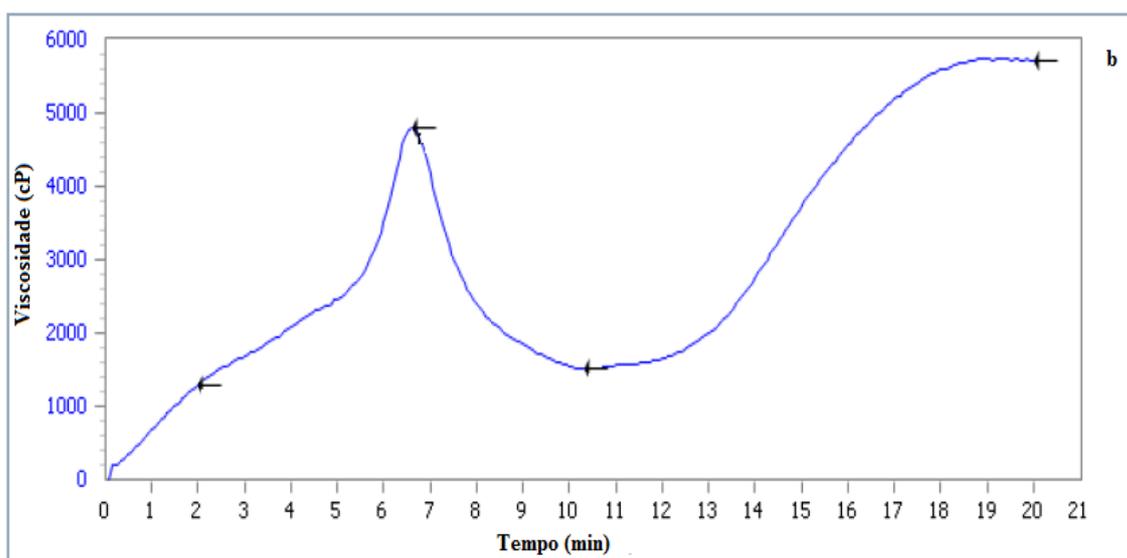


Figura 12- Perfil viscoamilográfico da farinha pré-gelatinizada: (A) do experimento 2 ($T= 102,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $U=13,16\text{ g.}100\text{ g}^{-1}$); (B) do experimento 3 ($T= 67,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $U= 18,84\text{ g.}100\text{ g}^{-1}$).

Em relação aos viscoamilogramas da figura 12, observou-se que o perfil de viscosidade inicial da figura 12A apresentou características diferentes quanto a curvatura do que na figura 12B, no geral os valores de viscosidade da figura 12B foram maiores do que na 12A. Essa diferença nítida entre o comportamento viscoamilográfico dos dois tratamentos ocorreu devido a diferença de condições de temperatura na terceira zona do extrusor e umidade das misturas, sendo condições mais brandas no tratamento 3 ocasionando maiores valores de viscosidade e mais drástica no tratamento, gerando assim valores mais baixos no perfil de viscosidade.

Diniz et al. (2008) obtiveram resultados de viscosidade do polvilho azedo e polvilho doce, e durante toda a análise a pasta de polvilho azedo se manteve menos viscosa e apresentando menor estabilidade à agitação e menor capacidade de retrogradação ou geleificação que as farinhas pré-gelatinizadas do presente trabalho. Onde observou-se que o perfil viscoamilográfico mostrou que mesmo sob agitação houve elevação da viscosidade, sendo assim, neste trabalho as farinhas pré-gelatinizadas apresentaram boa estabilidade sob agitação.

Força do gel

Os valores de força do gel variaram entre 189 e 319 N, com variação de 68% (Tabela 7) O modelo de regressão foi significativo, explicando 78% das respostas. O efeito linear da umidade foi significativo, enquanto que os demais efeitos, apesar de não serem significativos foram mantidos para melhorar o ajuste do modelo.

Os maiores resultados de força de gel foram apresentados de 16 a 20 g.100 g⁻¹ de umidade e a temperatura não sofreu forte influencia na força de gel, mas variou em maiores valores em certos pontos do gráfico entre 80 a 110 °C. O efeito da umidade é importante no parâmetro de textura para determinar a força do gel, sendo que as misturas com maiores umidades sofreram menos danos durante processo de extrusão, preservando características de boa textura, enquanto que o processo de extrusão realizado com misturas de menor umidade, sofrerá maior deterioração nos grânulos de amido e conseqüentemente provocará força do gel menor (SILVA; ASCHERI, 2009).

A força do gel apresentou maiores resultados (acima de 300 N) nas farinhas pré-gelatinizadas contendo condições de extrusão de umidade variando de 17,09 a 19,82 g.100 g⁻¹ e a temperatura na terceira zona do extrusor entre 83,67 a 92,23 °C, a condição de

umidade das misturas sofreu maior interferência nos valores de textura do que temperatura, pois a condição de umidade possuiu influência forte em relação ao produto farináceo.

A força de gel foi variada conforme os experimentos do delineamento analisados, porém observando pelo gráfico da Figura 14 (experimento 9), notou-se que o pico positivo variou um pouco acima de 200 g à 350 g e decaiu como era previsto. A aferição da força do gel determinou a textura da farinha pré-gelatinizada durante análise de 12 segundos.

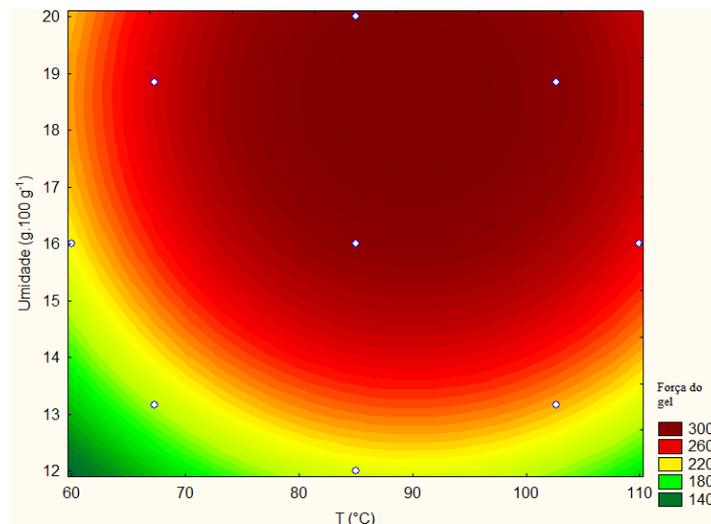


Figura 13. Força do gel (N) em função do teor de umidade da matéria-prima e da temperatura do extrusor

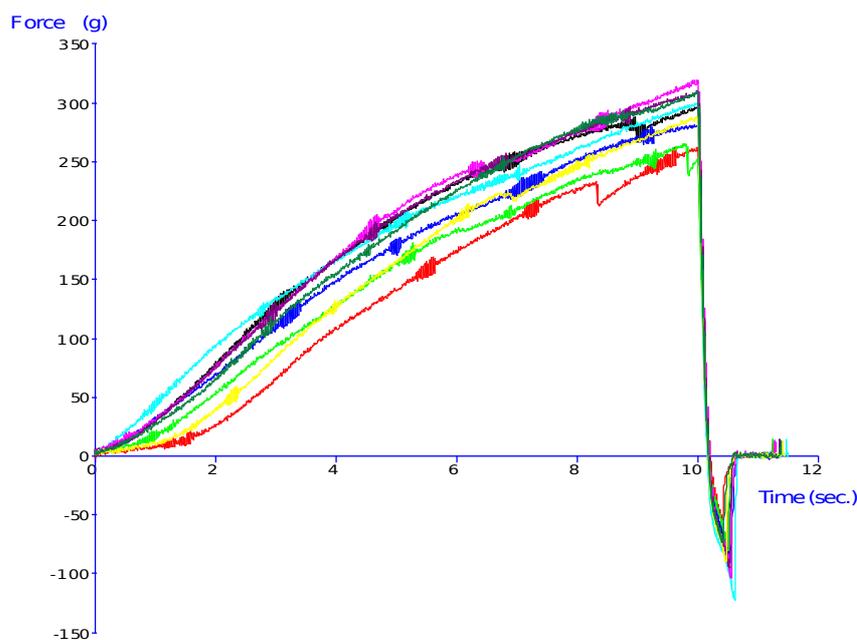


Figura 14. Gráfico de dados do texturômetro para força do gel. As curvas de diferentes áreas representa as repetições da análise do mesmo experimento (experimento 4).

4.2.3.3 Microscopia eletrônica de varredura

Pela análise das micrografias das farinhas pré-gelatinizadas verificou-se que a microestrutura do produto foi alterada pelo processo de extrusão (Figura 15). A aproximação das imagens que possibilitaram verificar grânulos de amido foi de 3000x.

O material extrusado possui superfície irregular, com partes lisas, partes estriadas e muitos orifícios formados devido à expansão do produto na saída do extrusor, vapor de água liberado pelo produto descompressão ocorrida no material, sendo que nas Figuras 6.3(j) e 6.3(l), observou-se com menor aproximação a presença dessa irregularidade das estruturas na farinha. A aproximação de 140x foi realizada apenas em amostra referente ao ponto central, devido ao fato de que a estruturação por aproximações menores foram bem similares entre todas as condições de extrusão para farinha pré-gelatinizada.

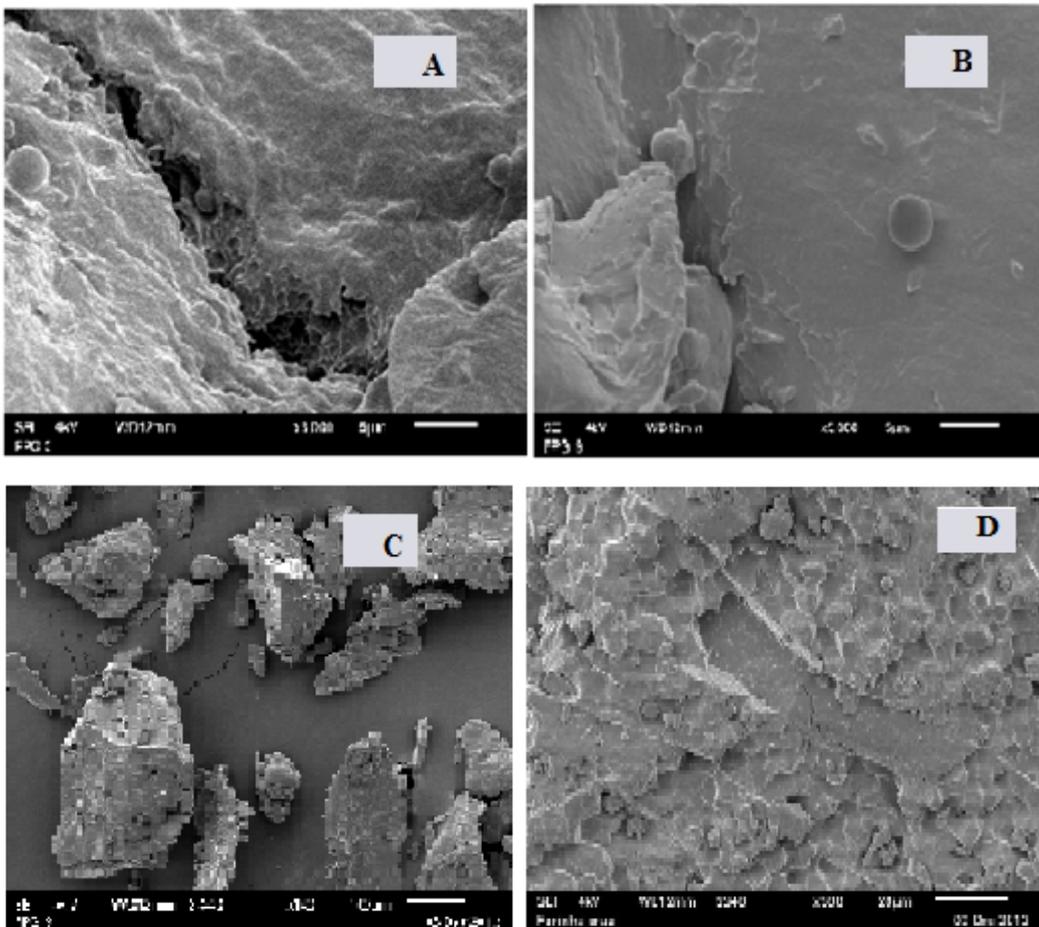


Figura 15 – Micrografias das farinhas pré-gelatinizadas (FPG) de coprodutos de arroz e soja. (A) FPG 3 ($T=67,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $U=18,84\text{ g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$) em ampliação de 3000 x; (B) FPG 9 ($T=85^{\circ}\text{C}$ e $U=16\text{ g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$) em 3000 x; (C) FPG 9 em 140 x; (D) Mistura crua em 900 x de aumento.

Observou-se na FPG 3 (temperatura da terceira zona do extrusor de 67,3 °C e umidade de 18,84 g.100 g⁻¹) ruptura da maioria dos grânulos de amido, mas ainda foi possível visualizar alguns grânulos ainda intactos ou com rupturas (Figura 15 A e Anexo 9). Em todo o delineamento experimental (Anexo 10) notou-se que quando as condições de misturas estavam em maiores umidades menores foram os danos proporcionados na estrutura amilácea. Também foi possível observar alguns grânulos de amido intactos na figura 10B que se trata de FPG do ponto central (temperatura de 85 °C e umidade de 16 g.100 g⁻¹).

Além de estrutura de amido, pode ser observado pela microscopia, devido ao okara de soja preta e farelo de arroz, também materiais não amiláceos, provavelmente fibras e proteínas que se encontravam aderidos entre si ou aos grânulos de amido. Observando figura 15D, notou-se uma estrutura heterogênea com grânulos de amido e estruturas proteicas, isso ocorreu na mistura crua e conseqüentemente fez também presente na farinha pré-gelatinizada. Após o processo de extrusão ocorreu ruptura dos grânulos de amido do material, indicando assim, a sua gelatinização e desnaturação de proteínas.

A partir da ruptura de pontes de hidrogênio destes constituintes, ocasionou-se alterações na solubilidade, viscosidade e teores de amilose e amilopectina, aumentando, de maneira geral, sua digestibilidade (DUST et al., 2004; SVIHUS; UHLEN; HARSTAD, 2005).

4.2.4 CONCLUSÃO

A variação da temperatura e umidade das misturas de coprodutos de arroz e soja no processo de extrusão ocasionaram influência sobre as propriedades funcionais das farinhas pré-gelatinizadas, proporcionando aumento no índice de absorção de água, índice de absorção de óleo, índice de solubilidade de água quando comparado com a mistura crua, isso significa que a farinha pré-gelatinizada possui aspectos tecnológicos viáveis e interessantes para serem utilizadas como ingredientes na indústria de alimentos.

O processo de extrusão em que empregou-se maiores umidades na mistura do delineamento experimental, geraram melhores resultados aos parâmetros de viscosidade, já que assim contribuiu para menor degradação do amido presente nas misturas de coprodutos de arroz e soja, ou seja, valores relativos a viscosidade inicial, pico de viscosidade, quebra de viscosidade, viscosidade final e tendência a retrogradação foram elevados em condições de menores temperaturas na terceira zona do extrusor e em condições de misturas de menores umidades.

Há possibilidade de uso de farinha pré-gelatinizada de coprodutos de arroz e soja preta, como produto instantâneo e variando-se as condições de extrusão obtém-se produtos mais adequados para diferentes tipos de aplicação em função da alteração das suas propriedades funcionais.

REFERÊNCIAS

ASCHERI, J. L. R. **Extrusão termoplástica de amidos e produtos amiláceos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA – CTAA, 1997. 43p.

ALONSO, R.; AGUIRRE, A.; MARZO, F. Effects of extrusion and traditional processing methods on antinutrients and in vitro digestibility of protein and starch in faba and kidney beans. **Food Chemistry**, Londres, v. 68, n. 2, p. 159-165. 2000.

ANDERSON, R. A.; CONWAY, H.F.; PFEIFER, V. F.; GRIF-FN, L. J. Gelatinization of corn grift by roll and extrusion cook. **Cereal Science Today**, Saint Paul, v. 14, n. 1, p. 4-11, 1969.

ANGELUCCI, E.; CARVALHO, L. R.; CARVALHO, N. R. P.; FIGUEIREDO, B. I.; MANTOVANI, B. M. D.; MORAES, M. R. **Análise química de alimentos**, Campinas: Edusp, 1987. 123p. (Manual Técnico).

AOAC - Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis of AOAC International**: Food composition, additives, natural contaminants. 19. ed. Gaithersburg: AOAC International, 2010.

BASSINELLO, P. Z.; CASTRO, E. M. Arroz como alimento. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 25, n. 222, p. 101-108, 2004.

BASTOS, G. M. **Resíduos da industrialização de batata: aplicação na produção de farinhas, snacks, farinhas pré-gelatinizadas e massa alimentícia fresca sem glúten**. 2012. 215 f. Dissertação – (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2012.

BECKER, F. S. **Caracterização de farinhas cruas e extrusadas obtidas a partir de grãos quebrados de diferentes genótipos de arroz**. 2010. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiania, Goiás, 2010.

BELLAVER, C.; SNIZEK JÚNIOR, P. N. **Processamento da soja e suas implicações na alimentação de suínos e aves**, 2011. Disponível em:< http://www.cnpsa.embrapa.br/sgc/sgc_publicacoes/publicacao_x5k97v3r.pdf>. Acesso em 10 jan. 2013.

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

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 and Sons. 1978. 296p.

BRASIL, Resolução RDC nº 54: **Regulamento técnico sobre informação nutricional complementar**, 12 de novembro de 2012. ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária), Brasília, 2012. Diário Oficial da União de 21 de agosto de 2006. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/630a98804d7065b981f1e1c116238c3b/Resolucao+RDC+n.+54_2012.pdf?MOD=AJPERES>. Acesso em: 20 fev. 2013.

BUSCH, S. E.; RIBEIRO, H. Responsabilidade socioambiental empresarial: revisão da literatura sobre conceitos. **Interfacehs – Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente**. São Paulo, v. 4, n. 2, p. 10-33, 2009.

CARVALHO, A. V.; VASCONCELOS, M. A. M.; SILVA, P. A.; ASSIS, G. T.; ASCHERI, J. L. R. Caracterização tecnológica de extrusados da terceira geração à base de farinhas de mandioca e pupunha. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 4, p. 995-1003, 2010.

CARVALHO, R. V. **Formulações de snacks de terceira geração por extrusão: caracterização texturométrica e microestrutural**. 89 f. Dissertação (mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

DING, Q-B.; 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**, London, v. 66, n. 2, p. 283-289, 2005.

DINIZ, I. P.; PIROZI, M. R.; GERMANI, R. **Comportamento reológico de polvilho azedo do Estado de Minas Gerais observadas em análise de RVA**. Viçosa: Departamento de Tecnologia de Alimentos da UFV, 2008, 4p.

DUST, J. M.; GAJDA, M. A.; FLINKINGER, A. E.; BURKHALTER, T. M.; MERCHEN, N. R.; FAHEY JR, G. C. Extrusion conditions affect chemical composition and in-vitro digestion of selected food ingredients. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 52, p. 2989-2996, 2004.

FERNANDES, S. M.; WANG, S.; CABRAL, L. C.; BORGES, J. T. B. Caracterização química de extratos hidrossolúveis de arroz e soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 4, p. 843-847, 2000.

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

HU, Y. G.; CHANGRONG, Y. W.; ZHU, R.; ZHANG, W.; DU, L.; XUE, J. Characterization of fermented black soybean natto inoculated with *Bacillus natto* during fermentation. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Oxford, v. 90, n. 7, p. 1194-1202, 2010.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4 ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 316 p.

JAMES, C.; SLOAN, S. Functional properties of edible rice bran in model systems. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 49, n. 1, p. 310-311, 1984.

KIM, H. J.; BAE, I.Y.; AHN, C.W, S.; LEE, H. G. Purification and identification of adipogenesisinhibitory peptide from black soybean protein hydrolysate. **Peptides**, Amsterdam, v. 28, p. 2098-2103, 2010.

LEONEL, M. SOUZA, L. B.; MISCHAN, M. M. Produção de *snacks* extrusados à base de polvilho doce e fibra de laranja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 6, p. 1411-1417, 2010.

LEORO, M. G. V. **Desenvolvimento de cereal matinal extrusado orgânico à base de farinha de milho e farelo de maracujá**. 2007. 147 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

LI, B; MEIYING, Q; LU, F. Composition, nutrition, and utilization of okara (Soybean Residue). **Food Reviews International**, New York, v. 28, n. 3, p. 231-252, 2012.

LUSTOSA, B. H. B.; LEONEL, M.; MISCHAN, M. M. Efeito de parâmetros operacionais na produção de biscoitos extrusados de farinha de mandioca. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 11, n. 1, p. 12-19, 2008.

MOURA, C. M. A. **Qualidade de farinhas pré-gelatinizadas e macarrões formulados com arroz (*Oryza sativa* L.) e linhaça (*Linum usitatissimum* L.)**. 2011. 178 f. Dissertação – (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.

OSBORNE, D. R.; VOOGT, P. **The analysis of nutrient in foods**. London: Academic Press, 1978. 251 p.

PESTANA, V. R.; ZAMBIAZI, R. C.; MENDONÇA, C. R.; BRUSCATTO, M. H.; LERMA-GARCIA, M. J.; RAMIS-RAMOS, G. Quality Changes and Tocopherols and γ -Orizanol Concentrations. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Champaign, v. 85, p.1013–1019, 2008.

RAVI, R; SUSELAMMA, N. S. Simultaneous optimization of a multy-response system by desirability function analysis of boondi making: A case study. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 70, p. S539-S547, 2005.

REGINATO-D'ARCE, M, A. B. Produtos proteicos de soja. In: OETTERER, M.; REGINATO-D'ARCE, Marisa A. B.; SPOTO, M. H. F. **Fundamentos de Ciência e Tecnologia de Alimentos**. São Paulo: Malone, p. 355-398. 2006.

SIDDIQ, M.; RAVI, R.; HARTE, J. B.; DOLAN, K. D. Physical and functional characteristics of selected dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flours. **LWT – Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 43, p. 232-237, 2009.

SILVA, R. F.; ASCHERI, J. L. R. Extrusão de quirera de arroz para uso como ingrediente alimentar. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 12, n. 3, p. 190-199, 2009.

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

SOARES, R. S.; VALADÃO JÚNIOR, V. M. As faces que a responsabilidade sócio-ambiental mostra e as que ela esconde. **Revista Alcance**, Biguaçu, v. 14, n. 3, p. 375-384, 2007.

SOARES JÚNIOR, M. S.; BASSINELLO, P. Z.; CALIARI, M.; VELASCO, P.; REIS, R. C.; CARVALHO, W. T. Bebidas saborizadas obtidas de extratos de quirera de arroz, de arroz integral e de soja. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 2, p. 407-413, 2010.

STATSOFT. **Statistica 7.0 for Windows** – Computer program manual. Tulsa: Statsoft, Inc., 2007. CD Room.

SVIHUS, B.; UHLEN, A. K.; HARSTAD, O. M. Effect of starch granule associated components and processing on nutritive value of cereal starch: a review. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 122, p. 303-320, 2005.

TACO. **Tabela brasileira de composição de alimentos**. 2. ed. Campinas: NEPA-UNICAMP, 2006. 113p.

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.; EL-DASH, A. A.; CARVALHO, C. W. P.; ASCHERI, J. L. R.; GERMANI, R.; MIGUEZ, M. Efeito da umidade e da temperatura no processamento de farinha de banana verde (*Musa acuminata*, Grupo AAA) por extrusão termoplástica. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Curitiba, v. 23, n. 2, p. 273-290, 2005.

TROMBINI, F. R. M. **Caracterização de produtos extrusados de misturas de farinha de soja, fécula e farelo de mandioca**. 2010. 100 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

TROMBINI, F. R.; LEONEL, M. Propriedades de pasta e térmicas de misturas instantâneas de farinha de soja, fécula e farelo de mandioca. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 25, n. 4, p. 50-71, 2010.

WALTER, M.; MARCHEZAN, E.; AVILA, L. A. Arroz: composição e características nutricionais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 4, p. 1184-1192, jul. 2008.

WANG, S.; CABRAL, L. C.; ARAÚJO, F. B.; MAIA, L. H. Características sensoriais de leites de soja reconstituídos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 3, p. 467-472, 1999.

WANG, S. H.; ROCHA, G. O.; NASCIMENTO, T. P.; ASCHERI, J. L. R. Absorção de água e propriedades espumantes de farinhas extrusadas de trigo e soja. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 2, p. 475-481, 2006.

ZHENG, L.; ZHENG, P.; SUN, Z.; BAI, Y.; WANG, J.; GUO, X. Production of vanillin from waste residue of rice bran oil by *Aspergillus niger* and *Pycnoporus cinnabarinus*. **Bioresource Technology**, New York, v. 98, n. 3, p.1115-1119, 2007.

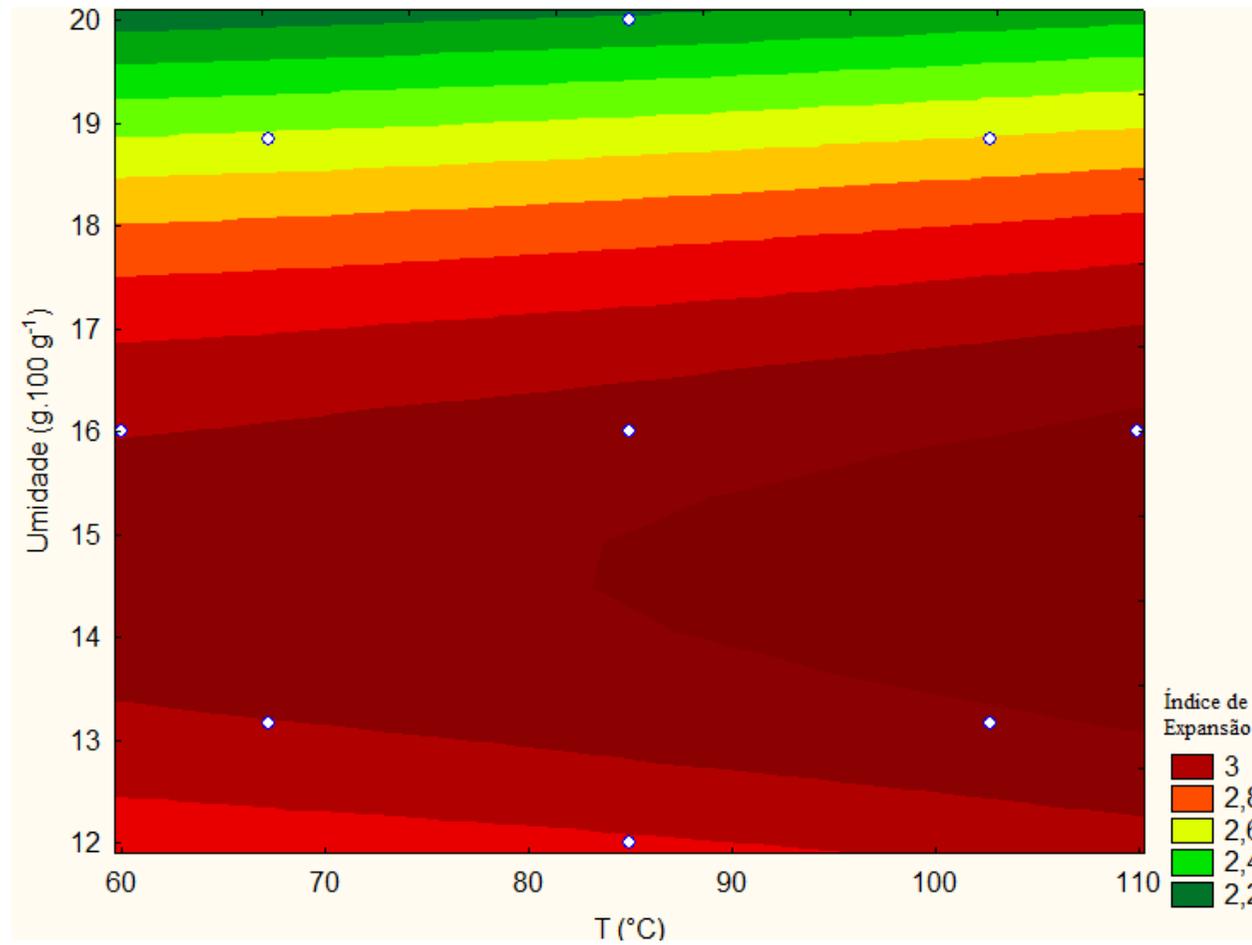
5 CONCLUSÃO GERAL

Os coprodutos grãos quebrados e farelo de arroz e okara da soja possuem aspectos nutricionais importantes para alimentação humana, sendo que o conteúdo lipídico e de proteínas do farelo de arroz e okara da soja e o alto teor de carboidratos dos grãos quebrados de arroz foram transferidos para os *snacks* e farinhas pré-gelatinizadas. Com isso, comprovou-se o interesse nutricional além do enfoque de sustentabilidade de utilização destes coprodutos, pois as indústrias têm aproveitado mais para ração animal e ainda pouco para consumo humano.

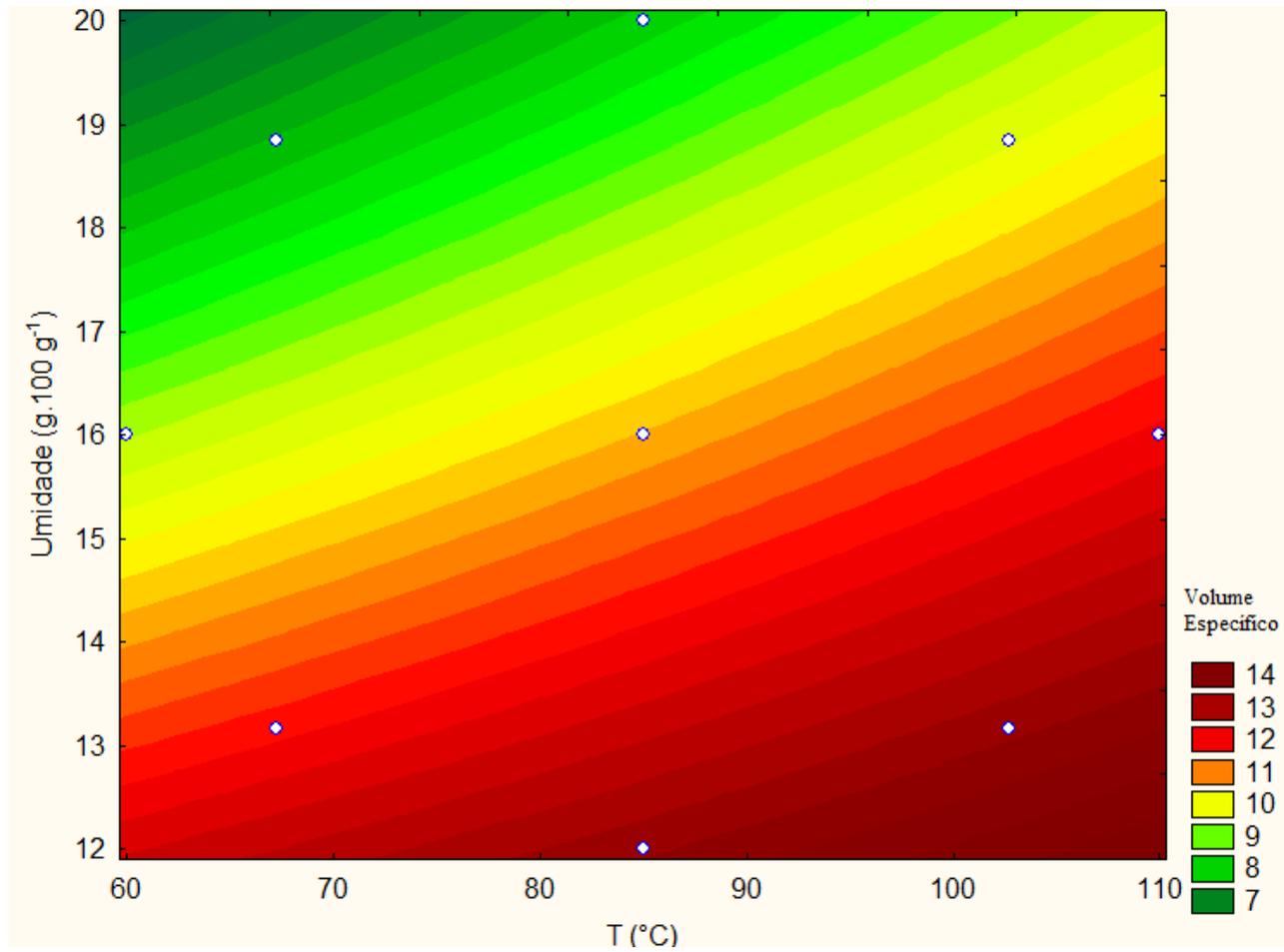
A expansão dos *snacks* elaborados com coprodutos de arroz e soja foi influenciada pelas condições de extrusão. O aumento de temperatura na terceira zona do extrusor e menores umidades das misturas, ocasionou a maior expansão e conseqüentemente melhores foram as características tecnológicas dos *snacks*. Estes produtos expandidos possuíram melhores características nutricionais em relação teor de proteínas e lipídeos do que os *snacks* de milho (tradicional no mercado) devido as características das matérias-primas em questão.

As características funcionais das farinhas pré-gelatinizadas obtidas também variaram com as condições de extrusão, mas no caso de aspectos de viscosidade, as farinhas que obtiveram viscosidade mais elevadas foram obtidas sob maiores percentuais de umidade, devido ao fato de que no processo de extrusão provavelmente ocorreu menor degradação de amido, devido às condições mais brandas de extrusão (efeito lubrificante da umidade). Enquanto que maiores capacidades de absorção e solubilidade em água da farinha pré-gelatinizada ocorreram com menores teores de umidade e maiores temperaturas. Os coprodutos de arroz e soja apresentaram viabilidade para produção de novos *snacks* e de novos ingredientes (farinhas pré-gelatinizadas) para a indústria de alimentos, com vantagens de possuir valor nutricional maior que os produtos tradicionais no mercado e menor custo em relação às matérias-primas que deram origem aos coprodutos.

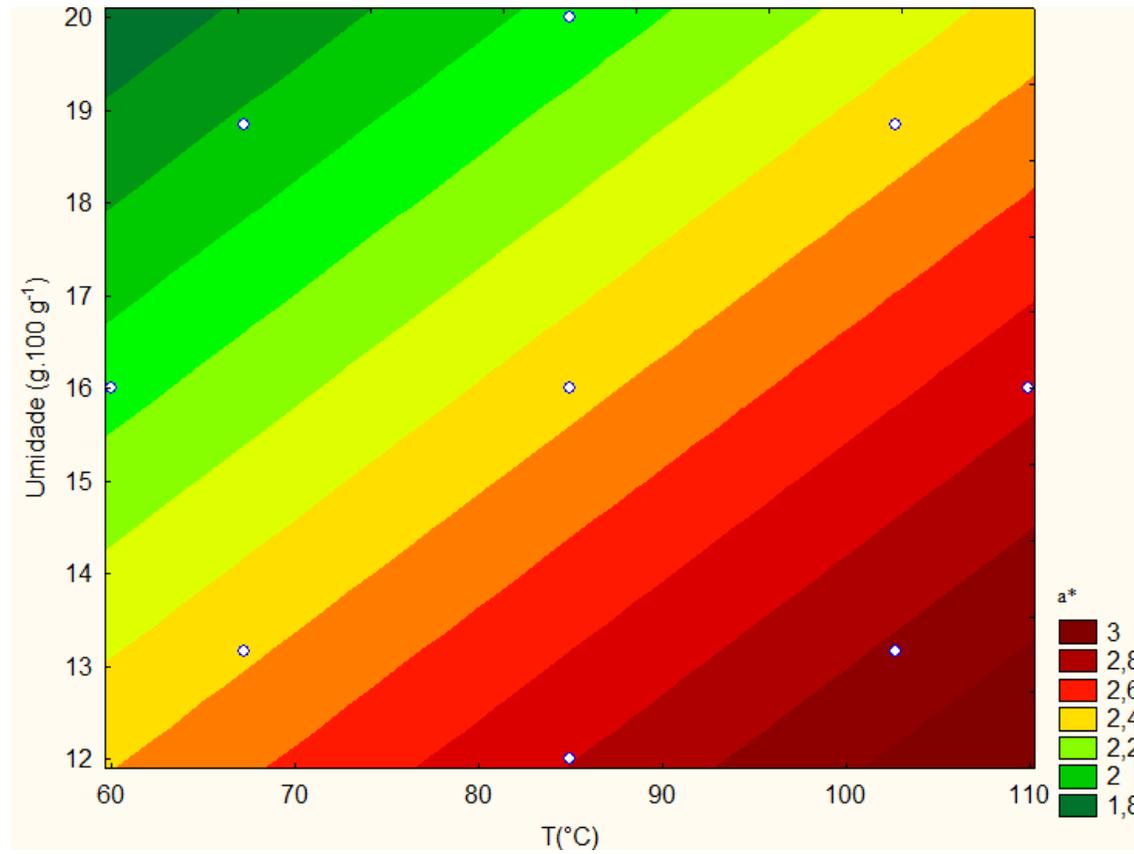
ANEXO 1. Índice de expansão das farinhas pré-gelatinizadas de coprodutos de arroz e soja em função da temperatura de extrusão e umidade da mistura



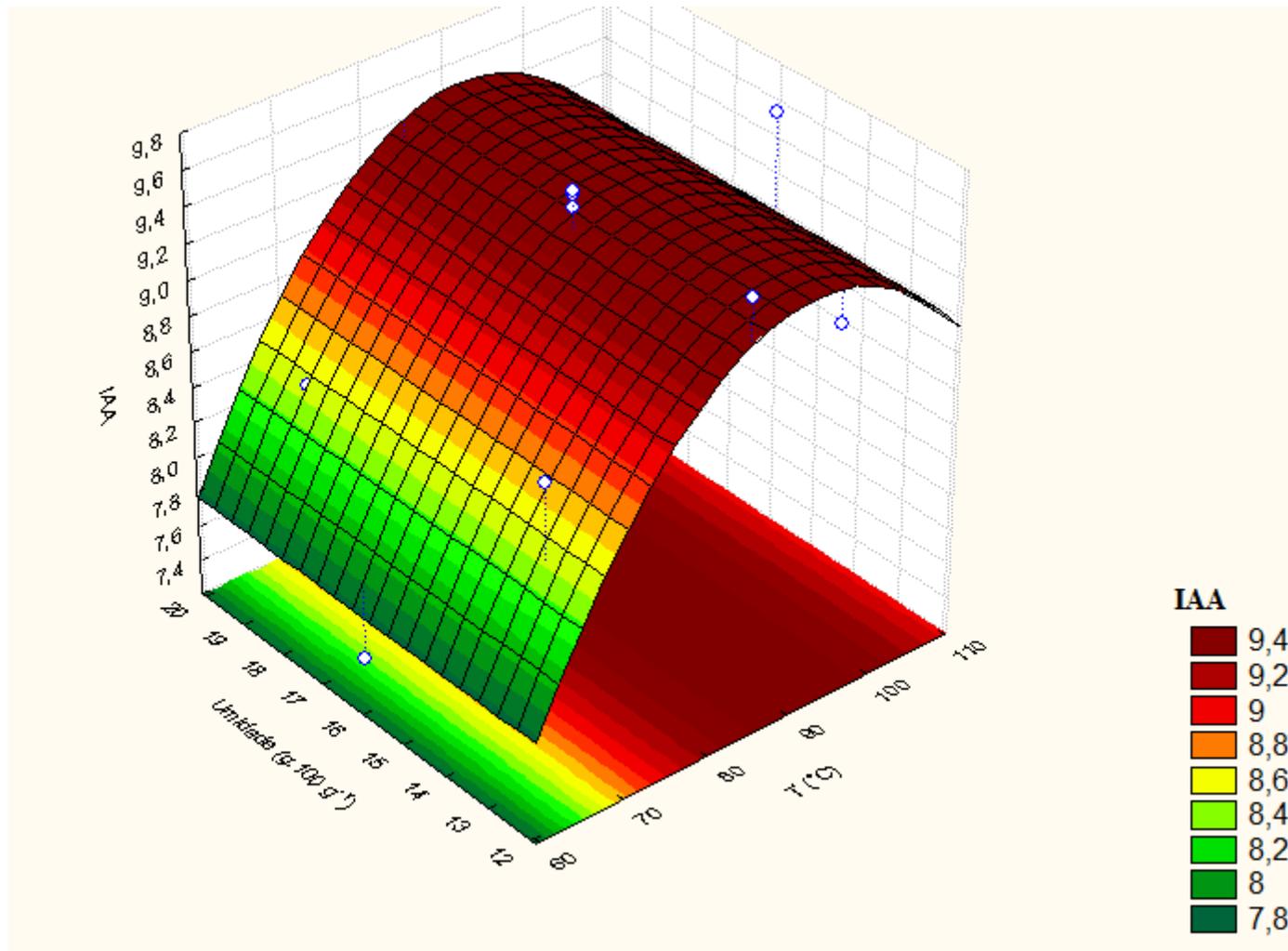
ANEXO 2. Volume específico (g.mL^{-1}) das farinhas pré-gelatinizadas de coprodutos de arroz e soja em função da temperatura de extrusão e umidade da mistura



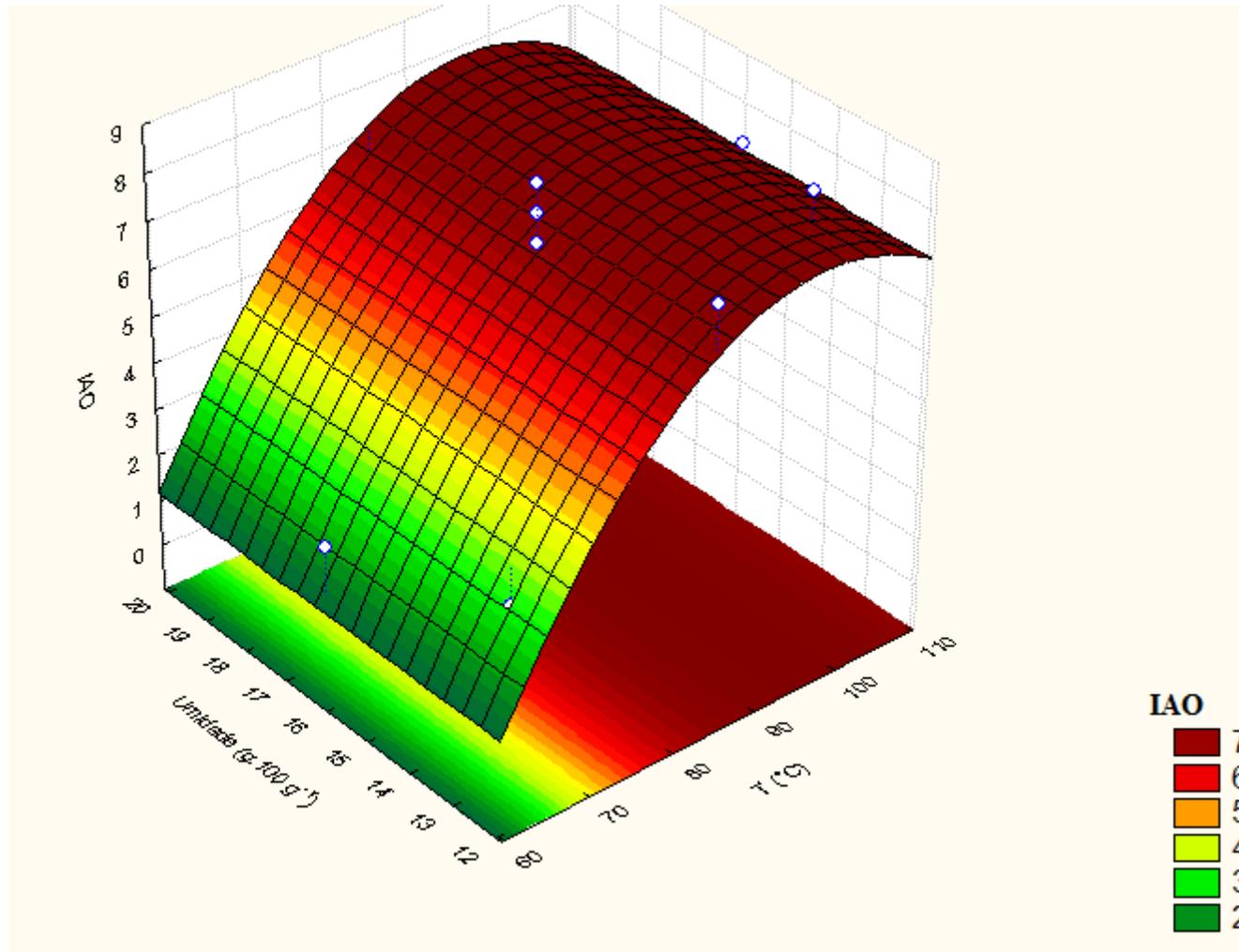
ANEXO 3. Coordenada de cromaticidade a^* das farinhas pré-gelatinizadas de coprodutos de arroz e soja em função da temperatura de extrusão e umidade da mistura



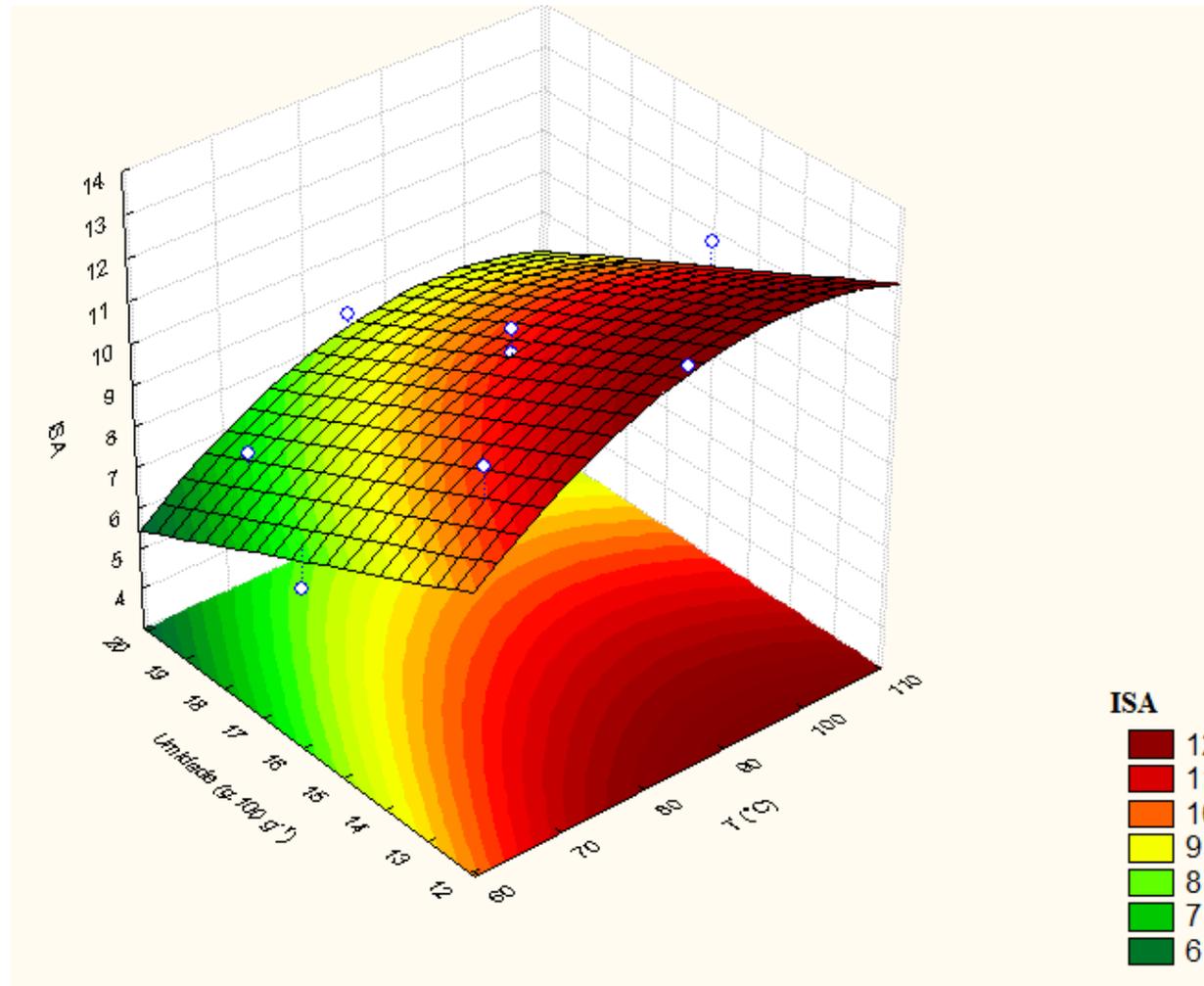
ANEXO 4. Índice de Absorção de Água (g gel. g⁻¹) das farinhas pré-gelatinizadas de coprodutos de arroz e soja em função da temperatura de extrusão e umidade da mistura



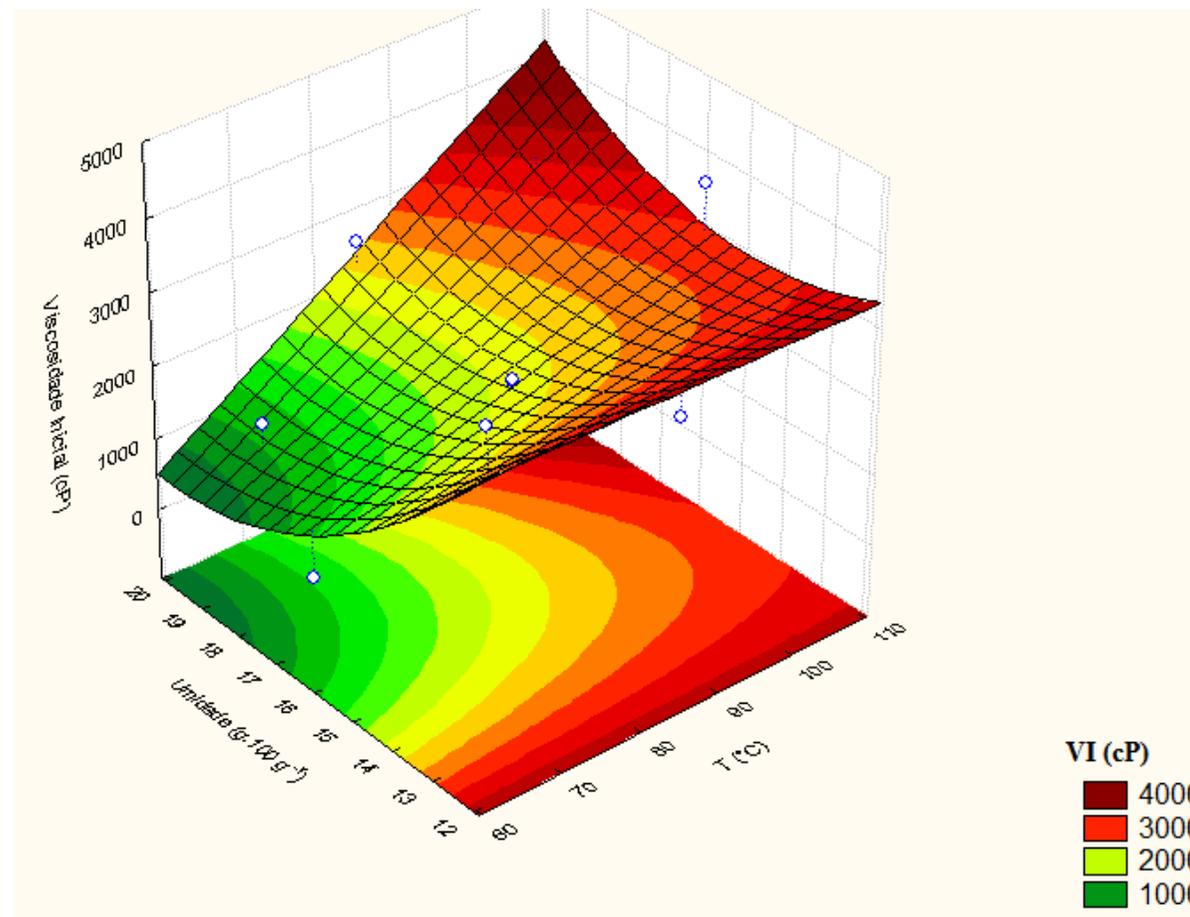
ANEXO 5. Índice de Absorção de Óleo (g gel. g^{-1}) das farinhas pré-gelatinizadas de coprodutos de arroz e soja em função da temperatura de extrusão e umidade da mistura



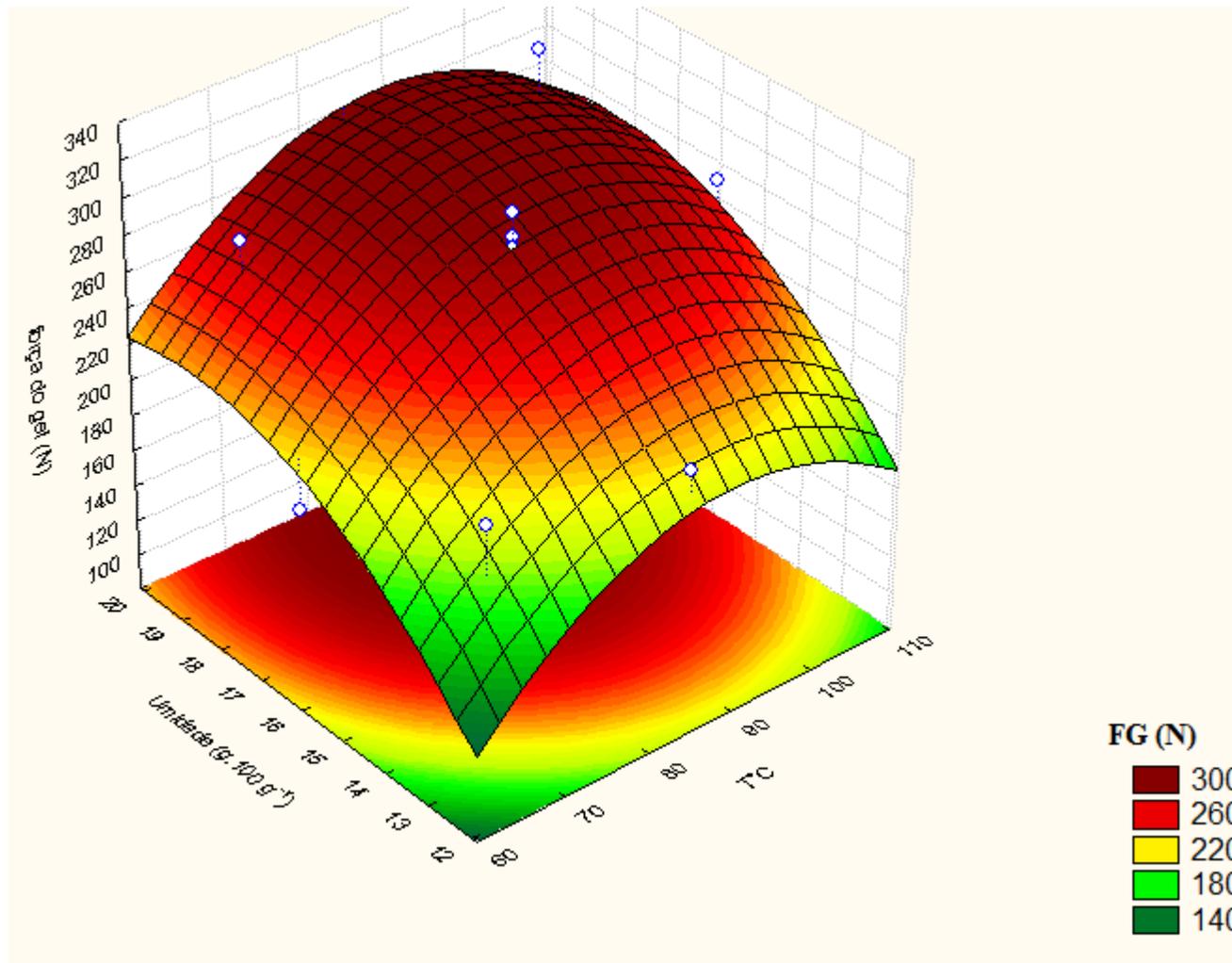
ANEXO 6. Índice de Solubilidade em Água (%) das farinhas pré-gelatinizadas de coprodutos de arroz e soja em função da temperatura de extrusão e umidade da mistura



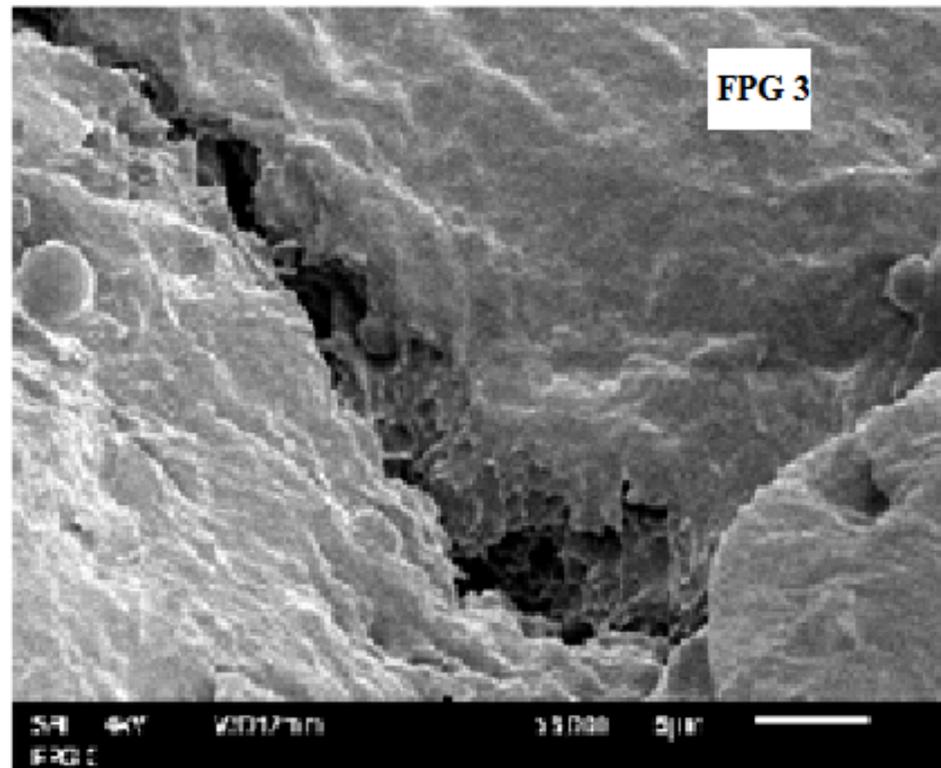
ANEXO 7. Viscosidade inicial (cP%) das farinhas pré-gelatinizadas de coprodutos de arroz e soja em função da temperatura de extrusão e umidade da mistura



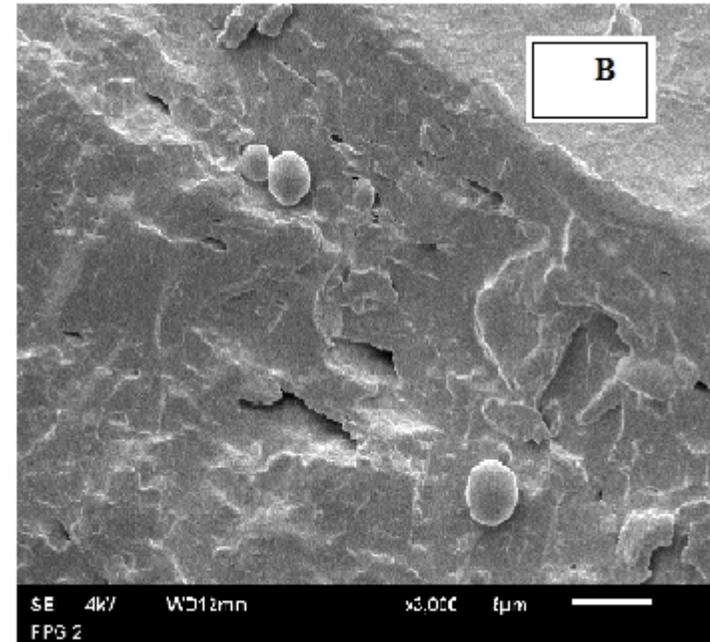
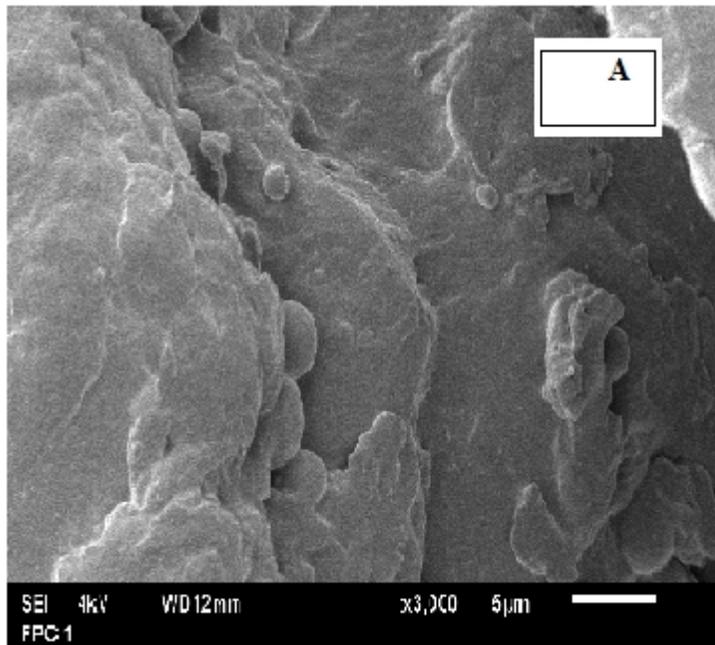
ANEXO 8. Força do gel (N) das farinhas pré-gelatinizadas de coprodutos de arroz e soja em função da temperatura de extrusão e umidade da mistura



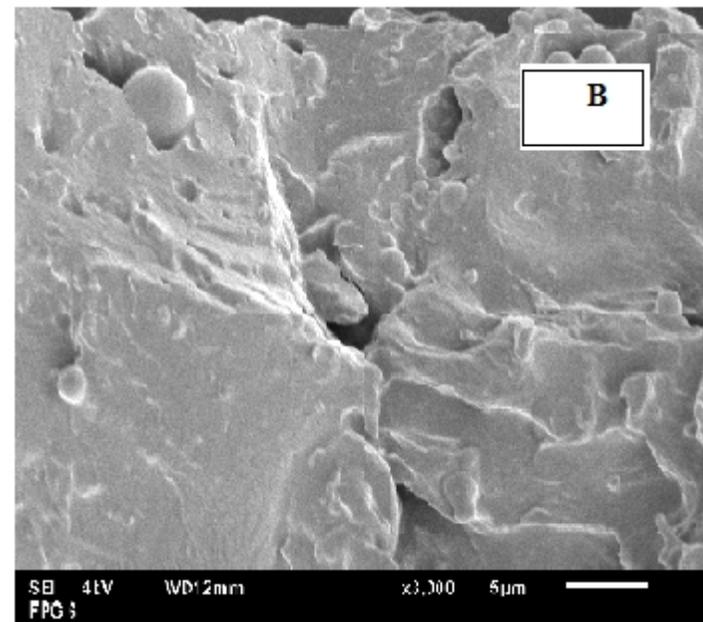
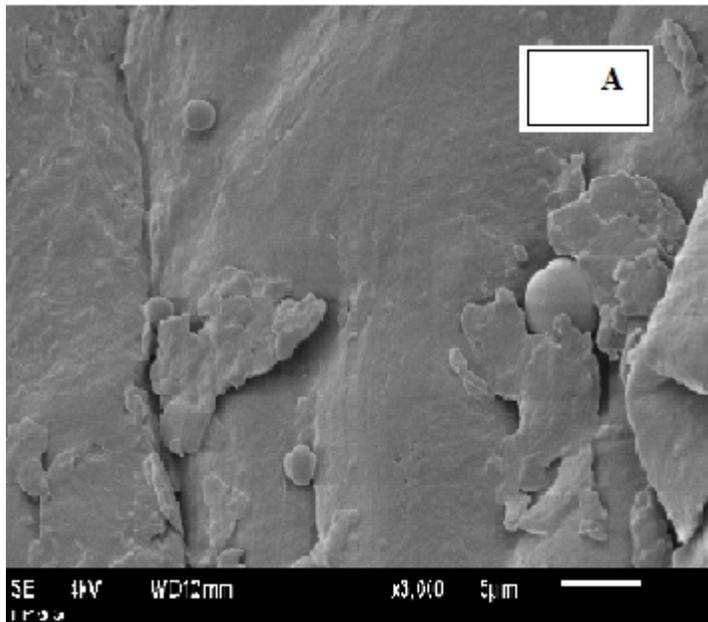
ANEXO 9. Microscopia da farinha pré-gelatinizada (FPG) 3 ($T= 67,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $U= 18,84\text{ g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$) de coprodutos de arroz e soja, em ampliação de 3000 x



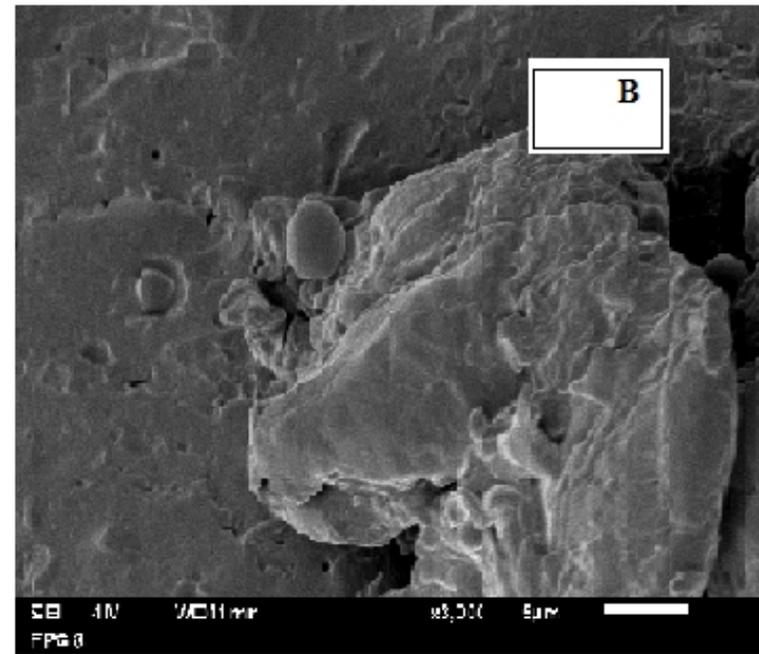
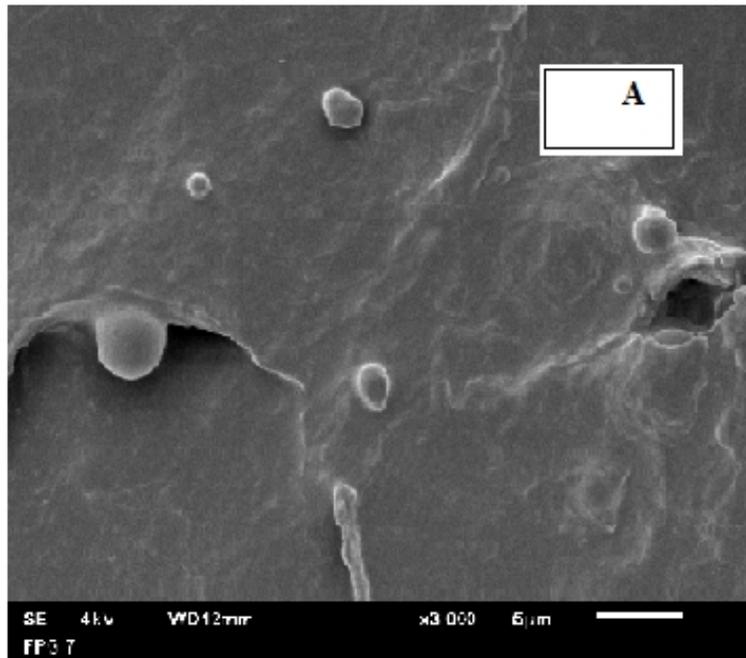
ANEXO 10. Micrografias das farinhas pré-gelatinizadas da multimistura de quirera de arroz, farelo de arroz e okara da soja preta – (a) Farinha pré-gelatinizada FPG 1 (T= 67,3 °C e U= 13,16 g.100 g⁻¹), (b) Farinha pré-gelatinizada FPG 2 (T=102,7 °C e U= 13,16 g.100 g⁻¹); imagens com magnitude de aumento de 3000x



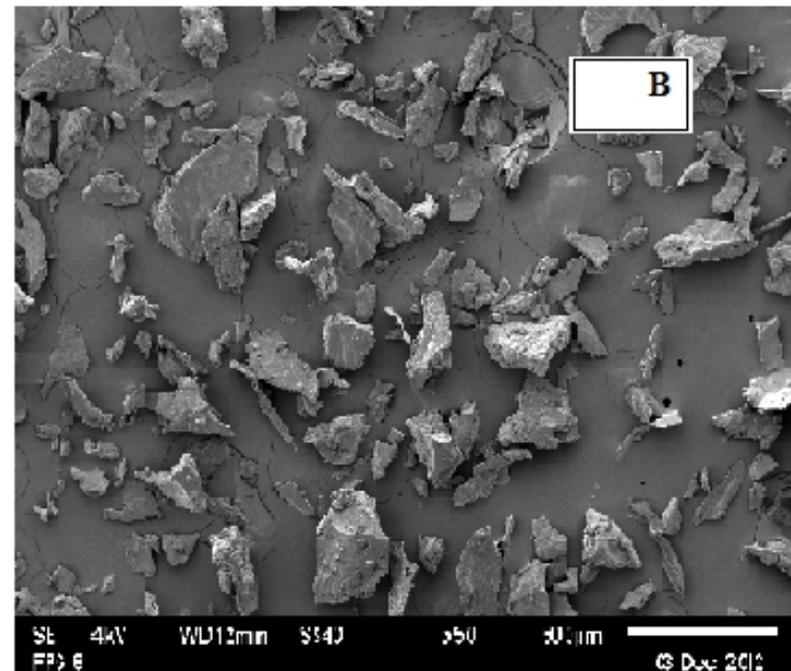
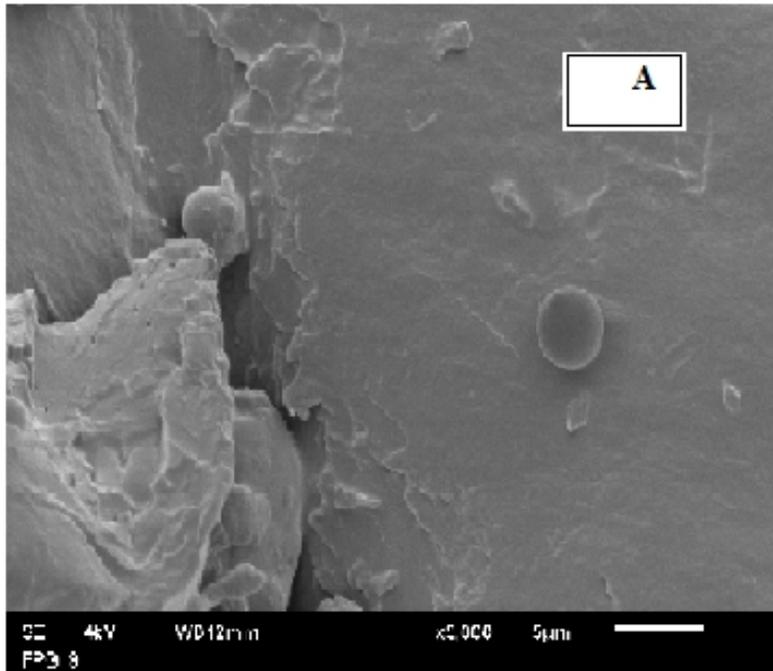
ANEXO 11. Micrografias das farinhas pré-gelatinizadas da multimistura de quirera de arroz, farelo de arroz e okara da soja preta – (A) Farinha pré-gelatinizada FPG 5 ($T= 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $U= 16\text{ g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$), (B) Farinha pré-gelatinizada (FPG) 6. ($T= 110\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $U= 16\text{ g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$); imagens com magnitude de aumento de 3000x.



ANEXO 12. Micrografias das farinhas pré-gelatinizadas da multimistura de quirera de arroz, farelo de arroz e okara da soja preta – (A) Farinha pré-gelatinizada (FPG) 7 ($T= 85\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $U= 12\text{ g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$), (B) Farinha pré-gelatinizada (FPG) 8 ($T= 85\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $U= 20\text{ g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$); imagens com magnitude de aumento de 3000x.



ANEXO 13. Micrografias das farinhas pré-gelatinizadas da multimistura de quirera de arroz, farelo de arroz e okara da soja preta – (A) Farinha pré-gelatinizada (FPG) 9 ($T= 85\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $U= 16\text{ g.100 g}^{-1}$) com aproximação de 3000x, (B) Farinha pré-gelatinizada (FPG) 9 ($T= 85\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $U= 16\text{ g.100 g}^{-1}$) com aproximação de 50x.



ANEXO 14. Micrografias das farinhas pré-gelatinizadas da multimistura de quirera de arroz, farelo de arroz e okara da soja preta – (A) Farinha pré-gelatinizada (FPG) 9 ($T= 85\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $U= 16\text{ g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$) com aproximação de 140x.

