UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOÍAS
ESCOLA DE AGRONOMIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

CAMILA MELO ARAÚJO DE MOURA

QUALIDADE DE FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS E MACARRÕES FORMULADOS COM ARROZ (*Oryza sativa* L.) E LINHAÇA (*Linum usitatissimun* L.)

Goiânia
2011

Termo de Ciência e de Autorização para Disponibilizar as Teses e Dissertações Eletrônicas (TEDE) na Biblioteca Digital da UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás–UFG a disponibilizar gratuitamente através da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações – BDTD/UFG, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: **[x] Dissertação** **[ ] Tese**

2. Identificação da Tese ou Dissertação

Autor(a): Camila Melo Araújo de Moura					
CPF:	00530367190	E-mail: cam_moura@yahoo.com.br			
Seu e-mail pode ser disponibilizado na página? [x]Sim [ ] Não					
Vínculo Empregatício do autor: bolsista					
Agência de fomento: CAPES				Sigla:	CAPES
País:	Brasil	UF: GO	CNPJ:		
Título: Qualidade de farinhas pré-gelatinizadas e macarrões formulados com arroz (*Oryza Sativa* L.) e linhaça (*Linum Usitatissimun* L.)					
Palavras-chave: grãos, subprodutos, extrusão, massas alimentícias, enriquecimento, propriedades tecnológicas.					
Título em outra língua: Quality of pre-gelatinized flours and pasta produce with rice (Oryza sativa L.) and flaxseed (Linum L. Usitatissimun)					
Palavras-chave em outra língua: : grains, pasta, extrusion, fortification, functional propriety					
Área de concentração: Ciência e tecnologia de alimentos					
Data defesa: **05/07/2011**					
Programa de Pós-Graduação: Ciência e Tecnologia de alimentos					
Orientador(a): Manoel Soares Soares Júnior					
CPF:	10587316888	E-mail: mssoaresjt@hotmail.com			
Co-orientador(a): Rosêngela Vera					
CPF:	359700651-53	E-mail: Rosangela.vera@uol.com.br			

3. Informações de acesso ao documento:

Liberação para disponibilização?[1] [X] total [ ] parcial

Em caso de disponibilização parcial, assinale as permissões:

[ ] Capítulos. Especifique: _____

[ ] Outras restrições: _____

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF ou DOC da tese ou dissertação.

O Sistema da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações garante aos autores, que os arquivos contendo eletronicamente as teses e ou dissertações, antes de sua disponibilização, receberão procedimentos de segurança, criptografia (para não permitir cópia e extração de conteúdo, permitindo apenas impressão fraca) usando o padrão do Acrobat.

_____ Data: ____ / ____ / _____

Assinatura do(a) autor(a)

[1] Em caso de restrição, esta poderá ser mantida por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Todo resumo e metadados ficarão sempre disponibilizados.

CAMILA MELO ARAÚJO DE MOURA

QUALIDADE DE FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS E MACARRÕES FORMULADOS COM ARROZ (*Oryza sativa* L.) E LINHAÇA (*Linum usitatissimun* L.)

Dissertação apresentada à Coordenação do Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia dos 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[a]. Dr[a]. Rosângela Vera

Goiânia
2011

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação na (CIP)
GPT/BC/UFG

Moura, Camila Melo Araújo.
Qualidade de farinhas pré-gelatinizadas e macarrões formulados com arroz **(O*ryza sativa L.*) e linhaça (L*inum usitatissimun L.*)** [manuscrito] / Camila Melo Araujo de Moura. - 2011.
xv, 176 f. : il., figs, tabs.

Orientador: Prof. Dr. Manoel Soares Soares Júnior; Co-orientadora: Prof[a] Dr[a] Rosângela Vera
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, 2011.
Bibliografia.
Inclui lista de figuras, abreviaturas, siglas e tabelas.
Apêndices.

1. Extrusão termoplástica 2. Massas alimentícias 3. Propriedades funcionais 4. Superfície de resposta 4. Delineamento de misturas I. Título.

UFG

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

CAMILA MELO ARAÚJO DE MOURA

QUALIDADE DE FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS E MACARRÕES FORMULADOS COM ARROZ E LINHAÇA

Dissertação DEFENDIDA e APROVADA em 05 de julho de 2011, pela Banca Examinadora constituída pelos membros:

Profª Drª Janaína Guernica Silva
Membro – Uni-BH

Prof. Dr. Flávio Alves da Silva
Membro – EA/UFG

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

Aos meus pais Sebastião e Fernanda, pelo amor e dedicação.
À minha irmã, Caroline, pelo apoio e por ter me dado
o meu bem mais precioso, meu amado afilhado Pedro.
Ao meu Coração, Felipe, por tornar meus dias inesquecíveis.

AGRADECIMENTOS

À Deus,

Por me conceder saúde e disposição para concluir mais esta etapa e pela oportunidade de ter conhecido e convivido com pessoas especiais que fizeram esta experiência inesquecível.

À Família, base de toda a minha existência.

Agradeço aos meus pais, Sebastião e Fernanda, por sua dedicação e apoio. Por sempre me oferecer o melhor e me apoiarem em meus sonhos. Essa vitória não é minha, é nossa! É por vocês e para vocês todas as minhas conquistas. Muito obrigada por serem os melhores! Amo muito vocês! A minha querida irmã Carol, sempre disposta a me ajudar, sem seu carinho, com certeza não seria o que sou hoje. Ao meu amado sobrinho Pedro, quase morri de tanta saudade neste período, mas é para você também meu ‘’Pipoco’’.

Ao meu amor;

Meu Coração mais amado do mundo todo, Felipe. Obrigada pela dedicação e paciência. Sem a sua presença, suas broncas, seus carinhos e seu cuidado com certeza não chegaria a este momento. Você é a melhor parte de mim.

Aos mestres;

Meu querido orientador, um verdadeiro mestre. Com você aprendi o maravilhoso mundo da tecnologia de alimentos. Espero ser aos meus futuros orientados o que você foi para mim. Obrigada pelo carinho, amizade e dedicação.

Ao Professor Márcio Caliari, com suas palavras certas nas horas certas, sempre nos trazendo paz e tranqüilidade

A Professora Maria Victória Eiras Grossman, por nos orientar nos tempo de UEL. Seus ensinamentos e ponderações foram fundamentais para a elaboração deste projeto.

A todos os professores do PPGCTA/UFG, pelos ensinamentos.

À amizade, aos amigos que a vida me deu.

Elisa e Lívia, vocês foram fundamentais para que eu pudesse realizar mais esta

conquista. Permitiram que eu realizasse os meus desejos, mesmo tendo que ter deixado os nossos. Muito obrigada pela amizade.

A melhor turma que já existiu na PPGCTA/UFG! Obrigada pela companhia nas madrugadas de estudo e nos momentos de descontração. Nossa união e empatia fizeram nossa turma ficar na memória deste programa. Vocês me ajudaram a conviver melhor com a distância da família, fiquem certos que ficarão sempre em minha memória!

Mas sempre temos alguns em especial para agradecer. Mara, super parceira. Obrigada por fazer companhia durante este período e por ter me cedido sua casa durante a fase final da dissertação. Marise, o maior exemplo. Quando crescer, quero ser como você. Com você aprendi o que significa perseverança e comprometimento. Fer, querida! Sua companhia foi fundamental durante este período, fizemos praticamente toda a nossa parte experimental juntas. Obrigada por sua paciência e amizade. Lu!! Amiga... vou sentir tanto a sua falta! Você disse que eu te ensinei as coisas boas da vida, mas você me ensinou o melhor, ter uma vida mais leve! Aprendi muito com você nestes últimos meses. E aos calouros também... Gil, Su, Lu, Gardênia, Fred! Obrigada pelo carinho e confiança.

Aos amigos da UEL, Alisson, Tati, Michele, Denis, Thiago, Karina, Neide, Rafa. Vocês fizeram a nossa estada muito mais divertida! Obrigada por nos receberem tão bem.

Às instituições

As empresas Cristal Alimentos e Vitao Alimentos pela doação da matéria-prima.

À FAPEG pela ajuda financeira através do projeto: “Aproveitamento de resíduos das agroindústrias de mandioca, arroz e feijão para a produção de alimentos de alto valor nutricional e funcional”. À CAPES pela ajuda financeira através do projeto (Edital Procad): “Aproveitamento alimentar de subprodutos e resíduos sólidos oriundos das agroindústrias de arroz, feijão e mandioca” em parceria com o Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos da Universidade Estadual de Londrina (PPGCA-UEL) e pela bolsa de mestrado.

À UFG pela oportunidade de concretizar este sonho.

Feliz aquele que transfere o
que sabe e aprende o que ensina.

Cora Coralina

RESUMO

Objetivou-se neste trabalho determinar a condição de extrusão mais adequada para produção de uma farinha pré-gelatinizada de arroz e linhaça desengordurada (80:20) para formulação de macarrão sem glúten. Foi elaborado um delineamento de misturas com diferentes mesclas de farinha pré-gelatinizada de arroz e linhaça, farinha de arroz e farinha de linhaça desengordurada e as características de cozimento (tempo ótimo de cozimento, aumento de massa, perda de sólidos) e perfil de textura (firmeza e pegajosidade) foram analisadas por meio de diagramas triangulares de mistura. Observou-se que a adição de 20 g de farinha de linhaça em 80 g de farinha de arroz elevou ($p \geq 0,05$) os valores de cinzas, proteínas, lipídios, fibra alimentar total, solúvel e insolúvel e diminuiu o valor energético total e de carboidratos digeríveis em relação à farinha de arroz. Ocorreu aumento do índice de solubilidade e absorção de água e capacidade de absorção de óleo após extrusão. Os maiores valores de índice de solubilidade [21,36 g $(100g)^{-1}$] e absorção de água [10,23 g de gel (g de matéria seca)$^{-1}$] e menores de capacidade de absorção em óleo [2,18 g de gel (g de matéria seca)$^{-1}$] foram encontrados nas maiores umidades e menores temperaturas de extrusão estudadas. Os parâmetros de cor também foram afetados pelas condições do processo, tornando as farinhas mais escuras (diminuição de L*), com maior tendência para os tons de vermelho e amarelo (aumento de a* e b*). As farinhas de arroz, de linhaça e mista de arroz e linhaça cruas diferiram entre si ($p \leq 0,05$) em relação às características viscoamilograficas. A adição da farinha de linhaça diminuiu o pico de viscosidade, a viscosidade final e a tendência à retrogradação da farinha mista de arroz e linhaça quando comparada com a farinha de arroz. As farinhas pré-gelatinizadas apresentaram um aumento na viscosidade a frio e na quebra de viscosidade, enquanto que houve uma diminuição no pico de viscosidade, viscosidade final e tendência à retrogradação quando comparadas com a farinha mista de arroz e linhaça crua, indicando que o processo de extrusão afeta as características de pasta das farinhas pré-gelatinizadas. A condição ideal para a produção da farinha pré-gelatinizada para a produção de macarrão é com temperatura de 111,3 ^{o}C e umidade de matéria-prima em 18,8 g $(100\ g)^{-1}$. Todas as formulações experimentais de macarrão se encontram dentro dos limites de qualidade para aumento de massa e perda de sólidos. Pelos parâmetros de qualidade de cozimento, observou-se que o macarrão mais desejável é aquele com teores intermediários de farinha pré-gelatinizada [43 g $(100g)^{-1}$], de arroz [47 g $(100g)^{-1}$], e de linhaça [10 g $(100g)^{-1}$], podendo este ser caracterizado com alimento fonte de fibras. Os resultados mostram a possibilidade de que nos alimentos que serão elaborados com arroz e linhaça, haver complementaridade dos seus componentes, fazendo deste produto um alimento de boa qualidade, do ponto de vista nutricional, pelo valor protéico e pela incorporação de fibras na dieta. As alterações ocorridas na farinha pré-gelatinizada indicam que o processo de extrusão pode ser utilizado em misturas de arroz e linhaça a fim de tornar viável sua utilização na indústria de alimentos por proporcionar alterações funcionais que são interessantes do ponto de vista tecnológico.

Palavras-chaves: grãos, subprodutos, extrusão, massas alimentícias, enriquecimento, propriedades tecnológicas.

ABSTRACT

The aim of this work was to determine the extrusion condition best suited for production of a meal pre-gelatinized rice and defatted flaxseed (80:20) for the formulation of gluten-free pasta. Was prepared a mixture design with different blends of flour pre-cooked rice and flaxseed, rice flour and defatted flax flour and cooking characteristics (optimum cooking time, increase in mass, cooking losses) and texture profile (firmness and stickiness) were analyzed by means of triangular diagrams mixing. It was observed that the addition of 20 g flaxseed flour to the 80 g rice flour increased ($p > 0.05$) values of ash, proteins, lipids, total dietary fiber, soluble and insoluble and decreased total energy and carbohydrate in relation to rice flour. There was an increase in solubility index and water absorption and oil absorption capacity after extrusion. The highest values of solubility index [21.36 g (100 g) $^{-1}$] and water absorption [10.23 g of gel (g dry mass) $^{-1}$] and lower oil absorption capacity [2.18 g of gel (g dry mass) $^{-1}$] were found in higher humidity and lower extrusion temperatures studied. The color parameters were also affected by process conditions, making the darker flour (decrease of L *), with a tendency to various shades of red and yellow (increased a * and b *). The rice flour, flax and mixed rice and raw linseed differed ($p < 0.05$) compared to the pasta characteristics. The addition of flaxseed meal decreased the peak viscosity, final viscosity and the tendency to retrogradation of rice – flaxseed blend compared with rice flour. The pre-gelatinized flours showed an increase in viscosity at cold and viscosity breakdown, while there was a decrease in viscosity peak, final viscosity and tendency to retrograde compared to rice – flaxseed blend, rice and flaxseed flour, indicating that the process extrusion affects the characteristics of the pre-gelatinized flour. The ideal condition for the production of pre-gelatinized flour for pasta production is at a temperature of 111.3 °C and humidity in 18.8 g (100 g) $^{-1}$. All experimental formulations of pasta are within the limits of quality for mass increase and loss of solids. By the quality parameters of cooking, it was observed that the pasta is more desirable one with intermediate levels of pre-gelatinized flour [43 g (100 g) $^{-1}$], rice [47 g (100 g) $^{-1}$], and linseed [10 g (100 g) $^{-1}$], which may be characterized as fiber source. The results show the possibility of using rice-flaxseed blend, making this product a good quality food, the nutritional point of view, the protein value and the incorporation of dietary fiber. The changes in pre-gelatinized flour indicate that the extrusion process can be used in mixture of rice and flaxseed in order to make feasible its use in the food industry by providing functional changes that interesting from a tecnhological standpoint

Key-words: grains, pasta, extrusion, fortification, functional propriety.

LISTA DE TABELAS

MATERIAIS E MÉTODOS

Tabela 1 Planejamento central composto rotacional com valores codificados e reais para umidade e temperatura de extrusão, com 11 experimentos, sendo 3 repetições no ponto central 43

Tabela 2 Concentrações máximas e mínimas estabelecidas das farinhas pré-gelatinizada, de arroz e de linhaça..... 49

Tabela 3 Planejamento experimental de misturas com os teores das farinhas pré-gelatinizdas, de arroz e de linhaça em valores reais e peseudocomponentes do planejamento experimental de mistura..... 49

ARTIGO 1

Tabela 1 Composição centesimal, em base seca, das farinhas de arroz (FA), farinha de linhaça (FL) e farinha mista de arroz e linhaça na proporção 80:20 (g/g)..... 64

Tabela 2 Índice de solubilidade em água (ISA), índice de absorção de água (IAA), capacidade de absorção de óleo (CAO), luminosidade (L^*) e coordenadas de cromaticidade a^* e b^* da farinha de arroz (FA), farinha de linhaça (FL) e farinha mista (FMAL) 67

ARTIGO 2

Tabela 1 Níveis reais e codificados da umidade (x_1) temperatura (x_1) de extrusão para obtenção das farinhas pré-gelatinizadas de arroz e linhaça (80: 20)..... 80

Tabela 2 Modelos de regressão ajustados, nível de significância (*p*) coeficiente de determinação (R^2), falta de ajuste (FAj) e o coeficiente de variação (CV) para índice de solubilidade em água (ISA), índice de absorção de água (IAA), capacidade de absorção de óleo (CAO), luminosidade (L^*), coordenadas de cromaticidade a^* e b* das farinhas pré-gelatinizadas em função da umidade da matéria-prima (x_1) e temperatura de extrusão (x_2)..... 82

ARTIGO 3

Tabela 1 Níveis reais e codificados da umidade (x_1) temperatura (x_1) de extrusão para obtenção das farinhas pré-gelatinizadas de arroz e linhaça (80: 20) 106

Tabela 2 Análise viscoamilográfica das farinhas cruas de arroz (FA), de linhaça (FL) e mista de arroz e linhaça (FMAL)..... 108

Tabela 3 Modelo de regressão ajustado, nível de significância (*p*), coeficiente de determinação (R^2), coeficiente de variação (CV) e falta de ajuste (FA) para pico de viscosidade a frio (PVF), pico de viscosidade a quente (PVQ), quebra de viscosidade (QV), viscosidade final (VF) e tendência à retrogradação (TR) das

farinhas pré-gelatinizadas em função da umidade da matéria-prima (x_1) e temperatura de extrusão (x_2) 109

ARTIGO 4

Tabela 1 Planejamento experimental de misturas com os teores de farinha pré-gelatinizdas, farinha de arroz e farinha de linhaça, em valores reais [g (100 g)$^{-1}$] e peseudocomponentes..... 131

Tabela 2 Modelos de regressão ajustados, nível de significância (p), coeficientes de regressão (R^2) e falta de ajuste (FA) para tempo ótimo de cozimento (TOC), aumento de massa (AM), perda de sólidos (PS), firmeza (FIR) e pegajosidade (PEG) dos macarrões experimentais em função das variáveis FPG (x_1), FA (x_2) e FL (x_3) 135

Tabela 3 Concentrações máximas e mínimas estabelecidas das farinhas pré-gelatinizada, de arroz e de linhaça..... 144

Tabela 4 Comparação das médias obtidas de tempo ótimo de cozimento (TOC), aumento de massa (AM) e perda de sólidos (PS), do macarrão experimental, macarrão de arroz e macarrão integral 146

LISTA DE FIGURAS

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Figura 1. Esquema simplificado de um extrusor mono-rosca 27

Figura 2. Exemplos de roscas (parafusos) inseridos no interior do extrusor, responsáveis pela taxa de cisalhamento 28

Figura 3. Zonas de alimentação, compressão e cocção 28

MATERIAIS E MÉTODOS

Figura 1. Extrusora de Laboratório Imbramaq, RXPQ Labor 24..... 42

Figura 2. Moagem dos extrusados para obtenção das farinhas pré-gelatinizadas 44

Figura 3. Equipamento para determinação de cor das farinhas cruas e pré-gelatinizadas..... 46

Figura 4. Mistura das farinhas: pré-gelatinizada de arroz e linhaça, arroz e linhaça 52

Figura 5. Adição de água a mistura de farinha para obtenção da massa 53

Figura 6. Abertura da massa..... 53

Figura 7. Corte da massa tipo talharim 54

Figura 8. Secagem das massas em estufa de circulação de ar a 45 ^{o}C 55

Figura 9. Tempo ótimo de cozimento dos macarrões tipo talharim 56

Figura 10. Análise de textura: teste de firmeza do macarrão 58

Figura 11. Análise de textura: teste de pegajosidade 58

ARTIGO 1

Figura 1 Aparência dos centrifugados formados pela FA, FL e FMAL, após determinação do IAA pela metodologia descrita por Anderson et al., 1969..... 68

Figura 2 Imagens obtidas através de microscopia eletrônica: a: farinha de arroz crua (200X); b: farinha de linhaça (200X); c: farinha de arroz (1600X) e d: farinha de linhaça (1600X)..... 71

ARTIGO 2

Figura 1 (A) Índice de solubilidade em Água (ISA); (B) Índice de Absorção de água (IAA) e (C) Capacidade de Absorção de óleo (CAO) das farinhas pré-gelatinizadas de arroz e linhaça em função da umidade da matéria-prima e temperatura de extrusão 85

Figura 2 Microscopia eletrônica de varredura (3000X) das amostras de farinhas pré-gelatinizadas de arroz e linhaça A: 68,3 ^{o}C e 18,8 g (100 g)$^{-1}$ e B: 111,3 ^{o}C e 18,8 g (100 g)$^{-1}$..... 86

Figura 3 Microscopia eletrônica de varredura (3000X) das amostras de farinhas pré-gelatinizadas de arroz e linhaça A: 68,3 ^{o}C e 13,2 g (100 g)$^{-1}$ e B: 111,3 ^{o}C e 13,2 g (100 g)$^{-1}$ 89

Figura 4 (A) Luminosidade (L*), (B) croma a*, (C) croma b* das farinhas pré-gelatinizadas de arroz e linhaça em função da umidade da matéria-prima e temperatura de extrusão..... 93

Figura 5 Microscopia eletrônica de varredura (200X) das amostras de farinhas pré-gelatinizadas de arroz e linhaça: A: 111,3 ^{o}C e 13,2 g (100 g)$^{-1}$; B: 90 ^{o}C e 20 g (100 g)$^{-1}$C: 90 ^{o}C e 16 g (100 g)$^{-1}$ 96

ARTIGO 3

Figura 1 (A) Pico de viscosidade a frio, (B) Pico de viscosidade a quente, (C) Quebra de viscosidade das farinhas mista de arroz e linhaça pré-gelatinizada em função da umidade da matéria-prima (x_1) e temperatura de extrusão (x_2) 113

Figura 2 Microscopia eletrônica de varredura (1600X) das amostras de farinhas pré-gelatinizadas de arroz e linhaça: A: Experimento 7 - 16 g (100 g)$^{-1}$ e 60 ^{o}C, B: Experimento 3: 111,3 ^{o}C e 13,2 g (100 g)$^{-1}$..... 114

Figura 3 (A) Viscosidade final, (B) Tendência à retrogradação das farinhas mistas de arroz e linhaça pré-gelatinizadas em função da umidade da matéria-prima (x_1) e temperatura de extrusão (x_2)..... 117

Figura 4 Curvas típicas de RVA de farinhas mistas de arroz e linhaça pré-gelatinizadas produzidas em diferentes condições de extrusão. (1) E1: 13,2 g (100 g)$^{-1}$ e 68,3 ^{o}C; (2) E2: 18,8 g (100 g)$^{-1}$ e 68,3 ^{o}C; (3) E3: 13,2 g (100 g)$^{-1}$ e 111,3 ^{o}C; (4) E4: 18,8 g (100 g)$^{-1}$ e 111,3 ^{o}C; (5) E5: 12 g (100 g)$^{-1}$ e 90 ^{o}C; (6) E6: 20 g (100 g)$^{-1}$ e 90 ^{o}C; (7) E7: 16 g (100 g)$^{-1}$ e 60 ^{o}C; (8) E8: 16 g (100 g)$^{-1}$ e 120 ^{o}C; (9) E9: 16 g (100 g)$^{-1}$ e 90 ^{o}C; (10) E10: 16 g (100 g)$^{-1}$ e 90 ^{o}C e (11) E11: 16 g (100 g)$^{-1}$ e 90 ^{o}C 119

Figura 5 Teste de desejabilidade utilizando as características de pasta de farinhas pré-gelatinizadas de arroz e linhaça para aplicação como ingrediente de sopas e mingaus instantâneos 120

Figura 6 Teste de desejabilidade utilizando as características de pasta de farinhas pré-gelatinizadas de arroz e linhaça para aplicação como ingrediente de bebidas instantâneas..... 121

ARTIGO 4

Figura 1 Aparência dos macarrões produzidos mesclas de farinha pré-gelatinizada de arroz e linhaça, farinha de arroz e farinha de linhaça. 1 (0,5; 0,4; 0,1), 2 (0,35; 0,6; 0,05), 3 (0,5; 0,45; 0,05), 4 (0,45; 0,4; 0,15), 5 (0,35; 0,05; 0,15); 6 (0,43; 0,47; 0,10), 7 (0,43; 0,47; 0,10), 8(0,43; 0,47; 0,10)..... 136

Figura 2 Curvas de nível obtidas pelo modelo experimental (em termos de pseudocomponentes) para A: Tempo ótimo de cozimento (TOC), B: Aumento de massa (AM) e C: Perda de sólidos em água (PS). Área demarcada entre os pontos experimentais demonstra a região passível de ser analisada..... 137

Figura 3 Curvas de nível obtidas pelo modelo experimental (em termos de pseudocomponentes) para A: Firmeza (FIR), B: Pegajosidade (PEG). Área demarcada entre os pontos experimentais demonstra a região passível de ser analisada 143

Figura 4 Microscopia da superfície dos macarrões tipo talharim A: formulação 6, B: formulação 4, na magnitude 3000X. 144

Figura 5 Teste de desejabilidade utilizando parâmetros de tempo ótimo de cozimento, aumento de massa e perda de sólidos na água 146

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1	Determinação da quantidade de água a ser adicionada para ajuste da umidade da farinha	43
Equação 2	Polinômio quadrático geral para a determinação dos efeito das variáveis independentes nas variáveis respostas.....	43
Equação 3	Determinação do índice de absorção de água.....	45
Equação 4	Determinação do índice de solubilidade em água	46
Equação 5	Determinação da capacidade de absorção de óleo	47
Equação 6	Teor do componente em peseudocomponentes	50
Equação 7	Concentração em termos de pseudocomponentes da farinha pré-gelatinizada de arroz e linhaça.....	50
Equação 8	Concentração em termos de pseudocomponentes da farinha de arroz	50
Equação 9	Concentração em termos de pseudocomponentes da farinha de linhaça	50
Equação 10	Equação polinomial – modelo linear	51
Equação 11	Equação polinomial – modelo quadrático	51

LISTA DE SIGLAS

AACC	American Association of Cereal Chemists
AOAC	Association of Official Analytical Chemists
FA	Farinha de arroz
FL	Farinha de linhaça
FMAL	Farinha mista de arroz e linhaça
FPG	Farinha pré-gelatinizada de arroz e linhaça
ISA	Índice de solubilidade em água
IAA	Índice de absorção em água
CAO	Capacidade de absorção em óleo
TOC	Tempo ótimo de cozimento
AM	Aumento de massa
PS	Perda de sólidos na água
FIR	Firmeza
PEG	Pegajosidade
PTN	Proteínas
LIP	Lipídios
CIN	Cinzas
FT	Fibra alimentar total
FS	Fibra solúvel
FI	Fibra insolúvel
PVF	Pico de viscosidade a frio
PVQ	Pico de viscosidade a quente
QV	Quebra de viscosidade
VF	Viscosidade a frio
TR	Tendência a retrogradação
p	Probabilidade
R_2	Coeficiente de determinação
FAj	Falta de ajuste
CV	Coeficiente de variação
min	Minutos
RVU	Unidade
cm	Centímetros
PEBD	Polietileno de baixa densidade
PEAD	Polietileno de alta densidade
UFG	Universidade Federal de Goiás
UEL	Universidade Estadual de Londrina
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
DCTA	Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos
DTA	Departamento de Tecnologia de Alimentos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇAO 18

2 REVISÃO DA LITERATURA 20
2.1 ARROZ (*Oryza sativa, L.*) 20
2.2 LINHAÇA (*Linum usitatissimum* L) 22
2.3 CARACTÉRISTICAS DO AMIDO 24
2.4 EXTRUSÃO TERMOPLÁSTICA 26
2.4.1 Descrição do processo de extrusão termoplástica 26
2.4.2 Vantagens da extrusão 30
2.4.3 Propriedades Funcionais de Produtos Extrusados 31
2.5 MASSAS ALIMENTÍCIAS 33
2.6 IMPORTANCIA DE PRODUÇÃO DE MASSAS ALIMENTÍCIAS NÃO CONVÊNCIONAIS PARA PORTADORES DE DOENÇAS CELÍACA 36

3 OBJETIVOS 38
3.1 OBJETIVO GERAL 38
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 38

4 MATERIAL E MÉTODOS 40
4.1 MATERIAL 40
4.1.1 Farinha de Arroz 40
4.1.2 Farinha de Linhaça 40
4.2 MÉTODOS 40
4.2.1 Produção da farinha mista de arroz e linhaça (FMAL) 40
4.2.2 Composição centesimal das farinhas de arroz, linhaça e mista de arroz e linhaça 41
4.2.3 Extrusão da farinha mista de arroz e linhaça variando a umidade e a temperatura 41
4.2.4 Produção das farinhas pré-gelatinizada de arroz e linhaça obtidas por extrusão 44
4.2.5 Análise das farinhas pré-gelatinizadas de arroz e linhaça, de arroz e de linhaça 44
4.2.5.1 Parâmetros instrumentais de cor 45
4.2.5.2 Índice de absorção de água 45
4.2.5.3 Índice de solubilidade em água 46
4.2.5.4 Capacidade de absorção de óleo 47
4.2.5.5 Características viscoamilográficas 47
4.2.5.6 Microscopia eletrônica de varredura 48

4.2.6 Seleção da farinha pré-gelatinizada ideal para a produção de macarrão tipo talharim 48
4.2.7 Desenvolvimento de macarrão de farinha de arroz e linhaça 48
4.2.7.1 Delineamento de misturas 48
4.2.7.2 Produção dos macarrões experimentais formulados com diferentes teores das farinhas de arroz, de linhaça e de pré-gelatinizada 52
4.2.7.3 Análises físicas, químicas e tecnológicas dos macarrões tipo talharim 54
4.2.7.4 Determinação do macarrão experimental de arroz e linhaça com maior desejabilidade de acordo com os parâmetros de qualidade do cozimento 59

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 60
5.1 ARTIGO 1: Propriedades físicas, químicas e funcionais de farinhas de arroz, de linhaça e da mista de arroz e linhaça 60
5.2 ARTIGO 2: Propriedades funcionais e cor de farinhas mistas de arroz e linhaça pré-gelatinizadas em diferentes condições de umidade e temperatura de extrusão 76
5.3 ARTIGO 3: Efeito da umidade e temperatura de extrusão nas propriedades viscoamilográficas de arroz e linhaça pré-gelatinizadas 102
5.4 ARTIGO 4: Propriedades de cozimento e textura de macarrões formulados com farinha pré-gelatinizada de arroz e linhaça 127

6 CONCLUSÃO 154
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS 155
8 APÊNDICES 172

1 INTRODUÇÃO

O glúten consiste em um conjunto de proteína responsável pela formação da cadeia tridimensional que confere o volume, principalmente, à produtos de panificação está presente em cereais como o trigo, aveia, centeio, cevada (CLERICI; AIROLDI; EL-DASH, 2009). O desenvolvimento de produtos com matérias-primas que substituam o glúten é um grande desafio para indústrias de alimentos, uma vez que estes não apresentam a mesma qualidade tecnológica quando comparado com os derivados do trigo (CLERECI; EL-DASH, 2008).

Com o desenvolvimento de fórmulas e tecnologias, as massas alimentícias podem apresentar-se sob diferentes formas e composições, constituindo-se como um interessante objeto de pesquisa no que diz respeito à obtenção de novos produtos à base de matérias-primas alternativas (MENEGLASSI; LEONEL, 2006).

A possibilidade de produzir, em nível industrial, novos tipos de massas a partir de cereais diferentes do trigo tem despertado interesse de pesquisadores em todo o mundo. O conhecimento das propriedades físico-químicas do amido nos alimentos tem permitido aos pesquisadores entender melhor os fenômenos envolvidos na formação do amido pré-gelatinizado e sua funcionalidade nos alimentos, buscando métodos que possibilitem sua utilização em substituição ao glúten (ORMENESE; GHANG, 2002; WALTER; MARCHEZAN; AVILA, 2008).

O processo de extrusão termoplástica promove a gelatinização do amido, a desnaturação e a re-orientação das proteínas, a inativação de complexos enzimáticos e antinutricionais, destruição de algumas substâncias tóxicas e a diminuição da contagem microbiana, sendo considerado um mecanismo efetivo na preservação e aumento de vida-de-prateleira de alimentos (BORBA; SARMENTO; LEONEL, 2005).

Desta forma, com a substituição do glúten por amido pré-gelatinizado obtido por meio de extrusão, há possibilidade de desenvolvimento de alimentos funcionais que possibilitem uma melhor nutrição, promoção de saúde e diminuição do risco de doenças, além destes produtos serem adequados à das pessoas com intolerância ao glúten, os celíacos (ORMENESE et al., 2001).

A farinha de arroz tem sido um ingrediente atrativo para a indústria de alimentos extrusados, devido a suas qualidades, como sabor suave, cor branca e

hipoalergenicidade. Porém, apresenta baixo teor de proteínas, sendo necessária a adição de aminoácidos essenciais para melhorar a sua qualidade nutricional. Além disto, pode ser produzida com quirera, subproduto com baixo valor comercial e sem muita aplicação na indústria de alimentos (CLERECI; EL-DASH, 2008; CHAIYAKUL et al., 2009).

A linhaça (*Linum usitatissimum* L.) pertence ao grupo das oleaginosas, contendo em maior proporção gorduras de 30 a 40 g (100 g)$^{-1}$, compostos em sua maioria por ácidos graxos poli-insaturados, proteínas de 20 a 25 g (100 g)$^{-1}$, fibras alimentar total de 20 a 28 g (100 g)$^{-1}$, com boa proporção entre solúveis e insolúveis (1:5), 4-8 g (100g)$^{-1}$ de umidade, 3-4 g (100 g)$^{-1}$ de cinzas (GOH et al., 2006). A adição deste produto na forma de farinha pode contribuir para o melhoramento nutricional e funcional de massas alimentícias a base de arroz.

Isto posto, este trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade do ponto de vista tecnológico e nutricional a utilização de farinhas mistas de arroz e linhaça, submetidas ao processo de extrusão termoplástica, junto com farinhas cruas destas matérias-primas, na produção de massa alimentícia sem glúten. Além disto, estudar o efeito da umidade e da temperatura de extrusão nas propriedades físico-químicas de farinhas pré-gelatinizadas.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 ARROZ (*Oryza sativa L.*)

O Brasil é o principal produtor de arroz da América Latina, com aproximadamente 11,7 milhões de toneladas produzidas na safra de 2009/2010 (CONAB, 2011). O arroz é um alimento básico para cerca de 2,4 bilhões de pessoas, sendo para a metade dessa população a principal fonte de energia da dieta, pois é composto basicamente de carboidratos representados pela fração amido (HU et al. 2004). O arroz, por ser basicamente um produto amiláceo, podendo o teor de amido chegar até a 90 g (100 g)$^{-1}$ no produto beneficiado em peso seco, apresenta quantidades menores de proteínas, lipídios, fibras e cinzas (SILVA, 2007).

No Brasil o consumo *per capita* diário é de 108 g, fornecendo 14 % dos carboidratos, 10 g (100 g)$^{-1}$ das proteínas e 0,8 g (100 g)$^{-1}$ dos lipídios, com base em uma dieta de 2000 kcal por dia, atingindo um consumo *per capita* anual superior a 70 kg (SILVA, 2007; WALTER; MARCHEZAN; AVILA, 2008).

O amido é constituído por duas formas poliméricas de glicose, uma fração é denominada amilose e outra amilopectina. O conteúdo de amilose pode variar entre 7-33% em relação ao conteúdo total de amido nas diferentes cultivares, assim o componente majoritário é formado de amilopectina (ARAÚJO et al., 2003; SILVA, 2007). Esta proporção determina diversas propriedades do arroz cozido. Grãos com maior teor de amilose apresentam textura mais firme após o cozimento, sendo preferidos em diversos países, inclusive no Brasil (WALTER; MARCHEZAN; AVILA, 2008).

A taxa e a extensão da digestão do amido podem ser influenciadas por diferentes fatores, destacando-se a variação na proporção amilose:amilopectina, o processamento dos grãos, as propriedades fisico-químicas (particularmente as características de gelatinização), o tamanho de partícula e a presença de complexos amilose-lipídio (HU et al., 2004).

A qualidade nutricional do arroz beneficiado polido (branco) baseia-se principalmente em sua fração protéica, que se situa em torno de 7 g (100 g)$^{-1}$. A

qualidade da proteína depende de seu conteúdo de aminoácidos essenciais. Como nos demais cereais, o arroz apresenta a lisina como aminoácido limitante, porém sua concentração é maior quando comparada a de outros cereais. A proteína presente no arroz é considerada de boa qualidade, porque contém oito aminoácidos essenciais ao homem (CASTRO et al., 1999). O arroz possui uma pequena quantidade de aminoácidos livres, localizados principalmente no gérmen (594,9 mg 100 g^{-1}) e no farelo (361,4 mg 100 g^{-1}), com pequena concentração no endosperma (52,7 mg 100 g^{-1}). O aspartato e o glutamato correspondem a aproximadamente 60 g $(100\ g)^{-1}$ do total dos aminoácidos livres presentes no arroz (WALTER; MARCHEZAN; AVILA, 2008). A farinha de arroz possui valor nutricional semelhante ao arroz polido, pois somente passa por um processo de redução de tamanho das partículas de arroz quebrado ou quirera (CASTRO et al., 1999).

O arroz possui também vitaminas do complexo B, como a tiamina, riboflavina e niacina. Na fração lipídica destacam-se o orizanol e os tocotrienois. Os principais ácidos graxos no arroz são o palmítico (16:0), oléico (18:1) e linoléico (18:2), correspondendo a aproximadamente 95 g $(100\ g)^{-1}$ dos ácidos graxos presentes nos lipídios totais. Este cereal contém proporção significativa de ácidos graxos insaturados, que possuem papel importante em vários processos fisiológicos e que, por alguns destes não serem sintetizados pelo organismo humano, devem ser supridos pela alimentação (KENNEDY et al., 2002; HEINEMANN; BEHRENS; LANFER-MARQUEZ, 2006).

O grão de arroz, antes de estar na forma adequada para ser adquirido pelo consumidor, passa por processos de beneficiamento. As três principais formas que o arroz beneficiado é consumido em ordem de importância são o branco, o parboilizado e o integral (FREITAS; SILVA; GULARTE, 2009). O arroz branco passa por um processo padrão de beneficiamento para a retirada da casca e do farelo (polimento e brunição), sendo o principal produto consumido pela população. O arroz integral é o menos consumido pela população brasileira, devido ao alto preço, pois possui reduzida vida-de-prateleira, e ao sabor diferenciado, apesar de ser mais rico em nutrientes. O processo de obtenção deste produto é mais simples, consistindo apenas na retirada da casca. Quando o arroz é submetido ao beneficiamento industrial, uma parcela de grãos quebra, gerando três frações: os quebrados grandes ou canjicões, os quebrados médios ou canjicas, e os quebrados pequenos ou quireras. O beneficiamento convencional de industrialização de arroz branco polido, que representa cerca de 70 g $(100\ g)^{-1}$ da

produção e do consumo nacional, é o método que apresenta maior percentual de grãos quebrados durante o processamento (CARDOSO, 2003; ELIAS; FRANCO, 2006).

Uma vez que os grãos quebrados têm menor valor comercial uma forma de aproveitamento destes grãos quebrados seria a produção de farinha de arroz. Desta forma, é possível agregar valor a esta matéria-prima considerada subproduto do beneficiamento (NABESHIMA; EL-DASH, 2004).

Muitos países já utilizam o arroz na forma de farinha para elaborar produtos de panificação devido a algumas de suas propriedades únicas, como a baixa alergenicidade de suas proteínas, podendo ser utilizada por pacientes celíacos, que apresentam intolerância às proteínas do trigo, aveia, centeio e cevada. Além disto, em função do pequeno tamanho dos grânulos de amido, a farinha de arroz apresenta com o cozimento, textura extremamente suave, sabor brando, alta proporção de amidos facilmente digeríveis, contendo ainda baixos níveis de sódio (NABESHIMA; EL-DASH, 2004; CLERICI; EL-DASH, 2008).

O arroz apresenta maior conteúdo de lisina e suas glutelinas têm perfil de aminoácidos mais balanceado do que a prolamina do trigo, que é deficiente em lisina e triptofano. Contudo, as proteínas do arroz não formam a rede necessária para reter o gás produzido na fermentação durante a panificação (DENARDIN et al., 2005; GUJRAL, ROSELL, 2004; SIVARAMAKRISHNAN; SENGE; CHATTOPADHYAY, 2004).

A farinha crua, apesar do menor custo, não conta com volume de produção expressiva por não apresentar aplicação competitiva em relação ao trigo. Assim, alguns autores têm sugerido a possibilidade de modificação desse material, através do processo de extrusão termoplástica, para a utilização da farinha de arroz pré-gelatinizada como constituinte principal ou ingrediente complementar em formulações, na elaboração de produtos alimentares, ampliando seu emprego para o consumo humano (BORTOLATO et. al., 2003; SILVA, 2007).

2.2 LINHAÇA (*Linum usitatissimum* L.)

A linhaça é uma semente oleaginosa, proveniente da planta linho (*Linum usitatissimum* L.), da família *Linaceae*, nativa do oeste asiático e da região do

Mediterrâneo O maior produtor e exportador mundial é o Canadá, que detém cerca de 40% da produção mundial (OOMAH, 2001), sendo cultivada também em países como Argentina, Estados Unidos, Rússia e Ucrânia (MOURA, 2008).

No Brasil, o principal cultivo de linhaça é mantido em Guarani das Missões (RS). Lavouras de linho já foram cultivadas no Brasil para a extração de fibras para uso têxtil (linho), chegando a ocupar, na década de 60, uma área de 50 mil hectares. Nas últimas décadas, a área cultivada não passa de 650 hectares, e tem como finalidade as sementes e não mais as fibras atualmente importadas (BOMBO, 2006).

A maior porcentagem do cultivo comercial não é destinada a alimentação. A demanda mundial para a linhaça é dominada pelos usos industriais do óleo, amplamente utilizado na pintura (OOMAH, MAZZA, 1993; DAVIDSON, 1999; OOMAH, 2001). Recentes estudos têm classificado esta semente como um alimento funcional, devido à presença de nutrientes em sua composição capazes de prevenir doenças cardiovasculares. Assim, sua demanda é crescente no mercado de óleos e farelos (PAN et al., 2009; MOURA, 2008).

O grão possui em sua composição química cerca de 30-40 g $(100\ g)^{-1}$ de lipídeos, compostos em sua maioria por ácidos graxos poli-insaturados, 20-25 g$(100\ g)^{-1}$ de proteínas, 20-28 g $(100\ g)^{-1}$ de fibra alimentar total, com boa proporção entre solúveis e insolúveis, 4-8 g $(100\ g)^{-1}$ de umidade, 3-4 g $(100\ g)^{-1}$ de cinzas, além de minerais e vitaminas A, B, D e E. Pois, a composição da linhaça varia em função da cultivar e da localização geográfica (GOH et al., 2006).

A composição de aminoácidos da linhaça é comparável a da soja, uma das mais nutritivas proteínas vegetais. Possui elevado teor de potássio, sendo cerca de sete vezes maior que o da banana. A vitamina E está presente na linhaça como tocoferol, atuando como um antioxidante biológico (OLIVIERA; PIROZI; BORGES, 2007).

O teor protéico da linhaça se destaca não somente pela quantidade, mas também pela sua qualidade. As principais proteínas da linhaça são a albumina e a globulina, que correspondem a cerca de 20-42% do teor protéico total da semente. Apresenta, ainda, quantidade considerável dos aminoácidos de cadeia ramificada, principalmente valina, leucina e isoleucina aminoácidos estes ligados ao desempenho físico e atlético (TRUCON, 2006).

A adição de farinha de linhaça na proporção de 10% em formulação de pão de trigo aumentou os níveis de proteína, lipídios, fibras e cinzas. Valores estes esperados,

já que estes são seus principais componentes, em conseqüência, valores de umidade e carboidratos diminuíram (OLIVIERA; PIROZI; BORGES, 2007).

Os fatores antinutricionais presentes na linhaça são os glicosídeos cianogênicos (linustatina, neolinustatina e linamarina), mas a dosagem encontrada nas sementes é baixa (OOMAH et al., 1992) e a exposição ao cianeto em resposta a doses de 60 g de linhaça (tradicionalmente doses de 10 g são as mais empregadas em ensaios clínicos) não são prejudiciais a indivíduos sadios. Além disso, o tratamento térmico em produtos de panificação enriquecidos com linhaça destrói os compostos cianogênicos (CUNNANE et al., 1993; LAMPE et al., 1994), uma vez que são instáveis e sensíveis ao aumento de temperatura de forneamento.

O interesse pela semente de linhaça vem aumentando devido aos efeitos fisiológicos favoráveis ao organismo humano, revelados em algumas pesquisas. Estudos têm apontado que a ingestão de 10 g de linhaça ao dia promove alterações dos níveis hormonais, de colesterol total e de LDL, contribuindo com a redução do risco de câncer e diabetes, assim como, favorecendo a diminuição de agregação plaquetária, fortalecendo unhas, dentes e ossos, além de tornar a pele mais saudável (HASLER, 1998).

Esses efeitos têm sido associados à presença de componentes fisiologicamente ativos, principalmente o ácido linolênico, pertencente ao grupo ômega-3. A linhaça apresenta cerca de 60% deste ácido graxo poli-insaturado, sendo considerada a maior fonte vegetal deste ácido graxo essencial. A presença deste é importante na prevenção de doenças cardíacas. A linhaça também possui fitoestrógenos denominados lignanas. Estas são componentes fenólicos, com potencial anticancerígeno, além de apresentarem propriedade de aliviar sintomas da menopausa, tem sido relacionado como potente desagregador plaquetário, diminuindo os teores de colesterol e invertendo o processo ateroesclerótico (OLIVIERA; PIROZI; BORGES, 2007; PAN et al., 2009).

2.3 CARACTÉRISTICAS DO AMIDO

Algumas propriedades tecnológicas do amido são devidas às diferentes proporções de amilose e amilopectina encontradas nas matérias-primas. O conteúdo de

amilose no arroz pode ser classificado como baixo (10-20%), intermediário (20-25%) e alto (25-33%), sendo este um dos principais parâmetros para a qualidade tecnológica e de consumo do arroz, por esta razão é um fator determinante no cozimento (WALTER; MARCHEZAN; AVILA, 2008).

O amido nativo não absorve água à temperatura ambiente. Submeter o amido a temperaturas maiores que às da faixa de gelatinização resulta em produtos que absorvem diferentes quantidades de água, formando géis com diferentes graus de dureza. Durante o aquecimento, os grânulos de amido sofrem mudanças em sua estrutura, envolvendo a ruptura das pontes de hidrogênio estabilizadoras da estrutura cristalina interna do grânulo (HORMAK; NOONHORN, 2007; LOBO; LEMOS SILVA, 2003). A gelatinização refere-se à formação de uma pasta visco-elástica túrbida ou, em concentrações suficientemente altas, de um gel elástico opaco. Após este processo, o amido torna-se mais facilmente acessível à ação das enzimas digestivas (LOBO; LEMOS SILVA, 2003).

Em estudo realizado com objetivo de melhorar a qualidade do macarrão produzido com farinha de arroz, buscou-se avaliar as modificações sofridas pela farinha de arroz após dois tratamentos térmicos, em relação a seu grau de gelatinização, inchamento dos grânulos de amido, viscosidade e dureza do gel. Constatou-se que a substituição da farinha de arroz crua pela tratada termicamente na formulação do macarrão melhorou sensivelmente a qualidade do produto cozido, melhorando aspectos de textura e diminuição de perdas de sólidos (HORMAK; NOONHORN, 2007).

A retrogradação é um fenômeno importante na qualidade e vida-de-prateleira de produtos amiláceos e ocorre quando, após uma solubilização durante o processo de gelatinização, as cadeias de amilose, mais rapidamente que as de amilopectina, agregam-se formando duplas hélices cristalinas estabilizadas por pontes de hidrogênio. Os polímeros da amilopectina retrogradada, limitados pela sua estrutura ramificada, são menos firmemente ligados que os da amilose retrogradada (LOBO; LEMOS SILVA, 2003).

A pré-gelatinização de farinhas de cereais pode ser obtida em escala industrial por utilização de atomizadores (*spray dryer*), secadores de rolos (*drum dryer*) e por extrusão termoplástica. O princípio básico da extrusão é converter um material sólido em fluído pela aplicação de calor e trabalho mecânico e forçar sua passagem através de

uma matriz para formar um produto com características físicas e geométricas pré-determinadas (BORBA; SARMENTO; LEONEL, 2005).

2.4 EXTRUSÃO TERMOPLÁSTICA

2.4.1 Processo de Extrusão

A extrusão termoplástica é um processo termomecânico e contínuo que combina as operações unitárias como misturar, amassar e modelar, com cocção ou não, para ampliar as possibilidades de elaboração de alimentos básicos ou alternativos, em alimentos com distintas formas, texturas, cores e aromas (FERREIRA, 1999). Seu princípio básico é a conversão de um material sólido em massa fluída pela combinação de umidade, calor, compressão e tensão de cisalhamento, e forçar sua passagem através de uma matriz para formar um produto com características físicas e geométricas pré-determinadas (BORBA; SARMENTO; LEONEL, 2005).

O extrusor é composto basicamente por cinco partes principais, sendo um sistema de alimentação, parafuso com mecanismo de acionamento, cilindro, matriz e mecanismo de corte. O sistema de alimentação, formado por um alimentador, é composto por um recipiente que recebe o material pré-condicionado a ser extrusado e um parafuso de alimentação. Para permitir melhor fluxo, o alimentador é equipado com um agitador. O modelo do sistema de alimentação é um ponto crítico, pois é necessário que haja um suprimento adequado do material, a fim de permitir o bom funcionamento do extrusor e evitar flutuações no processo de cocção e nas características dos produtos obtidos (SUNDERLAND, 1993; EL-DASH, 1981).

As etapas do processo são pré-extrusão, extrusão e pós-extrusão. A pré-extrusão inclui a preparação dos ingredientes e sua mistura em proporção adequada. Após a mistura, o material é transportado para ser condicionado a um conteúdo apropriado de umidade. Na etapa de extrusão, a matéria-prima é introduzida no equipamento através do alimentador, sendo impulsionada pelo(s) parafuso(s) em direção à matriz. À medida que o produto atravessa as diferentes zonas de extrusão, ocorre aumento gradativo do atrito mecânico, provocado por modificações de geometria do parafuso e abertura da

matriz. Em consequência, aumentam também a pressão e a temperatura, ocorrendo o cozimento do produto e expansão na saída da matriz. A etapa seguinte, de pós-extrusão, inclui a secagem dos extrusados (ASCHERI, 2006). O esquema simplificado de uma extrusora monorosca está apresentado na Figura 1.

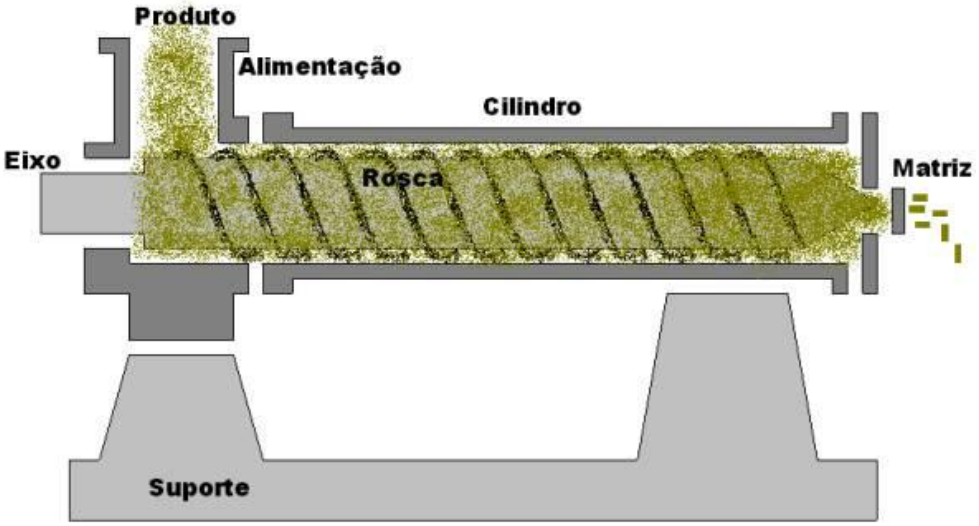


Figura 1. Esquema simplificado de um extrusor mono-rosca. Fonte: ASCHERI (2006)

O extrusor pode ser mono ou dupla rosca, ou seja, constituído por um ou dois parafusos ou roscas, giratórios, firmemente encaixados dentro de um cilindro para alimentar, coccionar e pressionar o material (Figura 2). Moura (2000) afirma que este parafuso apresenta-se como parte central e principal do equipamento, possuindo em sua divisão as zonas de alimentação, transição e alta pressão de acordo com a Figura 3.

Os critérios mais importantes para extrusar uma grande variedade de matérias-primas é a seleção apropriada da configuração do extrusor, entre estes parâmetros pode-se citar o pré-condicionamento ou teor de umidade da matéria-prima, a configuração do(s) parafuso(s), a velocidade de rotação do(s) parafuso(s), a temperatura do cilindro, a configuração da matriz e as condições de secagem (ASCHERI, 2006).

O pré-condicionamento é definido como um requerimento do processo que permite a adição de um material em determinada condição. Durante o pré-condicionamento, ocorre mistura, hidratação, pré-aquecimento dos materiais componentes da formulação. Em alguns casos, pode ser necessária a adição de vapor durante o condicionamento da matéria-prima a ser extrusada. Dependendo das características do produto final, o vapor pode ser adicionado em até 50% do total de

água de condicionamento, o que dependerá da quantidade de material amiláceo na formulação, desde que se considere que uma excessiva quantidade de vapor pode provocar pré-gelatinização e gomosidade no material.

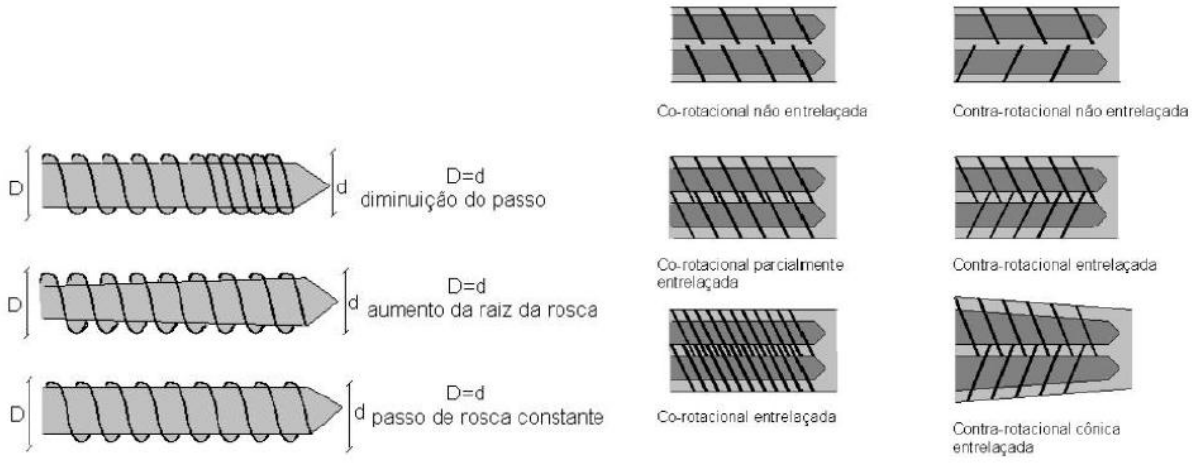


Figura 2. Exemplos de roscas (parafusos) inseridos no interior do extrusor, responsáveis pela taxa de cisalhamento. Fonte: ASCHERI (2006)

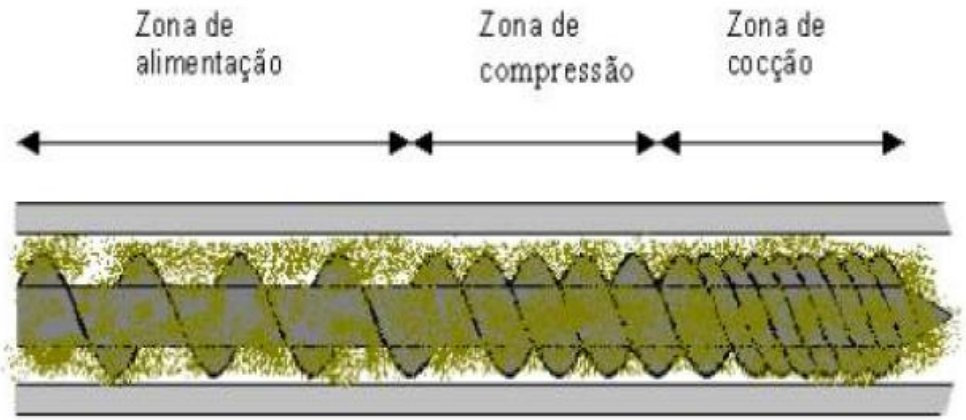


Figura 3. Zonas de alimentação, compressão e cocção. Fonte: ASCHERI (2006)

Na configuração de um extrusor, os elementos do parafuso e restritores de fluxo, podem ser considerados para otimizar o grau de cozimento do material. Cada máquina possui suas próprias características, porém a camisa (barril) e o parafuso requerem configurações específicas para um determinado produto. Uma inadequada configuração diminui as possibilidades de controle de alguns parâmetros como velocidade do parafuso e temperatura do barri (ASCHERI, 2006).

A uma maior velocidade no parafuso, observa-se maior taxa de cisalhamento. Isto implica em um maior grau de cozimento do material, sendo que, como consequência da maior velocidade, o tempo de resistência diminui, devendo-se observar os níveis ótimos destes parâmetros a fim de se conseguir a maior qualidade do produto final (ASCHERI, 2006).

O excesso de calor junto a outros fatores degrada a matéria-prima a compostos de menor peso molecular, entre estes incluem-se os polímeros livres, amido dextrinizado, oligossacarídeos e açúcares simples. O uso de temperaturas muito altas provoca alto grau de cozimento e o produto na saída da matriz pode mostrar sinais de expansão, ao aparecer bolhas de ar nas peças de massa que saem da matriz. Neste caso, cada zona do barril deve ser monitorada de tal forma que ao atingir a temperatura requerida, e por efeito da fricção produzir mais calor, as zonas deverão ser resfriadas até controlar o excesso de calor, mantendo a homogeneidade do processo e consequentemente do produto final (ASCHERI, 2006).

A configuração e desenho da matriz são fundamentais na qualidade do produto final. As taxas de cisalhamento podem ser alteradas dramaticamente pela mudança de uma simples matriz. Ao mudar uma matriz simples por outra múltipla se observa que o fluxo de material aumenta, em função das mudanças. Obviamente a pressão de descarga de produtos será maior quanto menor for o número e o diâmetro de abertura da matriz (ASCHERI, 2006).

Quando o material extrusado é submetido a uma rápida secagem a altas temperaturas, o material é desidratado principalmente na parte externa, e por causa da migração da umidade interna ao exterior, ocorre falta de homogeneidade nas peças desidratadas. Quando secadores contínuos em larga escala de produção são utilizados, a secagem pode ser um estágio crítico por inadequado controle dos parâmetros, principalmente temperatura e umidade relativa (ASCHERI, 2006).

Assim, na extrusão a temperatura, a umidade, a rotação do parafuso, a velocidade de alimentação, o diâmetro da matriz, o tempo e a temperatura de secagem, entre outros fatores são aspectos importantes que devem ser monitorados cuidadosamente para se obter produtos extrusados de alta qualidade (SILVA, 2007).

2.4.2 Vantagens da Extrusão

A extrusão é uma operação unitária que possui vantagens, dentre elas a versatilidade, porque trocando os ingredientes e suas proporções, se pode obter grande variedade de produtos, sendo o processo extremamente flexível e dificilmente poder-se-ia obter produtos extrusados por outros métodos; menores gastos, uma vez que a extrusão é um processo barato e produtivo comparado a outros processos que utilizam calor, por exemplo, afirma-se que a extrusão de cereais matinais, comparada com o processo tradicional de elaboração, utiliza 19 g $(100\ g)^{-1}$ da matéria-prima, 40 g $(100\ g)^{-1}$ da mão-de-obra e 44 g $(100\ g)^{-1}$ com gastos de instalação; processo automático com grande capacidade de produção, tendo capacidade de produzir 315 kg h^{-1} de *snacks*, 1.200 kg h^{-1} de cereais de baixa densidade e 9.000 kg h^{-1} de rações animais (FELLOWS, 2006).

A extrusão termoplástica é um processo rápido que oferece possibilidades de modificar as estruturas do amido e das proteínas. Durante a extrusão, a estrutura cristalina organizada dos grânulos de amido é destruída de modo parcial ou total, dependendo da proporção amilose-amilopectina, do teor de umidade das farinhas e das variáveis de processo utilizadas. Este processo permite que o amido, antes insolúvel em água, absorva-a mais rapidamente, sendo a absorção e a solubilidade importantes propriedades funcionais do amido extrusado quando disperso em água (BORBA, SARMENTO; LEONEL, 2005).

A extrusão termoplástica consiste em um tratamento térmico a uma temperatura elevada durante curto tempo (HTST), que reduz a contaminação microbiana e inativa as enzimas. Os alimentos extrusados se conservam principalmente devido sua baixa atividade de água (FELLOWS, 2006).

A técnica de extrusão possibilita a obtenção de um efeito nutricional vantajoso e útil no alimento, uma vez que viabiliza a utilização de várias misturas de diferentes

matérias-primas ricas em proteínas e amidos, podendo incorporar na composição, minerais e vitaminas termoresistentes (SOUZA, MENEZES, 2008). Como foi realizado neste trabalho com a extrusão da mistura da farinha de arroz e de linhaça.

2.4.3 Propriedades Funcionais de Produtos Extrusados

Segundo Hidalgo (1977) e Borderias e Montero (1988), propriedade funcional pode ser definida como uma propriedade tecnológica específica que influencia na aparência física e no comportamento de um produto alimentar de maneira característica e que resulta da natureza intrínseca físico-química da matéria proteíca. As propriedades funcionais dependem muito do peso molecular, composição de aminoácidos, estrutura e reatividade da proteína. Em muitos casos os componentes não protéicos afetam também as propriedades funcionais.

Segundo Ascheri et al. (1995), a literatura científica sobre extrusão tem descrito principalmente sobre as propriedades físicas e químicas dos produtos extrusados, os quais resultam do uso de condições específicas de extrusão em diversos tipos de extrusores. De acordo com Ascheri (1997), as principais propriedades funcionais dos amidos extrusados, quando dispersos em excesso de água, são a absorção de água e a solubilidade em água.

Materiais amiláceos, como a farinha de arroz, têm elevado teor de amido e, quando extrusados, sofrem desordenação molecular e perda de cristalinidade em função das variáveis combinadas do processo de extrusão. Durante a extrusão termoplástica, os grânulos de amido absorvem água, incham e gelatinizam-se. Portanto, a estrutura granular do amido é rompida, dando lugar a uma massa viscosa e plástica (ASCHERI et al., 2006).

Durante a extrusão, as proteínas nativas passam por uma total desagregação que propicia a desnaturação, dissociação e formação de filamentos que se alinham no sentido do fluxo até a expulsão da máquina. Nas transformações químicas da desnaturação, as forças de estabilização das estruturas terciárias e quaternárias das proteínas são enfraquecidas pela combinação da temperatura alta e da compressão dentro do extrusor. São rompidas ligações iônicas, dissulfeto, pontes de hidrogênio e interações fracas do tipo Van der Waals. Com essa desnaturação surgem proteínas com

diferentes pesos moleculares, bem como aminoácidos até então indisponíveis (ASCHERI et al., 2006).

A solubilização da fibra de algumas fontes alimentares, dependendo da severidade do processo de extrusão (alta temperatura, alta velocidade do parafuso e baixo teor de umidade), também pode ocorrer ao longo do processo e a utilização de condições brandas ou moderadamente severas do processamento pode não ocasionar mudanças no teor de fibra total de forma significativa (ASCHERI et al., 2006).

A retrogradação (reorganização da fração amilose) das pastas de amido extrusadas é função do conteúdo de umidade, temperatura e velocidade de rotação do extrusor. Amidos com altos teores de umidade produzem extrusados com alta capacidade de retrogradação, usando-se rotação da rosca moderada. Alterações no índice de absorção e índice de solubilidade em água podem ser interpretadas com base nas interações de amido-água que governam a estrutura da fase sólida no processamento por extrusão do amido (SILVA, 2007).

O parâmetro viscosidade de pasta permite determinar e estudar o grau de cozimento do material extrusado e avaliar o comportamento do amido em meio aquoso, aplicando-se diferentes temperaturas durante o processo. A viscosidade é uma das propriedades mais importantes dos materiais amiláceos. A curva viscoamilográfica representa o comportamento destes materiais durante o aquecimento e permite avaliar as propriedades da pasta formada, devido às modificações estruturais das moléculas de amido e a tendência a retrogradação durante o resfriamento. As mudanças que ocorrem nos grânulos de amido durante a gelatinização e a retrogradação são os principais determinantes do comportamento de pastas desses amidos, as quais têm sido medidas principalmente pelas mudanças de viscosidade durante o aquecimento e resfriamento (SEBIO, 1996).

Os grânulos de amido, quando aquecidos em presença de água acima de uma determinada temperatura, formam uma suspensão viscosa. A temperatura na qual ocorre tal modificação é denominada de temperatura de gelatinização do amido. A gelatinização é definida como o colapso da ordenação granular, durante a qual ocorrem mudanças irreversíveis nas propriedades, como o inchamento dos grânulos, a fusão cristalina, a perda da birrefringência, o rompimento dos grânulos com a liberação da amilose e o aumento da viscosidade da suspensão (FUKUOKA; OHTA; WATANABE, 2002; THIRÉ; SIMÃO; ANDRADE, 2003).

No rápido viscoamilografo (RVA) durante a fase inicial de aquecimento de uma suspensão aquosa de amido, é registrado um aumento na viscosidade quando os grânulos de amido começam a inchar. Neste ponto, polímeros com baixo peso molecular, particularmente moléculas de amilose, começam a ser lixiviadas dos grânulos. Um pico de viscosidade é obtido durante o empastamento, quando a maioria dos grânulos estão totalmente inchados e o alinhamento molecular de qualquer polímero solubilizado ainda não ocorreu dentro do campo de atrito do instrumento (TSAI; LI; LII, 1997). Durante a fase de temperatura constante (95 ºC) os grânulos começam a se quebrar e a solubilização dos polímeros continua. Neste ponto ocorre uma quebra na viscosidade. Durante a fase de resfriamento, polímeros de amilose e amilopectina solubilizados começam a se re-associar e outro aumento na viscosidade é registrado. Este segundo aumento da viscosidade é conhecido como tendência a retrogradação ou *setback* (MATSUGUMA et al., 2009).

Os fatores ligados à matéria-prima tais como teor de umidade, fontes de amido utilizadas e sua proporção de amilose: amilopectina, conteúdo de proteína, lipídios e fibra exercem grande influência no produto extrusado acabado (FAUBION; HOSENEY, 1982; ASCHERI et al., 1995).

As farinhas pré-gelatinizadas obtidas por meio do processo de extrusão podem ser utilizadas como ingrediente de diversos produtos alimentícios, tais como produtos instantâneos que não requerem cocção (CLERICI; EL-DASH, 2009); produtos de panificação sem glúten, que necessitam de uma estrutura que consiga suportar a expansão produzida pelos gazes da fermentação sem apresentar colapso da massa após a cocção (WANG et al., 2009); e produtos tipo massa alimentícia, que mantenha sua estrutura antes e após a cocção (ASCHERI, 2006).

2.5 MASSAS ALIMENTÍCIAS

Segundo a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) massas alimentícias são definidas como produtos obtidos de farinha de trigo (*Triticum aestivum* L.) e/ou outras espécies do gênero *Triticum* e/ou derivados de trigo durum (*Triticum durum* L.) e/ou derivados de outros cereais, leguminosas, raízes e/ou tubérculos,

resultantes do processo de empasto e amassamento mecânico sem fermentação (BRASIL, 2005).

O consumo de massa alimentícia vem se expandindo no Brasil e está definitivamente incorporado à culinária brasileira, servindo como prato principal ou complemento, em muitas combinações, com alto índice de aceitabilidade. A simplicidade do processo de produção, aliada ao seu fácil manuseio, custo relativamente baixo e estabilidade durante o armazenamento, fizeram com que as massas alimentícias tivessem seu consumo popularizado nas mais diversas regiões do mundo (LEITÃO et al., 1989; MENEGLASSI; LEONEL, 2006)

O Brasil é o terceiro maior produtor de macarrão do mundo, depois da Itália e Estados Unidos. Em 2010, o consumo médio de massas alimentícias pela população nacional foi, aproximadamente, de 1.232 mil toneladas, chegando a 6,4 kg/ hab /ano, com um faturamento médio de 5.915 milhões de reais neste mesmo ano (ABIMA, 2011), indicando que este produto tem sido aceito pelas diversas camadas sociais.

As massas produzidas a partir da farinha de trigo possuem, além do glúten, do alto valor calórico, das deficiências em micronutrientes e do conteúdo protéico, aminoácidos de baixo valor biológico. São deficientes em vitaminas como niacina, tiamina (vitamina B_1) e riboflavina (vitamina B_2) que, por se localizarem na periferia do grão de trigo, são praticamente eliminadas durante a moagem. Assim, é de fundamental importância a reposição dos níveis desses micronutrientes nas massas alimentícias para torná-las nutricionalmente balanceadas (CABALLEROCÓRDOBA et al., 1994; MENEGLASSI; LEONEL, 2006).

A presença do glúten é fator determinante para a qualidade de pães, pois agrega a massa características como: extensibilidade, resistência ao alongamento e à mistura, e capacidade de retenção de gases, fatores importantes para a panificação. A remoção do glúten resulta em grandes problemas na elaboração de massas alimentícias, pois muitos produtos disponíveis no mercado apresentam baixa qualidade, além de textura e sabor desagradáveis (GALLAGHER; GORMLEY; ARENDT, 2004).

O glúten é responsável pela formação estrutural da massa alimentícia, considerado fator importante para qualidade após o cozimento. A gliadina e a gluteina são responsáveis pela elasticidade e a textura *''al dente''*, características estas apreciadas pelos consumidores (SOZER, 2009)

Com intuito de melhorar a qualidade nutricional desses produtos, propostas para elaboração de massas alimentícias com substituição total ou parcial da farinha de trigo por outras farinhas têm sido exploradas. Estudos comprovam que massas alimentícias, não convencionais de boa qualidade, podem ser obtidas a partir da utilização tecnologias que explorem as propriedades funcionais (tecnológicas) de componentes da matéria-prima como o amido ou adicionar farinhas ricas em proteínas, que são capazes de formar estrutura semelhante à do glúten (MENEGLASSI; LEONEL, 2006; ORMENESE; CHANG, 2002).

Outra forma de conferir melhor qualidade ao produto final é a adição de substâncias protéicas capazes de formar uma rede durante a produção ou até mesmo no cozimento da massa alimentícia. Os produtos protéicos, geralmente sob forma de farinha ou concentrado protéico, são de origem vegetal, como derivados de grãos de plantas leguminosas, como soja, ervilha, tremoço, fava e outras (ORMENESE; CHANG, 2002).

A utilização do arroz para a produção de macarrão se justifica tanto pela boa aceitação das massas alimentícias na culinária brasileira como pela disponibilidade da matéria-prima. Os subprodutos de arroz, considerados de baixo valor comercial e sem utilização industrial, são matérias-primas interessantes para a produção de massas. No beneficiamento de 100 kg de arroz gera-se de 8-12 kg de arroz quebrado, que pode ser facilmente transformado em farinha (ORMENESE et al., 2001; ORMENESE; CHANG, 2002).

O processo convencional de produção de macarrão de arroz envolve as seguintes etapas: maceração do arroz em grão durante várias horas, cozimento da massa formada em vapor, amassamento, extrusão a frio e cozimento do produto obtido em vapor ou água em ebulição. Essa última etapa visa promover a gelatinização superficial do amido e melhorar a textura do macarrão. O grau de pré-gelatinização do amido da farinha de arroz desempenha importante papel na textura do produto final (JULIANO; BOULTER, 1985).

Massas alimentícias sem presença de glúten apresentam menor elasticidade e maiores perdas no cozimento quando comparadas com as que apresentam esta proteína. O comportamento dessas massas alimentícias durante e após cozimento é o parâmetro de qualidade de maior importância para os consumidores. Além do sabor e do odor, estão incluídos neste parâmetro o tempo de cozimento, a quantidade de água absorvida,

as propriedades reológicas da massa (firmeza, mastigabilidade e elasticidade) e as características da superfície, tais como: pegajosidade, desintegração e perda de sólidos solúveis (HAUNG; KNIGHT; GOAD, 2001; ORMENESE; GHANG, 2003).

O teor de amilose do arroz transformado em farinha para a fabricação do macarrão é um fator que influencia nas características tecnológicas desses produtos. No sudeste asiático, onde este produto é bastante popular, é produzido com variedades de arroz com alto teor de amilose (HORMAK; NOONHORN, 2007).

Outro fator que influencia os parâmetros de qualidade é a granulometria da farinha. O aumento do volume da massa durante o cozimento foi diretamente proporcional ao aumento da granulometria. Os melhores resultados foram obtidos com farinhas de arroz com granulometria média de 138 μm (125-152 μm) e de 165 μm (153-178 μm) (ORMENESE; CHANG, 2002).

2.6 IMPORTÂNCIA DE PRODUÇÃO DE MASSAS ALIMENTÍCIAS NÃO CONVÊNCIONAIS PARA PORTADORES DE DOENÇA CELÍACA

A doença celíaca é caracterizada como uma intolerância à fração gliadina presente no trigo e das prolaminas presente no centeio, triticale e aveia. As prolaminas são substâncias tóxicas para os celíacos, resistentes à digestão pelas enzimas gástricas e pancreáticas e alcançam a lâmina do intestino delgado, causando a inflamação nas células intestinais (NOBRE; SILVA; CABRAL, 2007; GALLAGHER; GORMLEY; ARENDT, 2004).

Esta doença celíaca é o resultado final da predisposição genética, de fatores ambientais e imunológicos, que culmina com lesões da mucosa intestinal conduzindo à má absorção de vários nutrientes importantes, incluindo o ferro, o ácido fólico, o cálcio e as vitaminas lipossolúveis (GALLAGHER; GORMLEY; ARENDT, 2004).

Atualmente, a doença celíaca é considerada a intolerância alimentar mais comum no mundo, com cerca de 1-2% da população mundial apresentando esta desordem fisiológica. Os primeiros sintomas são diarréia e dores gastrointestinais. A prolongada carência da maioria dos nutrientes pode causar efeitos diversos, como dores nos ossos, devido à precária absorção de cálcio e de vitamina D, ou anemia relacionada à deficiência de ácido fólico. Se não houver tratamento, a doença pode evoluir para

distúrbios neurológicos, infertilidade e até mesmo aumentar o risco de câncer no trato intestinal (BROECK et al., 2009).

O único tratamento satisfatório para celíacos é a completa retirada do trigo, centeio, cevada e aveia da dieta. A substituição destes cereais pode ser feita por soja, arroz, milho, batata, mandioca e cará, sendo que dentre esses, o arroz é o menos alergênico. A dieta deve ser seguida por toda a vida, mesmo que o paciente não apresente sintomas após a ingestão de glúten (ACELBRA, 2009; LAZARIDOU et al., 2007).

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho foi avaliar a viabilidade do ponto de vista tecnológico, nutricional e sensorial da utilização de farinhas de arroz e linhaça cruas e da mistura de ambas submetida ao processo de extrusão termoplástica, na produção de macarrão tipo talharim sem glúten.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Produzir farinhas mistas de arroz e linhaça (80:20) crua e pré-gelatinizadas por extrusão sob diferentes temperaturas e umidades da matéria-prima;
- Caracterizar as farinhas de arroz, de linhaça e mista de arroz e linhaça quanto à composição centesimal (umidade, cinzas, proteínas, lipídios, fibra alimentar total, solúvel e insolúvel) e propriedades tecnológicas (índice de solubilidade e absorção de água, capacidade de absorção de óleo, parâmetros instrumentais de cor e características viscoamilográficas);
- Avaliar o efeito da temperatura e do teor de umidade da farinha mista de arroz e linhaça sobre as características físicas e funcionais das farinhas pré-gelatinizadas obtidas após extrusão (parâmetros instrumentais de cor, índice de absorção e solubilidade em água, capacidade de absorção de óleo e características viscoamilográficas;
- Fazer microscopia eletrônica de varredura das farinhas cruas e pré-gelatinizadas para observar as alterações sofridas após o processo de extrusão em suas estruturas.
- Estabelecer os parâmetros de extrusão (temperatura de extrusão e umidade da matéria-prima) ideal para produção de farinha pré-gelatinizada adequada para produção de macarrão tipo talharim, envolvendo os índices de absorção e solubilidade em água.

- Formular macarrão tipo talharim com diferentes proporções das farinhas de arroz, de linhaça e pré-gelatinizada selecionada;
- Avaliar os efeitos de cada componente das misturas ternárias nos parâmetros de qualidade (tempo ótimo de cozimento, aumento de massa, perda de sólidos em água, parâmetros instrumentais de cor, firmeza, pegajosidade e composição centesimal dos macarrões tipo talharim obtidos;
- Obter a formulação de macarrão tipo talharim com maior desejabilidade considerando os parâmetros de qualidade (tempo ótimo de cozimento, aumento de massa e perda de sólidos solúveis).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 MATERIAL

4.1.1 Farinha de Arroz

Para a produção da farinha de arroz utilizaram-se grãos quebrados, doados pela empresa Arroz Cristal Ltda, localizada em Aparecida de Goiânia, Goiás. A farinha de arroz (FA) foi obtida após a moagem dos grãos quebrados em moinho de martelos (Marconi, MA-090/CF, Piracicaba, Brasil) em peneira de 30 *mesh* e depois acondicionada em embalagens plásticas de polietileno de baixa densidade (PEBD) e armazenada a temperatura ambiente até sua utilização ou realização das análises.

4.1.2 Farinha de Linhaça

Para o desenvolvimento deste trabalho foi utilizada a farinha de linhaça marrom desengordurada (FL), doada pela empresa Vitao Alimentos Ltda, localizada em Curitiba, Paraná.

4.2 MÉTODOS

4.2.1 Produção da farinha mista de arroz e linhaça (FMAL)

Para a produção da FMAL, as FA e FL foram pesadas na proporção 80:20, homogeneizadas em misturador tipo Y (Tecnal, TE-201/10, Piracicaba, Brasil), por 15 min, em bateladas de 2 kg. A farinha obtida foi armazenada em embalagens de PEBD e mantidas sob refrigeração até posterior extrusão ou análise.

4.2.2 Composição centesimal das farinhas de arroz, linhaça e mista de arroz e linhaça

As análises físicas e químicas da FA, FL e FMAL foram realizadas em triplicata. Foram quantificados conforme AOAC (1997), os teores de umidade, cinzas, proteína bruta, com fator conversão do nitrogênio em proteína de 5,75 para FA e 6,25 paras as demais farinhas, lipídios totais e fibra alimentar total, solúvel e insolúvel. Os carboidratos totais foram determinados pelo cálculo da diferença entre 100 gramas do alimento e a soma total dos valores encontrados para umidade, proteínas, lipídios e cinzas. O valor energético total foi determinado pelo fator de conversão descrito por Atwater e Woods (1986), considerando-se 4 kcal/ g de proteína, 4 kcal/ g de carboidrato, desconsiderando-se o teor de fibras e 9 kcal / g de lipídios

4.2.3 Extrusão da farinha mista de arroz e linhaça variando a umidade e a temperatura

O processamento das FMAL pré-gelatinizada (FPG) foi realizado em extrusora monorosca de laboratório (Inbramq, PQ 30, Ribeirão Preto, Brasil). O equipamento possuía rosca cônica, paralela e sistema composto por 3 zonas de aquecimento, sendo aquecidas por meio de resistências elétricas independentes. O controle da temperatura foi realizado por termopares e sistema de refrigeração com água fria controlada por válvulas solenóides. A alimentação do extrusor foi conduzida por um silo com o sistema de dosagem por gravidade. O controle das variáveis: temperatura, rotação da rosca e velocidade de alimentação e da faca de corte foi feito através da visualização no painel informatizado aclopado ao sistema de extrusão (Figura 1).

Foram fixados os parâmetros: taxa de compressão da rosca de 3:1, taxa de alimentação de 350 g min^{-1}, abertura da matriz circular de 4 mm de diâmetro, com camisa helicoidal, temperatura na primeira e segunda zona de aquecimento em 50 ºC e 70 ^{o}C, respectivamente, rotação da rosca de 250 rpm. Definiu-se como variáveis independentes do processo a umidade da FMAL [g $(100\ g)^{-1}$] e a temperatura (^{o}C) da 3ª zona de aquecimento.

Figura 1: Extrusora de Laboratório Imbramaq, PQ 30.

Para avaliar o efeito combinado das variáveis independentes nas características físicas, químicas e tecnológicas dos extrusados e das FPG, utilizou-se metodologia de superfície de resposta e delineamento central composto rotacional, descrito na Tabela 1 (BOX; HUNTER; HUNTER, 1978). Os valores reais foram definidos em estudos preliminares, considerando 12 g (100 g)$^{-1}$, como o mínimo, ou seja, a umidade no qual os grãos são armazenados e o máximo 20 g (100 g)$^{-1}$ restrita a capacidade máxima do equipamento. Em relação a temperatura, a mínima (60 ^{o}C) é àquela que possibilitaria a pré-gelatinização do produto e a máxima (120 ^{o}C) que não queimaria o produto.

Para acondicionamento da umidade de cada experimento, a umidade inicial da FMAL foi determinada segundo o método nº 925.10 (AOAC, 1997) e a quantidade de água adicionada foi determinada pela Equação 1. A água foi adicionada com auxílio de pulverizador e homogeneizada em misturador tipo Y (Tecnal, TE-201/10, Piracicaba, Brasil), por 5 min. Em seguidas, as amostras foram colocadas em embalagens de PEBD e armazenadas à temperatura de refrigeração (5 ^{o}C ± 1 ^{o}C) por 24 horas, para melhor homogeneização da umidade na amostra.

Tabela 1. Planejamento central composto rotacional com valores codificados e reais para umidade e temperatura de extrusão, com 11 experimentos, sendo 3 repetições no ponto central.

Experimento	Variáveis independentes			
	Variáveis codificadas		Variáveis reais	
	X_1	X_2	X_1	X_2
1	-1	-1	13,2	68,3
2	1	-1	18,8	68,3
3	-1	1	13,2	111,3
4	1	1	18,8	111,3
5	-1,41	0	12	90
6	1,41	0	20	90
7	0	-1,41	16	60
8	0	1,41	16	120
9	0	0	16	90
10	0	0	16	90
11	0	0	16	90

X_1: umidade (%) e X_2: temperatura (^oC)

$$Q_A = \frac{(UF - UI)}{100 - UF} \text{ x peso da amostra (g)} \qquad \text{Equação (1)}$$

Onde:

Q_A: Quantidade de água a ser adicionada

UF: Umidade final ou desejada

UI: umidade inicial da amostra

Para análise do processo empregou-se uma equação polinomial, obtida através de análise de regressão múltipla do efeito das variáveis independentes nas variáveis respostas, conforme exemplo geral de um polinômio quadrático (Equação 2):

$$y_1 = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_1^2 + b_4x_2^2 + b_5x_1x_2 + \varepsilon \qquad \text{Equação (2)}$$

Onde:

y_1: estimativa da resposta determinada no produto final

b_0, b_1, ... b_5: coeficientes da regressão

x_1, x_2: variáveis independentes consideradas

ε: erro experimental com distribuição normal, média zero e variância σ^2

4.2.4 Produção das farinhas pré-gelatinizada de arroz e linhaça obtidas por extrusão

As FPG foram obtidas após a moagem dos extrusados produzidos no ensaio de extrusão em moinho de martelos (Marconi, MA-090/CF, Piracicaba, Brasil), em peneira de 30 *mesh*, totalizando onze farinhas que foram acondicionadas em embalagens plásticas laminadas (polietileno/nylon/polietileno) e armazenadas sob refrigeração e proteção contra luz para impedir eventual oxidação das farinhas (Figura 2).

Figura 2: Moagem dos extrusados para obtenção das farinhas pré-gelatinizadas

4.2.5 Análise das farinhas pré-gelatinizadas de arroz e linhaça, de arroz e de linhaça

Para as FA, FL e cada FPG obtidas pelo processo de extrusão, foram determinados os parâmetros instrumentais de cor, o índice de absorção em água (IAA), o índice de solubilidade em água (ISA), a capacidade de absorção de óleo (CAO), características viscoamilográficas e a microscopia. Estas análises também foram feitas na FA, FL e FMAL para comparação. Estas análises foram realizadas em triplicatas, com exceção das características viscoamilográficas, e suas médias foram comparadas

pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro. As análises de RVA foram realizadas no laboratório de qualidade de grãos da Embrapa Arroz e Feijão, a microscopia eletrônica foi realizado no Laboratório de microscopia e microanálise da Universidade Estadual de Londrina (UEL). As demais análises foram realizadas no laboratório de físico-química da UEL.

4.2.5.1 Parâmetros instrumentais de cor

Os parâmetros instrumentais de cor da FA, FL, FMAL e farinha pré-gelatinizada de arroz e linhaça (FPG) foram determinados em colorímetro (ColorQuest II, Hunter Lab Reston, Canadá). Os resultados foram expressos em L*, a* e b*, onde os valores de L* (luminosidade ou brilho) podem variar do preto (0) ao branco (100), os de croma a* do verde (-60) ao vermelho (+60) e os de croma b* do azul (-60) ao amarelo (+60), conforme relatado por PAUCAR-MENACHO et al. (2008) (Figura 3).

4.2.5.2 Índice de Absorção de água

O IAA para FA, FL, FMAL e FPG foi determinado pelo método de Anderson et al. (1969). Em um tubo de centrífuga, previamente tarado, foram colocados 2,5 g da farinha e 30 mL de água. O tubo foi agitado por 30 min em banho-maria com temperatura de 28 ^{o}C e centrifugado por 10 mim a 3.000 G em centrífuga (Sigma, 3-18K, Newport Pagnell, Inglaterra). O sobrenadante foi retirado com auxílio de uma pipeta volumétrica de 10 mL, permanecendo apenas o gel formando no tubo. O valor de IAA foi determinado utilizando-se a Equação 3 e o resultado expresso em g de gel /g de matéria seca.

$$IAA = \frac{PRC}{(PA - PRE)} \qquad \text{(Equação 3)}$$

Onde:

PRC: massa do gel obtido após a centrifugação (g)

PA – massa da amostra (g)

PRE – massa do resíduo da evaporação (g)

Figura 3: Equipamento para determinação de cor das farinhas cruas e pré-gelatinizadas

4.2.5.3 Índice de solubilidade em água

O ISA também foi determinado pelo método de Anderson et al. (1969), 10 mL do sobrenadante obtido no análise do IAA, foi colocado em placa de Petri e levado a estufa por 2 horas. O valor do ISA foi determinado utilizando-se a Equação 4.

$$ISA = \frac{PRE}{PA} \times 100 \qquad \text{(Equação 4)}$$

Onde:

ISA – expresso em porcentagem (%)

PA – massa da amostra (g)

PRE – massa do resíduo da evaporação (g)

4.2.5.4 Capacidade de absorção de óleo (CAO)

A CAO foi determinada utilizando-se o método de Castilho, Fontanari e Batistuti (2010). Com auxílio de um vórtex (Gehaka, LabDancer, São Paulo, Brasil), misturou- se 2 g de farinha em 10 mL de óleo de soja em tubo de centrífuga que foram homegeinizadas por 2 min. As amostras permaneceram em repouso à temperatura ambiente por 15 min e a seguir foram centrifugadas, utilizando-se centrífuga (Harrier 15/80, Sanyo/MSE, Japão) ajustada para 8.000 G, por 10 min. A CAO foi determinada pela diferença entre a massa inicial e a final após a coleta do líquido sobrenadante, realizada com auxílio de pipeta volumétrica de 5 mL, e o resultado expresso em mL de óleo absorvido por grama de farinha em base seca (Equação 5).

$$CAO = \frac{PGF}{PA} \qquad \text{Equação 5}$$

Onde:
PGF: peso do gel formado após centrifugação
PA: peso da amostra

4.2.5.5 Características viscoamilográficas

As propriedades viscoamilográficas foram determinadas por meio do Rápido viscoamilógrafo (Newport Scientific, Warriewood, Austrália), com o auxílio do software Thermocline for Windows, segundo o método n° 61-02 da pela AACC (2000). No tubo próprio do aparelho, 3 g de amostra foram misturadas com 25 mL de água destilada e em seguida realizou-se a marcha do teste. O tempo total recomendado foi de 21 min que foram divididos da seguinte forma: manteve-se a temperatura inicial em 25 ^{o}C por 2 min, em seguida a temperatura foi ajustada a 95 °C em 5 min, a amostra permaneceu a temperatura de 95 °C por 5 min. A temperatura foi diminuída para 25 °C em 7 min, na qual permaneceu até o final do teste por de 2 min. Neste teste foram determinados o pico de viscosidade (PV), a quebra de viscosidade (QV), a tendência a

retrogradação (TR) e a viscosidade final (VF), conforme reportado por Bao (2008). As análises foram realizadas uma só vez como recomendado pelo método instrumental e o erro experimental foi calculado pelas 3 repetições realizadas no ponto central do delineamento rotacional composto.

4.2.5.6 Microscopia eletrônica de varredura

Utilizou-se microscópio de varredura eletrônica (FEI Company, Quanta-200, Netherlands, EUA). As amostras foram alocadas em *stubs* de alumínio, utilizando uma fita dupla face, banhados com um fino filme de ouro (10 nm) e examinadas com voltagem de aceleração de 10 kV, em aumentos de 800x, 1600x e 3000x.

4.2.6 Seleção da farinha pré-gelatinizada ideal para a produção de macarrão tipo talharim

Determinou-se como parâmetro de qualidade as variáveis ISA e IAA. Segundo Sozer, Dalgnç e Kaya (2007) um das principais características para avaliar a qualidade de macarrão são a absorção e perda de sólidos em água. Desta forma, foram atribuídas a estas variáveis notas entre 0, para a menos desejada e 1 como a mais desejada. O cálculo da FPG com características mais adequedas para produção de macarrão tipo talharim com maior desejabilidade foi determinada por meio do programa Statistica versão 7.0 (STATSOFT, 2007).

Na FPG experimental selecionada ideal para a elaboração do macarrão tipo talharim, foram avaliadas, além das características tecnológicas, análises físicas e químicas, como descrito no item 4.2.2.

4.2.7 Desenvolvimento de macarrão de farinha de arroz e linhaça

4.2.7.1 Delineamento de misturas

Foram elaboradas diferentes mesclas para produção dos macarrões, variando-se

as concentrações da farinha pré-gelatinizada de arroz e linhaça selecionada (FPG), de FA e FL. As concentrações dos componentes que variaram na formulação foram restringidas nas formulações experimentais das massas alimentícias dentro de faixas estabelecidas em testes preliminares (Tabela 2), de acordo com o planejamento experimental de misturas apresentado na Tabela 3 (BARRROS NETO; SCARMÍNIO; BRUNS, 2003).

Tabela 2: Concentrações máximas e mínimas estabelecidas das farinhas pré-gelatinizada, de arroz e de linhaça.

Componente	**Máximo % (m/m)**	**Mínimo % (m/m)**
Farinha pré-gelatinizada	50	35
Farinha de arroz	60	40
Farinha de linhaça	15	5

Tabela 3: Planejamento experimental de misturas com os teores das farinhas pré-gelatinizdas, de arroz e de linhaça em valores reais e peseudocomponentes do planejamento experimental de mistura.

Formulação (Experimen.)	Proporção dos ingredientes na mistura ternária					
	Em concentrações reais			Em pseudocomponentes		
	FPG (c_1)	FA (c_2)	FL (c_3)	FPG (X_1)	FA (X_2)	FL (X_3)
1	0,5	0,4	0,1	0,75	0	0,25
2	0,35	0,6	0,05	0	1	0
3	0,5	0,45	0,05	0,75	0,25	0
4	0,45	0,4	0,15	0,5	0	0,5
5	0,35	0,5	0,15	0	0,5	0,5
6	0,43	0,47	0,10	0,4	0,35	0,25
7	0,43	0,47	0,10	0,4	0,35	0,25
8	0,43	0,47	0,10	0,4	0,35	0,25

$X_1 + X_2 + X_3 = 1$ ou 100%

Para o cálculo do erro experimental dos modelos elaborados para cada resposta, introduziram-se duas repetições do ensaio 6, totalizando 8 experimentos. Nas seis formulações experimentais dos macarrões tipo talharim, as FA, FL e FPG totalizaram 67% dos secos, variando em função do planejamento experimental de misturas, enquanto a água (33%) permaneceu constante para todas as formulações. Não foram utilizados ovos ou aditivos, pois considerou-se que o efeito emulsificante seria realizado pela fibra solúvel (FS) presente na linhaça (SOZER, 2009)

Para melhor visualização dos efeitos das variáveis independentes (FA, FL e FPG) sobre as variáveis dependentes tempo ótimo de cozimento (TOC), aumento de massa (AM), perda de sólidos em água (OS), parâmetros de cor (L*, a* e b*) e textura

(firmeza – FIR e pegajosidade – PEG) foram utilizados os pseudocomponentes que, neste estudo, foram determinados conforme a equação proposta por Barros Neto, Scarmínio e Bruns (2003) (Equação 6).

$$x_i = \frac{c_i - a_i}{1 - \sum_{i=1}^{q} a_i} \qquad \text{(Equação 6)}$$

Onde: $0 \leq a_i \geq c_i$;

$$\sum_{i=1}^{q} a_i < 1$$

i = 1, 2, 3...., q;

x_i = teor do componente, em termos de pseudocomponente;

c_i = proporção real do componente;

a_i = limite inferior da concentração do componente.

Desta forma, os componentes estudados puderam ser expresso em termos de pseudocomponentes segundo a equação 7 para farinha pré-gelatinizada, equação 8 para a farinha de arroz e equação 9 para farinha de linhaça.

$$X_{\text{Farinha pré-gelatinizada}} = \frac{C_{\text{Farinha pré-gelatinizada}} - 0{,}35}{0{,}2} \qquad \text{(Equação 7)}$$

$$X_{\text{Farinha de arroz}} = \frac{C_{\text{Farinha de arroz}} - 0{,}40}{0{,}2} \qquad \text{(Equação 8)}$$

$$X_{\text{Farinha de linhaça}} = \frac{C_{\text{Farinha de linhaça}} - 0{,}05}{0{,}2} \qquad \text{(Equação 9)}$$

A representação gráfica do sistema de misturas de cada variável resposta foi construída, utilizando-se diagramas triangulares. Após a execução do experimento e a coleta de dados, foi realizado o ajuste de uma equação polinomial para cada resposta,

estimando-se os respectivos coeficientes, através dos modelos canônicos de Scheffé, para três os componentes: modelos linear (Equação 10) e as interações (Equação 11):

$$y = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 \qquad \text{(Equação 10)}$$

$$y = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3 \qquad \text{(Equação 11)}$$

Onde:
y é a variável dependente;
β o coeficiente de regressão para cada componente do modelo;
x_1 = farinha pré-gelatinizada;
x_2 = farinha de arroz;
x_3 = farinha de linhaça;

As variáveis dependentes foram tempo ótimo de cozimento (TOC), aumento de massa (AM), perda de sólidos em água (PS) e de textura (firmeza e pagajosidade). Os dados de cada resposta foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e avaliariam-se a significância ($p \leq 0,05$), o coeficiente de variação, o coeficiente de determinação ajustado (R^2aj) e a falta de ajuste dos modelos matemáticos obtidos. Utilizou-se o programa Statistica versão 7.0 (STATSOFT, 2007) para obtenção do planejamento experimental, análise dos dados e construção dos gráficos.

4.2.7.2 Produção dos macarrões experimentais formulados com diferentes teores das farinhas de arroz, de linhaça e de farinha pré-gelatinizada.

Os macarrões tipo talharim foram produzidos em quatro etapas: pesagem e mistura das farinhas, adição de água, abertura e corte das massas e secagem, sendo realizado em bateladas de 200 g. Inicialmente, a granulometria das farinhas foi ajustada passando-as em peneira 20 *mesh*, em seguida foram misturadas por 5 min em batedeira (Arno, Planetária, São Paulo, Brasil). Acrescentou-se 50 mL de água de água destilada a cada 100 g de farinha e misturou-se por 15 min até a obtenção de uma massa homogênea (Figuras 4 e 5).

Figura 4: Mistura das farinhas: pré-gelatinizada, arroz e linhaça.

Para melhor homogeinização, a massa foi acondicionada em saco de PEBD e armazenada na geladeira, por 10 min. A abertura e corte da massa foi realizada em máquina de macarrão manual (Anodilar, Caxias do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil). A massa foi cilindrada por três vezes, nas espessuras 7, 6, 5 e 4 mm (espessura final), 20 cm de largura e cortadas com 26 cm de comprimento e 0,5 cm de largura, dimensões do macarrão tipo talharim tradicional (Figuras 6 e 7).

As massas frescas foram acondicionadas em bandejas teladas e levadas para estufa de secagem com circulação de ar reguladas a 45 ^{o}C (Figura 8), por 2 h sendo em seu interior colocada uma vasilha com água, para aumentar a umidade relativa do ar no interior da estufa na primeira hora de secagem, a fim de melhorar a qualidade do macarrão (ORMENESSE et al., 1998).

Após secagem, os macarrões foram acondicionados em potes de polietileno de alta densidade (PEAD), com proteção contra a luz e embalados com sacos de PEBD devidamente termoembalados e armazenados a temperatura ambiente até a realização das análises.

Figura 5: Adição de água a mistura de farinha para obtenção da massa.

Figura 6: Abertura da massa.

Figura 7: Corte da massa tipo talharim

4.2.7.3 Análises físicas, químicas e tecnológicas dos macarrões tipo talharim

Os macarrões experimentais de arroz e linhaça foram caracterizados quanto a composição centesimal, tempo ótimo de cozimento (TOC), percentual de aumento de massa (AM), perda de sólidos em água (PS) e de textura (firmeza e pegajosidade). As análises foram feitas em triplicata. As análises foram conduzidas nos laboratórios de Físico-química de Alimentos do Departamento de Ciência e Tecnologia dos Alimentos (DCTA) da Universidade Estadual de Londrina (UEL), nos laboratórios do setor de

Engenharia de Alimentos, da Escola de Agronomia de Engenharia de Alimentos (EAEA) da Universidade Federal de Goiás (UFG) e no laboratório de Tecnologia de Alimentos (DTA), no Departamento de Tecnologia de Alimentos, da Faculdade de Engenharia de Alimentos (FEA), da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

Figura 8: Secagem das massas em estufa de circulação de ar a 45 ^{o}C

Composição centesimal

Realizaram-se análises de umidade, cinzas, proteína (utilizando 6,25 como fator de conversão de N em proteína), lipídios, fibra alimentar (total, solúvel e insolúvel) e carboidratos, valor energético total dos macarrões experimentais de arroz e linhaça como descrito no item 4.2.2.

Tempo ótimo de cozimento

O TOC foi definido como aquele necessário para o desaparecimento da coloração branca do centro da amostra, quando esta foi submetida à pressão entre duas lâminas de vidro, como reportado por Paucar-Menacho et al. (2008), com adaptações. Para tanto, 10 g de amostra foi cozida em 250 mL de água destilada em ebulição, até atingir qualidade visual adequada, em conseqüência da gelatinização do amido, em toda

superfície da massa. O tempo ótimo foi aferido pela compressão da amostra do produto cozido entre duas lâminas de vidro, a cada 2 min, até verificação da total translucidez do gel, em decorrência da gelatinização total do amido (Figura 9).

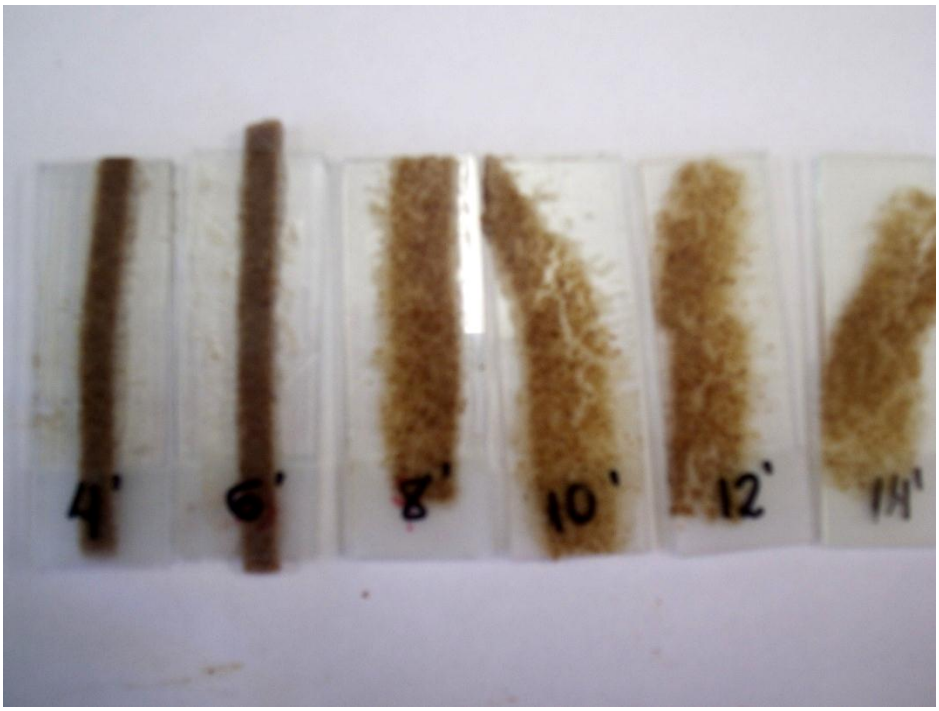


Figura 9: Tempo ótimo de cozimento dos macarrões tipo talharim

Percentual de aumento de massa

Para a determinação de AM, pesou-se 10 g de macarrão cru que foi submetido ao cozimento, utilizando-se o tempo ótimo de cozimento previamente determinado. A água do cozimento foi drenada, aguardou-se 4 min e em seguida o macarrão cozido foi pesado. O AM foi determinado pela razão entre a massa do macarrão cru e o cozido. (NABESHINA; HASHIMOTO; EL-DASH, 2003).

Perda de sólidos em água

A quantidade de PS de cozimento foi determinada pela evaporação de 25 mL de água utilizada no cozimento, em estufa a 105 °C, até peso constante (NABESHINA;

HASHIMOTO; EL-DASH, 2003).

Textura da massa cozida (firmeza e pegajosidade)

A textura dos macarrões experimentais cozidos foi medida em texturômetro TA-TXT2i (STABLE MICRO SYSTEMS, 1997), com os corpos de prova A/LKB-F e HDP/PFS, para avaliação dos parâmetros “firmeza” e “pegajosidade”, respectivamente.

O teste de firmeza foi conduzido segundo o método n° 16-50 da AACC (2000), método n° 66-50. Os fios de macarrão tipo talharim foram cozidos em água destilada na proporção de 300 mL de água para 25 g de massa, durante o TOC previamente determinado. A água foi drenada e o macarrão foi lavando em água corrente até que estivesse frio e em seguida foram cortados com aproximadamente 5 cm de comprimento. Foram realizadas leituras referentes à força máxima necessária para cortar o macarrão, indicando a firmeza dos diferentes macarrões (Figura 10). As condições de operação do texturômetro para a medida da força em compressão foram: velocidade de pré-teste de 0,5 mm s^{-1}, velocidade de teste de 0,17 mm s^{-1}, velocidade de pós-teste de 10,0 mm s^{-1}, distância de 4,5 mm s^{-1}, trigger: base (altura inicial de 5 mm).

A pegajosidade das amostras foi determinada segundo metodologia proposta por Dexter et al. (1983). Os fios de macarrão tipo talharim foram cozidos em água destilada na proporção de 300 mL de água para 25 g de massa, durante tempo ótimo de cozimento determinado anteriormente. A água foi drenada e o macarrão foi lavando em água corrente até que estivesse frio e em seguida foram cortados com aproximadamente 9 cm de comprimento. Para Smewing (1997), a pegajosidade da massa é definida como a força máxima necessária para separar o probe da superfície da amostra após um tempo de contato. Quanto maior essa força, maior a pegajosidade da amostra. As condições de operação do aparelho utilizada para o teste de adesividade foram: velocidade de pré-teste de 1,0 mm/s, velocidade de teste de 0,50 mm/s, velocidade de pós-teste de 10,0 mm/s, distância de 10,0 mm, força: 1000 g, tempo de compressão de 2 s e o trigger: auto – 20 g. A Figura 11, ilustra o momento da realização da análise de pegajosidade.

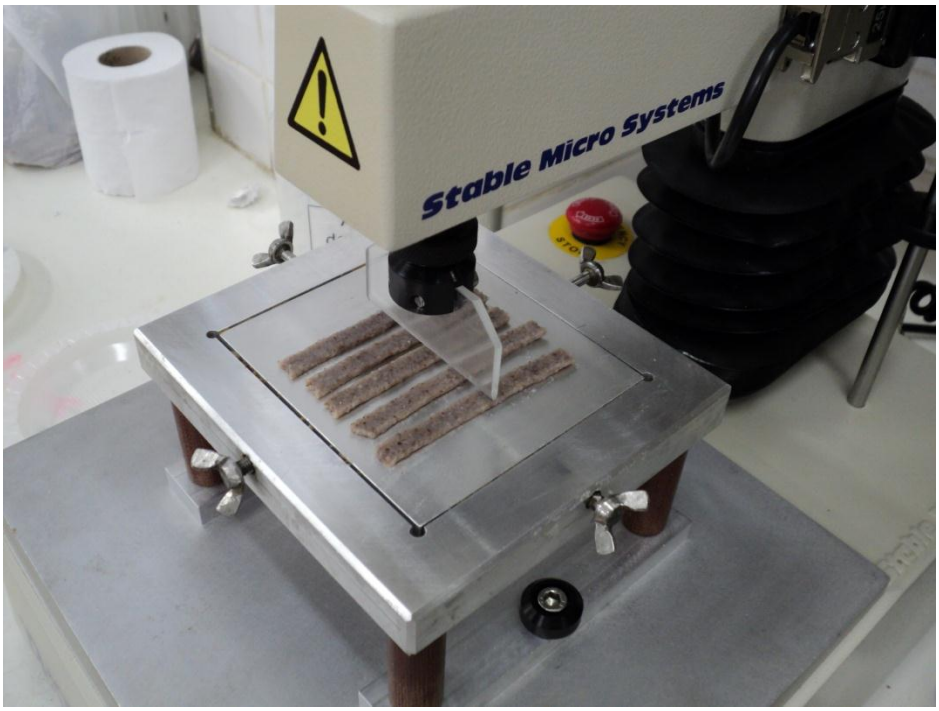


Figura 10: Análise de textura: teste de firmeza do macarrão

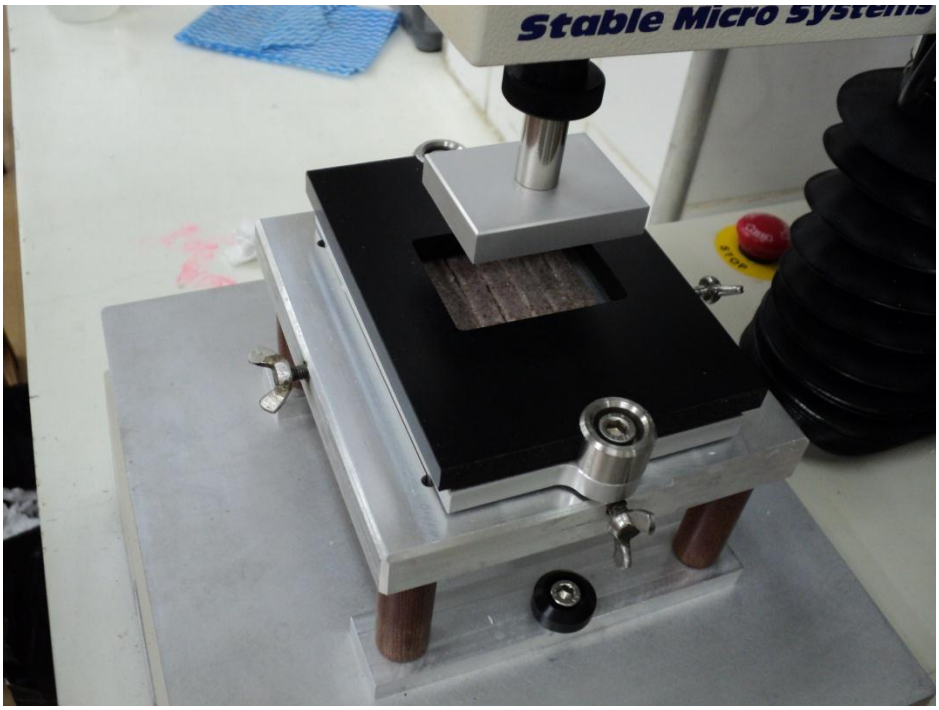


Figura 11: Análise de textura: teste de pegajosidade.

4.2.7.4 Determinação do macarrão experimental de arroz e linhaça com maior desejabilidade de acordo com os parâmetros de qualidade do cozimento

Determinou-se como parâmetro de qualidade as variáveis tempo ótimo de cozimento, aumento de massa e perda de sólidos em água. Segundo (LAI, 2001), o macarrão com melhor qualidade tecnológica é aquele que apresente menor tempo ótimo de cozimento, intermediário aumento de massa e menor perda de sólidos em água. Desta forma, foram atribuídas a estas variáveis notas entre 0, para a menos desejada e 1 como a mais desejada. O cálculo da formulação do macarrão tipo talharim com maior desejabilidade foi determinado por meio do programa Statistica versão 7.0 (STATSOFT, 2007).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ARTIGO 1

PROPRIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS E FUNCIONAIS DE FARINHAS DE ARROZ, DE LINHAÇA E DA MISTA DE ARROZ E LINHAÇA.

RESUMO

Uma farinha mista de arroz e linhaça (80: 20) foi desenvolvida e suas propriedades físicas, químicas e tecnológicas foram comparadas com as farinhas de arroz e de linhaça. Observou-se que a adição de 20 g de farinha de linhaça em 80 g de farinha de arroz elevou ($p \geq 0,05$) os valores de cinzas [260 g $(100g)^{-1}$], proteínas [57 g $(100\ g)^{-1}$], lipídios [306 g $(100\ g)^{-1}$], fibra alimentar total [102 g $(100\ g)^{-1}$], solúvel [844 g $(100\ g)^{-1}$] e insolúvel [1065 g $(100\ g)^{-1}$] e diminuiu o valor energético total [6,3 g $(100\ g)^{-1}$] e de carboidratos [11,54 g $(100\ g)^{-1}$] em relação à farinha de arroz. Os valores obtidos para o índice de solubilidade, L* e coordenadas de cromaticidade a* diferiram ($p \geq 0,05$) entre todas as farinhas, sendo que a farinha de linhaça apresentou os maiores valores do índice de solubilidade e de a*, enquanto que L* foi maior para a farinha de arroz. O valor do índice de absorção de água foi maior ($p \leq 0,05$) para a farinha de linhaça e não diferiu entre as demais farinhas. A capacidade de absorção de óleo também foi maior para a farinha de linhaça que para a farinha mista de arroz e linhaça, enquanto que a farinha de arroz não diferiu ($p \leq 0,05$) das demais. Os valores de b* não diferiram ($p \geq 0,05$) entre a farinha de linhaça e a farinha mista de arroz e linhaça, e foram maiores ($p \leq 0,05$) que o valor obtido para a farinha de arroz. Estes resultados mostram a possibilidade de que nos alimentos que serão elaborados com arroz e linhaça, haver complementaridade dos seus componentes, fazendo deste produto um alimento de boa qualidade, do ponto de vista nutricional, pelo valor protéico e pela a incorporação do teor de fibras e óleos essenciais na dieta. Além de propriedades tecnológicas vantajosas para sua aplicação como ingrediente na formulação de diversos tipos de alimentos, apesar do escurecimento da farinha.

Palavras-chave: *Oryza sativa* L., subproduto, *Linum usitatissimum* L., cor, composição centessimal; propriedades funcionais

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o principal produtor de arroz da America Latina, com aproximadamente 11,7 mil toneladas produzidas na safra de 2009/2010 (CONAB, 2011). O consumo *per capita* de arroz no Brasil é de 108 g por dia, chegando a 70 kg por habitante por ano, fornecendo 14% dos carboidratos, 10% das proteínas e 0,8% dos lipídios necessários, com base em uma dieta de 2000 kcal por dia. O arroz é basicamente um produto amiláceo, pois o amido o maior constituinte do arroz beneficiado, podendo chegar até a 90% de seu peso seco, apresentando quantidades menores de proteínas, lipídios, fibras e cinzas (SILVA, 2007; BORTOLATO et al., 2003; WALTER; MARCHEZAN; AVILA, 2008; ARAÚJO et al., 2003).

Durante seu beneficiamento, são produzidos em média 14% de grãos quebrados, que possuem baixo valor em relação ao grão inteiro. Embora o grão de arroz inteiro seja mais caro que o trigo, o milho e a aveia, a utilização dos grãos quebrados para produção de farinha torna este produto competitivo no mercado (CASTRO et al., 1999).

O arroz também apresenta características especiais que devem ser mais bem aproveitadas. Por exemplo, não é um alimento alergênico; existem variedades com ampla faixa de teor de amilose, o que permite a seleção de acordo com a finalidade; não é tóxico para portadores de doença celíaca (podendo ser utilizado como substituto do trigo na elaboração de produtos sem glúten); o pequeno tamanho dos grânulos de amido apresenta textura extremamente suave com o cozimento e sabor brando; contém baixos níveis de sódio e alta proporção de proteínas facilmente digeríveis. Devido a seus atributos como sabor agradável, cor branca, hipoalergenicidade e facilidade de digestão, a farinha de arroz tornou-se um ingrediente atrativo para a fabricação de alimentos (TORRES et al., 1999).

Linhaça é a semente do linho (*Linum usitatissimum* L.), da família *Linaceae*, planta nativa do oeste asiático e da região do Mediterrâneo. É cultivada principalmente no Canadá, Argentina, Estados Unidos, Rússia e Ucrânia. (MOURA, 2008). Recentes estudos têm classificado esta semente como um alimento funcional devido à presença de nutrientes em sua composição capaz de prevenir doenças cardiovasculares. Assim, sua demanda é crescente no mercado de óleos e farelos (PAN et al., 2009). O grão possui em sua composição química cerca de 30-40% de lipídeos, compostos em sua maioria por ácidos graxos poli-insaturados, 20-25% de proteínas, 20-28% de fibra alimentar

total, com boa proporção entre solúveis e insolúveis, 4-8% de umidade, 3-4% de cinzas, além de minerais e vitaminas A, B, D e E. A composição da linhaça varia em função da cultivar e das condições climáticas durante seu cultivo (GOH et al., 2006). O interesse pela semente de linhaça vem aumentando devido a efeitos fisiológicos favoráveis ao organismo humano, revelados em algumas pesquisas. Estudos têm apontado que a ingestão de 10 g de linhaça ao dia promove alterações dos níveis hormonais, de colesterol total e de LDL, contribuindo com a redução do risco de câncer e diabetes, assim como, favorecendo a diminuição de agregação plaquetária, fortalecendo unhas, dentes e ossos, além de tornar a pele mais saudável (HASLER, 1998).

Visto os benefícios das farinhas de linhaça e de arroz, o objetivo deste trabalho foi elaborar e estudar as características físicas, químicas e tecnológicas da farinha mista de arroz e linhaça, comparando com a farinha de arroz e a de linhaça, visando ampliar as possibilidades de uso da linhaça e de subproduto do beneficiamento de arroz como ingrediente para elaboração de derivados para a alimentação humana.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Para a produção da farinha de arroz (*Oryza sativa* L.) foram utilizados grãos quebrados, doados pela empresa Arroz Cristal Ltda., localizada em Aparecida de Goiânia, Goiás, Brasil. A farinha de linhaça marrom desengordurada (FL) (*Linum usitatissimum* L.) foi doada pela empresa Vitao Alimentos Ltda., localizada em Curitiba, Paraná, Brasil.

2.1 Preparo das farinhas de arroz e de linhaça

A farinha de arroz (FA) foi obtida após a moagem dos grãos quebrados em moinho de martelos (Marconi, MA-090/CF, Piracicaba, Brasil), com peneira de 30 *mesh*. Depois foi acondicionada em embalagens plásticas de polietileno de baixa densidade (PEBD) e armazenada a temperatura ambiente, até a realização das análises.

2.2 Produção da farinha mista de arroz e linhaça

As FA e FL foram pesadas na proporção 80:20, homogeneizadas em misturador tipo Y (Tecnal, TE-201/10, Piracicaba, Brasil), por 15 min, em bateladas de 2 kg. A farinha mista de arroz e linhaça (FMAL) obtida foi armazenada em embalagens de PEBD e mantidas sob refrigeração, até posterior análise.

2.3 Caracterização química, física e tecnológica das farinhas de arroz, linhaça e mista de arroz e linhaça

As FA, FL e FMAL foram caracterizadas quanto os teores de umidade, cinzas, proteína bruta, com fator conversão do nitrogênio em proteína de 5,75 para FA e 6,25 paras as demais farinhas, lipídios totais, fibra alimentar total, solúvel e insolúvel, todos recomendados pela AOAC (1997). O teor de carboidratos foi obtido pelo cálculo da diferença entre 100 g do alimento e a soma total dos valores encontrados para umidade, proteínas, cinzas e lipídios.

Os parâmetros instrumentais de cor foram determinados em colorímetro (ColorQuest II, Hunter Lab Reston, Canadá), conforme relatado por Paucar-Menacho et al. (2008). O índice de absorção em água (IAA) e de solubilidade em água (ISA) foi determinada por ANDERSON et al. (1969). A capacidade de absorção de óleo (CAO) foi determinada segundo método descrito por Castilho, Fontanari e Batistuti (2010).

As microestruturas da FA e da FL foram visualizadas através de imagens obtidas pelo microscópio de varredura eletrônica (FEI Company, Quanta-200, Netherlands, EUA). As amostras foram alocadas em *stubs* de alumínio, utilizando-se uma fita dupla face, banhados com filme de ouro (10 nm) e examinadas com voltagem de aceleração de 10 kV, em aumentos de 200x e 1600x. Todas as amostras foram analisadas em triplicata.

2.4 Análise estatística

Utilizou-se delineamento inteiramente casualizado, com três tratamentos e três repetições originais. Os dados foram avaliados por meio da análise de variância

(ANOVA) e as médias obtidas foram comparadas por teste de Tukey ($p \leq 0,05$), com auxílio do programa Statistica, versão 7.0 (STATSOFT, 2007).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Composição centesimal das farinhas

Os dados de cinzas, proteínas, lipídios, carboidratos, as fibras alimentar total, solúvel e insolúvel, o valor energético total de FA, FL e FMAL 80:20 (g/ g) e o teor de amido e amilose da FA podem ser visualizados na Tabela 1.

Tabela 1: Composição centesimal e valor energético total (VET), em base seca, das farinhas de arroz (FA), farinha de linhaça (FL) e farinha mista de arroz e linhaça na proporção 80:20 (g/g)

Composição centesimal	**Tratamento****		
	Farinha de arroz	**Farinha de linhaça**	**Farinha Mista**
Umidade[1]	$10,82^{a} \pm 0,14$	$9,81^{b} \pm 0,02$	$10,59^{a} \pm 0,07$
Cinzas[1]	$0,53^{c} \pm 0,01$	$5,96^{a} \pm 0,10$	$1,92^{b} \pm 0,04$
Proteínas[1]	$8,14^{c} \pm 0,11$	$25,03^{a} \pm 0,98$	$12,85^{b} \pm 0,41$
Lipídios[1]	$1,40^{c} \pm 0,03$	$21,19^{a} \pm 1,09$	$5,68^{b} \pm 0,41$
Carboidratos[1]	$89,93^{a} \pm 0,13$	$47,82^{c} \pm 0,46$	$79,55^{b} \pm 0,48$
Fibra Alimentar total[1]	$1,33^{c} \pm 0,02$	$39,78^{a} \pm 0,05$	$13,57^{b} \pm 0,02$
Fibra solúvel[1]	$0,27^{b} \pm 0,01$	$7,58^{a} \pm 0,02$	$2,28^{c} \pm 0,02$
Fibra insolúvel[1]	$1,06^{c} \pm 0,01$	$32,20^{a} \pm 0,15$	$11,29^{b} \pm 0,03$
VET[2]	$400,64^{a} \pm 0,86$	$353,31^{c} \pm 3,48$	$375,56^{b} \pm 0,88$

** Letras diferentes na mesma linha indicam diferença significativa pelo Teste Tukey ($p \leq 0,05$).
[1] g (100 g)$^{-1}$
[2] kcal (100 g^{-1})

O teor de umidade de farinhas deve ser firmemente controlado, pois este parâmetro figura como um dos principais fatores de aceleração de reações químicas nestes alimentos, provocando alterações nas suas características nutricionais, sensoriais e tecnológicas. Teores de umidade abaixo do limite máximo permitido (14 g 100g^{-1}) normalmente asseguram a conservação da qualidade das farinhas durante a estocagem comercial (FARONI et al. 2007). O teor de umidade médio encontrado para FA, FL e FMAL foram, respectivamente, 10,82, 9,81, 10,59 g (100 g)$^{-1}$, todas as amostras

apresentaram-se dentro dos padrões exigidos pela legislação Brasileira (BRASIL, 1978).

Todas as farinhas diferiram ($p \leq 0,05$) em relação à composição centesimal. Os maiores teores de carboidratos e valor energético total foram encontrados para FA, enquanto que cinzas, proteínas e lipídios foram maiores para FL. Observou-se que a adição de 20 g de FL em 80 g de FA aumentou significativamente ($p \geq 0,05$) os teores de cinzas, proteínas, lipídios e fibra alimentar total (inclusive as frações solúvel e insolúvel) e diminuiu o teor de carboidratos e valor energético total da FMAL em relação à FA.

A composição média da farinha de arroz obtida por vários autores foi 0,5 g (100 g)$^{-1}$ de cinzas, 8 g (100 g)$^{-1}$ de proteínas, 0,8 g (100 g)$^{-1}$ de lipídios, 89 g (100 g)$^{-1}$ de carboidratos e 350 kcal (100 g)$^{-1}$ de produto (MAIA et al., 1999; ZHENG et al., 1995; SILVA; ASCHERI; PREREIRA, 2007; WALTER; MARCHEZAN; AVILA, 2008; WANG et al., 1999; JULIANO, 1993), dados que concordam com os encontrados para a FA utilizada neste estudo.

Em relação da FL, apesar desta apresentar elevado valor de carboidratos, não pode ser caracterizado como alimento fonte deste nutriente, uma vez que é isenta de amido, destacando-se principalmente sua elevada concentração de fibra alimentar total (TRUCON, 2006). Os valores de fibra alimentar total e proteína presentes na amostra de linhaça estão de acordo com os valores reportados por Bozan e Temelli (2008), que encontraram para FL valores de 38,1 g (100 g)$^{-1}$ de fibra alimentar total, 17,9 g (100 g)$^{-1}$ de proteína e 33 g (100 g)$^{-1}$ para lipídios, enquanto que Monego (2009) observou valores de 45 g (100 g)$^{-1}$, 16 g/(100g)$^{-1}$ e 32,94 g (100 g)$^{-1}$, respectivamente para os mesmo componentes. Pelo fato da FL utilizada neste estudo ter sido parcialmente desengordura, observou-se menor valor de lipídios e conseqüente maior teor de proteína. O teor de óleo da semente de linhaça variou entre 32 e 38 g (100 g)$^{-1}$; proteína entre 26 e 32 g (100 g)$^{-1}$ e fibra total entre 37 e 47 g (100 g)$^{-1}$, sendo estas variações atribuídas às alterações genéticas, ao meio ambiente ou ao método analítico para sua determinação (CARTER, 2011).

Verificou-se que a adição de 20 g de FL em 80 g de FA, aumentou significativamente os valores de cinzas (260 %), proteínas (57 %), lipídios (306 %), fibra alimentar total fibra alimentar total (920 %), solúvel (744 %) e insolúvel (965 %) e diminuiu o valor energético total (6,3 %) e de carboidratos (11,54 %), conferindo a

FMAL características nutricionais superiores a FA. Desta forma, é indicada adição de FL para aumentar a qualidade nutricional de produtos cuja FA seja matéria-prima principal, tais como massas alimentícias, pães, bolos, cremes e sopas instantâneas.

A adição de 30 % de FL em formulação de pães aumentou os valores de proteína (13 %), fibra alimentar total (70 %) e diminuiu os carboidratos (13%), além de melhorar o perfil lipídico (188 %), incorporando a este alimento os ácidos linolênico (1400 %) e linoléico (100 %), naturalmente presente na semente de linhaça, quando comparado com o controle. A substituição de 50 % de FL na produção de *muffins* aumentou os teores de proteína (24 %), lipídios (44 %) e fibra alimentar total (242 %) e reduziu carboidratos (20 %), conferindo a este produto melhor qualidade nutricional quando comparado ao controle (LIPILINA; GANJI, 2009).

Shearer e Davies (2005) relataram que a substituição parcial em produtos de panificação à base de farinha de trigo por alimentos ricos em proteínas [10 a 20 g (100 g)$^{-1}$] pode melhorar sua qualidade nutricional sem causar alteração na textura e redução de volume durante o cozimento. Estudos relatam que a substituição de 20 a 25 g (100 g)$^{-1}$ de FL em produtos como pães, pizza, *cookies* e bolos conferiram melhor textura, coloração de crosta e sabor a estes produtos, devido principalmente a sua alta concentração de proteínas, lipídios e fibra alimentar (KOCA; ANIL, 2007; LIPILINA; GANJI, 2009).

3.2 Propriedades funcionais das farinhas

O Índice de solubilidade em água (ISA), o índice de absorção de água (IAA), a capacidade de absorção de óleo (CAO), a luminosidade (L^*) e as coordenadas de cromaticidade a^* e b^* da FA, da FL e FMAL estão apresentados na Tabela 2.

Os valores obtidos para ISA, L* e a* diferiram ($p \geq 0,05$) entre todas as farinhas, sendo que os maiores valores de ISA e a* foram encontrados para a FL, enquanto que L* foi maior para FA. O valor de IAA foi maior ($p \leq 0,05$) para FL e não diferiu entre as demais farinhas ($p > 0,05$). O CAO também foi maior na FL que na FMAL ($p \leq 0,05$), enquanto que FA não diferiu das demais ($p > 0,05$). Os valores de b* não diferiram entre FL e FMAL ($p > 0,05$), que foram maiores que FA ($p \leq 0,05$).

Tabela 2: Índice de solubilidade em água (ISA), índice de absorção de água (IAA), capacidade de absorção de óleo (CAO), luminosidade (L^*) e coordenadas de cromaticidade a^* e b^* da farinha de arroz (FA), farinha de linhaça (FL) e farinha mista (FMAL)

Propriedade	Tratamento**		
	Farinha de arroz	**Farinha de linhaça**	**Farinha Mista**
ISA[1]	3,46±2,84[c]	30,13±1,42[a]	8,72±0,22[b]
IAA[2]	2,84±0,03[b]	7,77±0,16[a]	2,72±0,08[b]
CAO[2]	1,72±0,09[a,b]	1,85±0,05[a]	1,63±0,03[b]
L*	86,24±0,47[a]	46,86±0,24[c]	70,88±0,75[b]
a*	0,48±0,05[c]	6,58±0,07[a]	2,73±0,21[b]
b*	5,86±0,29[b]	6,45±0,25[a]	6,53±0,13[a]

** Letras diferentes na mesma linha indicam diferença significativa pelo Teste Tukey ($p \leq 0,05$)
[1] g (100 g)$^{-1}$; [2] g de gel (g matéria seca)$^{-1}$.

As farinhas cruas, geralmente, apresentam baixa capacidade de absorção de água e solubilidade em água em temperatura ambiente. O valor encontrado para o IAA da FA foi semelhante, enquanto o valor do ISA foi superior aos valores verificados por Dors, Castiglioni e Augusto-Luiz (2006), 2,84 g gel (g de matéria seca)$^{-1}$ e 2,1 g (100 g)$^{-1}$, respectivamente. Estes valores devem-se principalmente a estrutura cristalina do amido nativo, que limita a absorção e solubilização dos grânulos em água (DENARDIN; SILVA, 2009). Quando o amido nativo entra em contato com a água fria, os grânulos incham ligeiramente (10 a 20%), devido à difusão e absorção de água nas regiões amorfas, mas esse processo é reversível pela secagem (WHO/FAO, 1998). Segundo SINGH et al. (2003), quando as moléculas de amido são aquecidas em excesso de água, a estrutura cristalina é rompida, e as moléculas de água formam pontes de hidrogênio entre a amilose e amilopectina, expondo seus grupos hidroxilas, o que causa um aumento no inchamento e na solubilidade do grânulo.

A FL apresentou elevado valor de ISA e IAA, devido à alta concentração de fibra solúvel, que possuiu a capacidade de absorver 16 a 30 vezes o seu peso de água (CUI et al. 1996; MAZZA; BILIADERIS, 1989). A adição de FL não foi suficiente para aumentar significativamente ($p \geq 0,05$) o IAA da FMAL, resultado inesperado, mas aumentou os valores de ISA.

As aparências dos centrifugados formandos pela FA, FL e FMAL podem ser visualizadas na Figura 15. O gel formado pela FL é muito visível, enquanto que na FA não houve formação de gel, mas de uma suspensão concentrada. Na FMAL houve formação de gel, porém em menor quantidade que na FL. Para a mesma massa de FA e

FMAL foram obtidos diferentes volumes, devido à FL ter absorvido quantidades maiores de umidade que a FMAL, o que ocorreu provavelmente devido a FL possuir maior teor de fibra alimentar solúvel (Figura 1).

Figura 1: Aparência dos centrifugados formados pela FA, FL e FMAL, após determinação do IAA pela metodologia descrita por Anderson et al., 1969.

A mistura de milho e linhaça na proporção de 80: 20 (g:g), apresentou valores de IAA de 2,6 g de gel (g matéria seca)$^{-1}$ e ISA de 4,6 g (100 g) $^{-1}$(AHMED, 1999), valores maiores que os obtidos neste estudo. Observou-se ainda nesse estudo que o aumento da concentração de FL aumentou, também, os valores destes índices. Estes valores refletiram a presença de grânulos de amido intactos presentes na farinha de milho crua, tornando mais difícil a absorção de água.

Em massa de pão com adição de 5 g de FL em 95g de farinha de trigo, observou-se uma maior capacidade de absorção de água quando comparada com a formulação controle, sendo esta capacidade elevada à medida que aumentou o percentual de substituição de 5 para 20 g. Este aumento foi associado, principalmente ao aumento do conteúdo de fibra associada à FL (KOCA; ANIL, 2007), conforme ocorrido neste trabalho.

A adição de 0,1 a 0,5% de goma de linhaça em *muffins* resultou em melhoras significativas no volume, altura e viscosidade dos tratamentos testes em relação ao controle (isento de goma de linhaça) (STEWART, 1997). Outro estudo revelou que a adição de 0,6-15% de concentrado de goma e de proteína de linhaça na proporção de 36:

45 (g:g) em pães, melhorou a capacidade de hidratação e reduziu as perdas de água durante o forneamento. Em molho de salada, a adição de 0,75% de goma da linhaça contribuiu significativamente para a estabilização e manutenção da viscosidade da emulsão (MAZZA, 2000).

A FL diferiu ($p \leq 0,05$) da FMAL em relação à CAO, mas a FA não diferiu das demais ($p \geq 0,05$). A proteína da linhaça é capaz de ligar-se às moléculas de gordura, principalmente devido à presença de grupos apolares na proteína, indicando que além da sua qualidade nutricional, associada a sua capacidade de absorção de água, FL pode ainda ser utilizada como emulsificante e estabilizante na indústria de alimentos, semelhante à goma guar ou arábica (OOMAH; MAZZA, 1997; MAZZA, 2000; OOMAH; DER; GODFREY, 2006). Becker (2010), ao estudar a CAO de diferentes cultivares de arroz, encontrou valores próximos 1,80 g ± 0,02 de gel (g matéria seca)$^{-1}$, ao valor encontrado neste estudo para a FA.

3.3 Parâmetros instrumentais de cor das farinhas

Em relação aos parâmetros de cor, observou-se alto valor de luminosidade para a FA, ou seja, uma coloração mais clara. A adição de FL reduziu o valor de L* e aumentou o valor de a* e b*, conferindo uma coloração mais escura a FMAL em relação à FA, com maior tendência ao vermelho e ao amarelo.

Em um estudo, a utilização de linhaça aumentou significativamente a coloração de macarrão fresco antes e após o cozimento. A massa fresca apresentou coloração mais avermelhada (maiores valores de a*) e mais escura (baixos valores de L* e b*) à medida que a concentração de FL foi aumentando de 5 para 20 g (100 g)$^{-1}$ (SHINA; MANTHEY, 2008), conforme observado na FMAL deste trabalho em relação a FA.

No trabalho de Koca e Anil (2007), diferenças significativas foram observadas na crosta de pães produzidos com FL, com redução dos valores de L* e aumento de croma a* e b* quando comparado com o controle (somente com farinha de trigo). O miolo do pão controle foi mais pálido que aquele adicionado de FL, a coloração da crosta tornou-se mais escura à medida que aumentou-se a nível de substituição de farinha de trigo por FL. Com o aumento da concentração de FL nas formulações,

ocorreu uma diminuição do valor de L* e aumento do a* tornando o miolo do pão mais escuro quando comparado com o controle.

3.4 Microscopia eletrônica de varredura

As imagens obtidas através da microscopia eletrônica para as farinhas de arroz e linhaça podem ser visualizadas na Figura 2.

Os componentes de ambas as farinhas apresentaram-se soltos ou aglomerados com sua integridade preservada. Pelas imagens (Figura 2A e 2C) podem ser identificados grânulos de amido com seu formato poliédrico característico peculiar do arroz e materiais não amiláceos, que se acham aderidos entre si ou aos grânulos de amido. Nas Figuras 2B e 2D, observa-se a estrutura das fibras, encapsulando os demais componentes presentes na linhaça.

4. CONCLUSÃO

A FL apresenta maiores teores de proteínas, lipídeos, fibras e cinzas do que a FA. Por ser tratar de um alimento amiláceo e altamente energético a FA apresentou maior teor de carboidratos, constituído principalmente de amido, enquanto os de FL são constituídos principalmente de fibra alimentar. A adição de 20 g $(100\ g)^{-1}$ de FL na FA melhorou significativamente os teores de cinzas, proteínas, lipídios e fibra alimentar, tanto solúvel como insolúvel, da FMAL

Devido à variação dos componentes químicos analisados, principalmente lipídios, cinzas, proteína e fibra, é viável elaborar derivados da mistura de arroz com linhaça que apresente valor nutricional e funcional adequado para sua utilização na alimentação. Além de melhorar as propriedades de absorção e solubilidade em água e a capacidade de absorção de óleo.

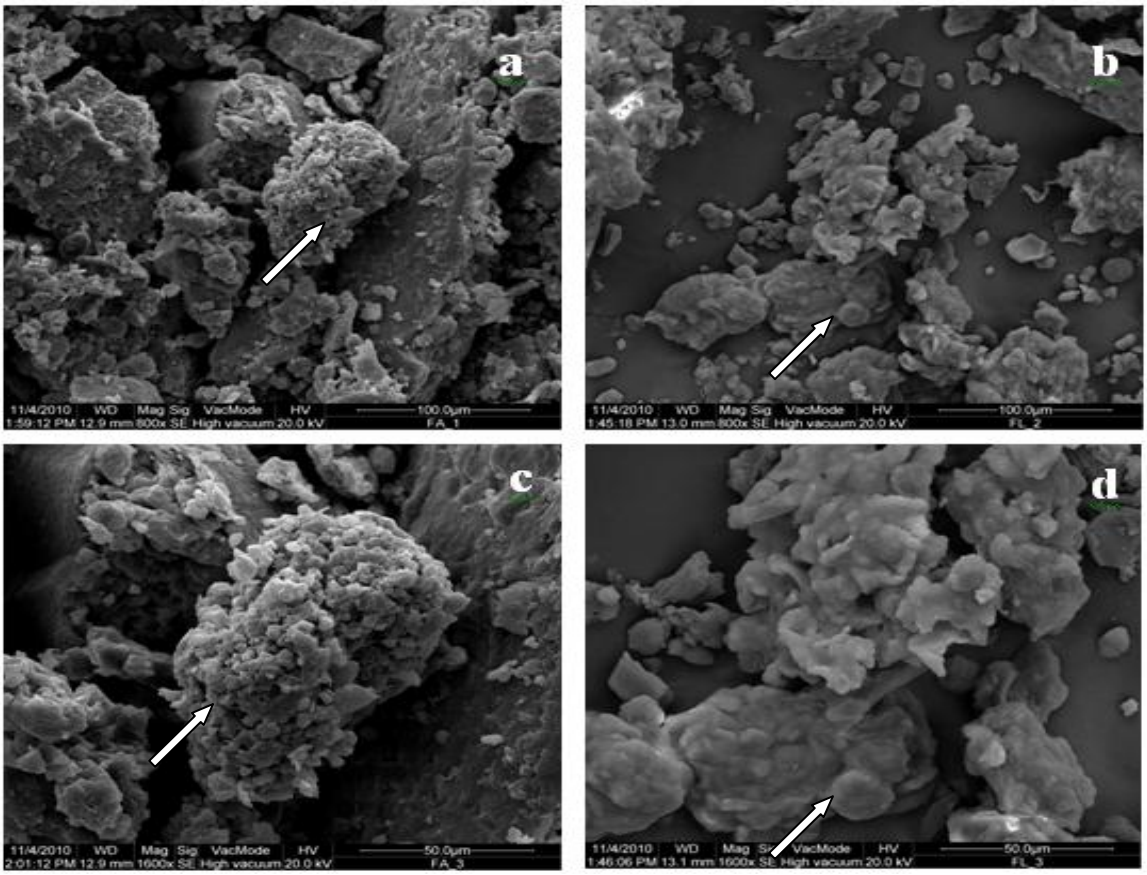


Figura 2: Imagens obtidas através de microscopia eletrônica: a: Farinha de arroz crua (200X); b: Farinha de linhaça (200X); c: Farinha de arroz (1600X) e d: Farinha de linhaça (1600X)

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AACC. American Association of Cereal Chemists. **Approved Methods of the AACC**. 10. ed. St.Paul: AACC, 2000.

AHMED, Z. S. Physico-chemical, structural and sensory quality of cornbased flax-snack, **Food/Nahrung**, Weinheim, v. 43, n. 4, p. 253 – 258, 1999.

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

AOAC INTERNATIONAL ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of AOAC International**. 16. ed. Gaitherburg: AOAC International, 1997.

ARAUJO, E. S.; SOUZA, S. R.; MANILO, S. F. Características morfológicas e moleculares e acúmulo de proteína em grãos de variedades de arroz do Maranhão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 11, p. 1281-88, 2003.

BARROS NETO, B.; SCARMÍNIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Planejamento e otimização de experimentos.** Campinas: Unicamp, 2003. 299p.

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

BORTOLATO, D. S.; CASTIGLIONI, G. L.; DORS, G. C.; SILVA, K. A. D. ; KUHN, R. C.; RUIZ, W. A. **Principais características físico-químicas de farinhas de arroz**. In: XVII CONGRESSO REGIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA, 18, 2003, Itajaí. **Anais...** Itajaí: Fundação Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003. 1 *CD-ROM*

BOZAN, B.; TEMELLI, F. Chemical composition and oxidative stability of flax, safflower and poppy seed and seed oils. **Bioresource Technology,** Columbus, v. 99, n. 14, p. 6354-6359, 2008.

BRASIL, Agência Nacional de Vigilância Santiária. **Resolução CNNPA nº 12, de 24 de julho de 1978** – Aprova o regulamento para padrão de identidade e qualidade para os alimentos (e bebidas). Brasília, DF. ANVISA, 1978. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/12_78.pdf>. Acesso em 03 maio 2011.

BRASIL. Secretaria da Agricultura, do Abastecimento e Reforma Agrária. Portaria nº 554 de 30 de agosto de 1995, **Diário Oficial**, Brasília,1 set. 1995, Seção 1.

CARTER, J. **Flaxseed as functional food for people... and as feed for other animals**. North Dakota State University Disponível no site: <ttp://www.ag.ndsu.nodak.edu/plantsci/flaxseed.htm>. Acessado em: 14 abr. 2011.

CASTILHO, F.; FONTANARI, G. G.; BATISTUTI, J. P. Avaliação de algumas propriedades funcionais das farinhas de tremoço doce (*Lupinus albus*) e feijão guandu (*Cajanus cajan* (L) *Millsp*) e sua utilização na produção de fiambre. **Ciência e Tecnologia dos alimentos**, Campinas, v. 30, n. 1, p. 68-75, 2010.

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

CHEN, H.; XU, S.; WANG, Z. Gelation properties of flaxseed gum. **Journal of Food Engineering**, London, v. 77, n. 2, p. 295-303, 2006.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra de grãos:** safra 2010/2011 nono levantamento, março 2011. Brasília: Conab, 2011. Disponível em: <www.conab.gov.br/.../11_06_08_09_01_36_graos_-_boletim_junho-2011>. Acessado em: 24 de maio de 2011.

CUI, W.; MAZZA, G. Phvsicochemical characteristics of flaxseed gum**. Food Research International**, Barking, v. 29, n. 3-4, p. 397-402, 1996.

DENARDINI, C. C.; SILVA, L. P. D. Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.3, p. 945-954, 2009.

DORS, G. C; CASTIGLIONI, G. L.; RUIZ, W. A. Flan sabor chocolate elaborado com farinha de arroz. **Vetor**, Rio Grande, v. 16, n. 1 p. 63-67, 2006.

FARONI, L. R. D.; BERBERT, P. A.; MARTINAZZO, A. P.; COELHO, E. M. Qualidade da farinha obtida de grãos de trigo fumigados com dióxido de carbono e fosfina. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 115-119, 2007.

GOH**,** K. K. T.; PINDER, D.N.; HALL, C. E.; HEMAR, Y. Rheological and light scattering properties of flexseed polysaccharide aqueous solutions. **Biomacromolecules**, Washington, v.7, n. 11, p. 3098-3103, 2006.

HASLER, C. M. Functional foods: their role in disease prevention and health promotion. **Food Technology**, London, v. 52, n. 11, p. 63-70, 1998.

JULIANO, B. O.; BOULTER, D. B. The rice grain and its gross composition. In: **Rice chemistry and technology**. 2 ed. American Association of Cereal Chemists. St. Paul: AACC, 1985, p.17-57.

JULIANO, B.O. **Rice in human nutrition**. International Rice Research Institute: Philippines, 1993, 164 p.

KOCA, A. F.; ANIL, M. Effect of flaxseed and wheat flour blends on dough rheology and bread quality. **Journal of Science Food and Agriculture**, Malden, v. 87, n. 6, p.1172–1175, 2007.

LIPILINA, E.; GANJI, V. Incorporation of ground flaxseed into bakery products and its effect on sensory and nutritional characteristics – a pilot study. **Journal of Food Service**, Malden, v. 20, n. 1, p. 52–59, 2009.

MAIA, L. H.; WANG, S. H.; ASCHERI, J. L.R.; CABRAL, L. C.; FERNANDES, M. S. Viscosidade de pasta, absorção de água e índice de solubilidade em água dos mingaus desidratados de arroz e soja. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos,** Campinas, v. 19, n. 3, p. 391-396, 1999.

MAZZA, G. **Alimentos funcionales:** aspectos bioquímicos y de procesado. Zaragoza: Editora Acribia, S. A., 2000. 480p.

MAZZA, G.; BILIADERIS, C. G. Functional properties of flaxseed mucilage. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 54, n. 5, p.1302-1305, 1989.

MONEGO, M. A. **Goma da linhaça (Linum usitatissimum L.) para uso como hidrocolóide na indústria alimentícia**. 2009. 130f. Dissertação – (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

MOURA, N. C. **Características físico-químicas, nutricionais e sensoriais de pão de forma com adição de grãos de linhaça (*Linum usitatissimun*)**. 2008. 95 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

ONG, M.H.; BLANSHARD, J.M.V. Texture determinants in cooked, parboiled rice I: rice starch amylose and the fine structure of amylopectin. **Journal of Cereal Science**, London, v.21, p.251-260, 1995.

OOMAH, B D.; MAZZA, G. Effect of dehulling on chemical composition and physical properties of flaxseed. **Lebensmittel-Wissenschaftund-Technologie**, London, v. 30, n. 2, p. 135-140, 1997.

OOMAH, B. D.; DER, T. J.; GODFREY, D.V. Thermal characteristics of flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) proteins, **Food Chemistry,** London, v. 98, n. 4, p. 733–741, 2006.

ORMENESE, R. D. C. S. C.; CHANG, Y. K. Macarrão de arroz: características de cozimento e textura em comparação com o macarrão convencional e aceitação pelo consumidor. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 1, n 6. p. 91-97, 2003.

PAN, A.; YU, D.; DEMARK-WAHNEFRIED, W.; FRANCO, O. H; LIN, XU. Meta-analysis of the effects of flaxseed interventions on blood lipids. **American Journal of Clinical Nutrition**, Bethesda, v. 90, n. 2, p. 288-297, 2009.

PAUCAR-MENACHO, L. M.; SILVA, L. H. D.; BARRETTO , P. A. D. 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.

SHEARER, A. E. H.; DAVIES, C. G. A. Physicochemical properties of freshly baked and stored whole-wheat muffins with and without flaxseed meal. **Journal of food quality**, Wastport, v. 28, n. 2, p. 137-153, 2005.

SILVA, E. M. M. **Produção de macarrão pré-cozido à base de farinha mista de arroz integral e milho para celíacos utilizando o processo de extrusão**. 2007. 118f. Dissertação (Mestrado em Ciência) Rio de Janeiro, 2007.

SILVA; R. F. D.; 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.

SINGH, N.; SINGH, J.; KAUR, L.; SODHI, N. S.; GILL, B. S. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. **Food Chemistry**, London, v. 81, n. 2, p. 219-231, 2003.

SINHA, S.; MANTHEY, F. A. Semolina and hydration level during extrusion affect quality of fresh pasta containing flaxseed flour. **Journal of Food Processing and Preservation,** Westport, v. 32, n. 4, p. 546–559, 2008.

SOZER, N. Rheological properties of rice pasta dough supplemented with proteins and gums, **Food Hydrocolloids**, London, v. 23, n. 3, p. 849-855, 2009.

STASOFT. **STATISTICA 7.0 for Windows** – Computar program manual. Tulsa: Statsoft, Inc., 2007. CD Room.

TORRES, R.L; GONZÁLES, R.J.; SÁNCHEZ, H.D.; OSELLA, C.A, TORRES, M. A. G. Comportamiento de variedades de arroz em la eleboracion de pan sin glúten. **Arch Latin Nutri**, Riberão Preto v. 9, n. 2, p. 162-165, 1999.

TRUCOM, C. **A importância da linhaça na saúde.** São Paulo: Editora Alaúde. 2006. 151p.

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

WANG; S. H.; CABRAL, L. C.; MAIA, L. H.; ARAUJO, F. B. Mingau de arroz e soja pronto para consumo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.5, p.855-860, 1999.

WHO/FAO. **Carbohydrates in human nutrition**. Rome: FAO, 1998, (FAO food and nutrition paper no. 66).

ZHENG, Z.; SINGH, A.; SINDHU, A.; MURAI, N. The bean seed storage protein β-phaseolin is synthesized, processed, and accumulated in the vacuolar type- II protein bodies of transgenic rice endosperm. **Plant Physiology**, v.109, p.777-786, 1995.

SOZER, N. Rheological properties of rice pasta dough supplemented with proteins and gums, **Food Hydrocolloids**, London, v. 23, n. 3, p. 849-855, 2009.

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

5.2 ARTIGO 2

PROPRIEDADES FUNCIONAIS E COR DE FARINHAS MISTAS DE ARROZ E LINHAÇA PRÉ-GELATINIZADAS EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE UMIDADE E TEMPERATURA DE EXTRUSÃO

RESUMO

As propriedades funcionais e os parâmetros instrumentais de cor de farinhas mistas de arroz e linhaça (80: 20) submetidas a diferentes condições de extrusão, utilizando uma extrusora de rosca simples, com umidade da matéria-prima de 12 a 20 g (100 g^{-1}) e temperatura entre 60 a 120 ^{o}C foram investigadas. Foram determinados o índice de solubilidade (ISA), índice de absorção (IAA), capacidade de absorção em óleo (CAO) e parâmetros instrumentais de cor (L*, a* e b*), além de serem realizadas microscopias eletrônicas das farinhas. Ocorreu aumento do índice de solubilidade e absorção de água e capacidade de absorção de óleo após extrusão. Os maiores valores de índice de solubilidade [21,36 g $(100g)^{-1}$] e absorção de água [10,23 g de gel (g de matéria seca)$^{-1}$] e menores de capacidade [2,18 g de gel (g de matéria seca)$^{-1}$] de absorção em óleo foram encontrados nas maiores umidades e menores temperaturas estudadas. Os parâmetros de cor também foram afetados pelas condições do processo, tornando as farinhas mais escuras (diminuição de L*), com maior tendência para os tons de vermelho e amarelo (aumento de a* e b*). Os maiores valores de L* (61,7) e b* (10,23) foram encontrados em maiores umidades e em elevadas temperatura, enquanto os menores de a* (abaixo de 3,8) foram encontrados em umidades de 12 a 14,3 g $(100\ g)^{-1}$ e na faixa de temperatura entre 87,5 e 120 ^{o}C. O processo de extrusão promove uma fusão entre os componentes das farinhas, tornando-a uma massa amorfa, com superfícies lisas e estriadas (no sentido do canhão de extrusão). Essas alterações indicam que o processo de extrusão pode ser utilizado em misturas de arroz e linhaça a fim de tornar viável sua utilização na indústria de alimentos por proporcionar alterações funcionais que são interessantes do ponto de vista tecnológico.

Palavras-chave: *Oryza sativa* L., *Linum usitatissimum* L., índice de solubilidade em água, índice de absorção de água, capacidade de absorção de óleo.

1 INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um dos cereais mais produzidos e consumidos no mundo. O Brasil é o principal produtor de arroz da América Latina, com aproximadamente 11,7 milhões de toneladas produzidas na safra de 2009/2010 (CONAB, 2011). Quando o arroz é submetido ao beneficiamento industrial, uma parcela de grãos quebra, gerando três frações: os quebrados grandes ou canjicões, os quebrados médios ou canjicas, e os quebrados pequenos ou quireras. O beneficiamento convencional de industrialização de arroz branco polido, que representa cerca de 70% da produção e do consumo nacional, é o método que apresenta maior percentual de grãos quebrados durante o processamento (CARDOSO, 2003; ELIAS; FRANCO, 2006).

Para o aproveitamento dos grãos quebrados, uma solução seria a produção de farinha de arroz (FA), aumentando o valor agregado desta matéria-prima, considerada subproduto do beneficiamento, uma vez que os grãos quebrados têm menor valor comercial. Muitos países já utilizam o arroz na forma de farinha para elaborar produtos de panificação, devido a algumas de suas propriedades únicas, como a baixa alergenicidade de suas proteínas, podendo ser utilizada por pacientes celíacos, que apresentam intolerância às proteínas do trigo, aveia, centeio e cevada. Além disto, em função do pequeno tamanho dos grânulos de amido, a farinha de arroz apresenta com o cozimento textura extremamente suave sabor brando, alta proporção de amidos facilmente digeríveis, contando ainda com baixos níveis de sódio (NABESHIMA; EL-DASH, 2004; CLERICI; EL-DASH, 2008).

A composição média da farinha de arroz obtida por vários autores foi, 0,5 g (100 g)$^{-1}$ de cinzas, 8 g (100 g)$^{-1}$ de proteínas, 0,8 g (100 g)$^{-1}$ de lipídios e 89 g (100 g)$^{-1}$ de carboidratos e 87 g (100 g)$^{-1}$ de amido, correspondendo a aproximadamente 90% da matéria seca do arroz polido e 350 kcal (100 g)$^{-1}$ de produto (MAIA et al., 1999; ZHENG, 1995; SILVA; ASCHERI; PREREIRA, 2007; WALTER; MARCHEZAN; AVILA, 2008; WANG et al., 1999; JULIANO, 1993). Comparado a outros cereais, o arroz tem um maior conteúdo de lisina e suas glutelinas têm um perfil de aminoácidos mais balanceado do que a prolamina do trigo, que é deficiente em lisina e triptofano. Contudo, as proteínas do arroz não formam a rede necessária para reter o gás produzido na fermentação durante a panificação (DENARDIN; SILVA; HECKTHEUER, 2005;

GUJRAL; ROSELL, 2004; SIVARAMAKRISHNAN, SENGE, CHATTOPADHYAY, 2004).

A extrusão é um processo industrial com diversas aplicações na indústria de alimentos, possibilitando a modificação de propriedades funcionais das matérias-primas, e consequentemente, ampliando a possibilidade de seu uso na fabricação de diversos produtos. Consiste em processo rápido e oferece as possibilidades de modificar estruturas do amido e proteínas. Durante a extrusão, a estrutura cristalina organizada dos grânulos de amido é destruída de modo parcial ou total, dependendo da proporção amilose-amilopectina, do teor de umidade das farinhas e das variáveis de processo utilizadas. Este processo permite que o amido, antes insolúvel em água, absorva mais rapidamente a água, sendo a absorção de água e de óleo e a solubilidade em água importantes propriedades funcionais do amido extrusado quando disperso em água (CHINNASWAMY, 1993). Durante a extrusão, algumas alterações não desejadas podem ocorrer, sendo uma delas a alteração de cor (ALTAN; MCCARTHY; MASKAN, 2008), uma vez que farinhas mais claras e menos pigmentadas geralmente são mais valorizadas, pois possuem maiores possibilidades de aplicação na indústria de alimentos. Assim, a adequação de farinhas pré-gelatinizadas por extrusão para uma determinada aplicação depende de suas propriedades funcionais e parâmetros de cor.

Normalmente, nos produtos extrusados, são utilizadas matérias-primas ricas em amido e pobres em fibras, proteínas e lipídios, como no caso de salgadinhos extrusados de milho. Estudos têm sido desenvolvidos no intuito de desenvolver produtos extrusados com melhor qualidade nutricional. Desta forma, a adição de farinha de linhaça na produção de farinhas pré-gelatinizadas é uma alternativa para atingir esta demanda.

A semente do linho (*Linum usitatissimum* L.), ou linhaça, pertencente ao grupo das matérias-primas oleaginosas e é constituída principalmente por lipídios (30-40%), dos quais a maior proporção é de ácidos graxos poliinsaturados, apresentando assim reconhecido potencial nutracêutico. A farinha de linhaça (FL) possui componentes funcionais, tais como as fibras solúveis, consideradas por muitos pesquisadores como um potente emulsificante em alimentos. Desta forma, esta oleaginosa pode ser adicionada em produtos amiláceos, como a farinha de arroz, possibilitando o aumento do seu valor nutricional e melhorando as características tecnológicas (GOH et al., 2006). Estudos têm apontado que a ingestão de 10 g de linhaça ao dia promove

alterações dos níveis hormonais, de colesterol total e de LDL, contribuindo com a redução do risco de câncer e diabetes, assim como, favorecendo a diminuição de agregação plaquetária, fortalecendo unhas, dentes e ossos, além de tornar a pele mais saudável (HASLER, 1998).

Estudos realizados indicam que a adição de 20 g $(100g)^{-1}$ de FL na FA, aumentou significativamente os valores de cinzas (260 %), proteínas (57 %), lipídios (306 %), fibra alimentar total (920 %), solúvel (744 %) e insolúvel (965 %) e diminuiu o valor energético total (6,3 %) e de carboidratos (11,54 %), conferindo à farinha mista de arroz e linhaça (FMAL) características nutricionais superiores a FA. Além disto, as fibras alimentares presentes na FL possuem alta capacidade de absorção e solubilidade em água e capacidade de absorção de óleo, que podem causar mudanças significativas na FMAL extrusada. Desta forma, é indicada a adição de FL para aumentar a qualidade nutricional e tecnológica de produtos cuja FA seja matéria-prima principal, tais como massas alimentícias, pães, bolos, cremes e sopas instantâneas (GLAMBUS et al., 2009).

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de diferentes condições de extrusão (umidade e temperatura) nas características funcionais (ISA, IAA e CAO) e nos parâmetros de cor (L*, a* e b*) de farinha mista de arroz e linhaça, visando obter subsídios para ampliar a utilização desde ingrediente na formulação de produtos alimentícios.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1Matérias-primas

Os grãos quebrados de arroz (FA) foram doados pela empresa Arroz Cristal Ltda., situada em Aparecida de Goiânia, Goiás, Brasil e, a farinha de linhaça desengordurada (FL) pela empresa Vitao Alimentos Ltda., localizada em Curitiba, Paraná, Brasil. Os grãos quebrados de arroz foram moídos em moinho de martelos (Marconi, MA-090/CF, Piracicaba, Brasil) e misturados com FL, na proporção 80: 20 (m /m), em misturador tipo Y (Tecnal, TE-201/10, Piracicaba, Brasil), por 15 min, em bateladas de 2 kg, dando origem a farinha mista de arroz e linhaça (FMAL). A FMAL

obtida foi acondicionada em embalagem de polietileno de baixa densidade (PEBD) e mantida sob refrigeração (5 ± 1 ^{o}C), até a posterior extrusão.

2.2 Processamento das farinhas mistas de arroz e linhaça pré-gelatinizadas por extrusão

O processo de pré-gelatinização foi realizado em extrusora monorosca (Inbramq, PQ - 30, Ribeirão Preto, Brasil). Para avaliar o efeito combinado das variáveis independentes nas características funcionais das farinhas mistas de arroz e linhaça pré-gelatinizadas (FPG), utilizou-se metodologia de superfície de resposta e delineamento central composto rotacional, totalizando onze experimentos (BOX; HUNTER; HUNTER, 1978).

Definiu-se como variáveis independentes do processo a umidade da FMAL [g (100 g)$^{-1}$] e a temperatura (^{o}C) da 3ª zona de aquecimento. Considerando 12 g (100 g)$^{-1}$, como o mínimo, ou seja, a umidade no qual os grãos são armazenados e o máximo 20 g (100 g)$^{-1}$ restrita a capacidade máxima do equipamento. Em relação a temperatura, a mínima (60 ^{o}C) é aquela que possibilitaria a pré-gelatinização do produto e a máxima (120 ^{o}C) a que não o queimaria (Tabela 1).

Tabela 1: Níveis reais e codificados da umidade (x_1) temperatura (x_1) de extrusão para obtenção das farinhas pré-gelatinizadas de arroz e linhaça (80: 20)

Variável Independente	**Nível de variação – valores codificados**				
	Axiais (-α)				**Axiais (+α)**
	-1,41	-1	0	+1	+1,41
Umidade g (100 g)$^{-1}$	12,0	13,2	16,0	18,4	20,0
Temperatura (^{o}C)	60	69	90	111	120

Foram fixados a taxa de compressão da rosca de 3:1, a taxa de alimentação de 350 g min^{-1}, a abertura da matriz circular de 4 mm de diâmetro, com rosca de passo constante, camisa helicoidal e rotação da rosca de 250 rpm. A temperatura na primeira e segunda zona de aquecimento foram fixadas em 50 e 70 ^{o}C, respectivamente.

As FPG foram obtidas após a moagem dos extrusados produzidos no ensaio de extrusão, em moinho de martelos (Marconi, MA-090/CF, Piracicaba, Brasil), com peneira de 30 *mesh*, totalizando onze farinhas que foram acondicionadas em embalagens plásticas laminadas (polietileno/nylon/polietileno), devidamente recobertas com folhas de alumínio, de modo a exercer uma barreira de proteção contra a luz, e armazenadas sob refrigeração (5 ± 1 ^{o}C).

2.3 Propriedades funcionais e parâmetros de cor

Para cada FPG obtida pelo processo de extrusão, foram determinados os parâmetros instrumentais de cor (L*, a* e b*), com colorímetro (Color Quest II, Hunter Lab Reston, Canadá), conforme relatado por Paucar-Menacho et al. (2008).

O índice de absorção em água (IAA) e o índice de solubilidade em água (ISA) foram determinados pelo método de Anderson et al. (1969).

A capacidade de absorção de óleo (CAO), segundo Castilho, Fontanari e Batistuti (2010).

Para a microscopia eletrônica por varredura, utilizou-se microscópio (FEI Company, Quanta-200, Netherlands, EUA). As amostras foram alocadas em *stubs* de alumínio, utilizando uma fita dupla face, que foram banhados com um fino filme de ouro (10 nm) e examinadas com voltagem de aceleração de 10 kV, em aumentos de 800x, 1600x e 3000x.

Todas as análises citadas também foram realizadas na FMAL crua para fins de comparação.

2.4 Análise estatísitca dos dados

Para avaliação dos resultados, empregaram-se equações polinomiais, obtidas através de análise de regressão múltipla, que relacionaram os efeitos da umidade e da temperatura de extrusão sobre o índice de solubilidade em água (ISA), o índice de absorção de água (IAA), a capacidade de absorção de óleo (CAO) e os parâmetros instrumentais de cor (L*, a* e b*).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), para avaliar a significância ($p < 0,05$), o coeficiente de variação, o coeficiente de determinação (R^2) e a falta de ajuste dos modelos matemáticos obtidos. Utilizou-se o programa Statistica versão 7.0 (STATSOFT, 2007) para obtenção do planejamento experimental, análise dos dados e construção dos gráficos bi e tridimensionais. Os modelos foram ajustados sendo removidos os termos não significativos. Alguns termos foram mantidos, apesar de não significativo, devido à melhoria do coeficiente de determinação ajustado dos modelos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios de índice de solubilidade em água (ISA), índice de absorção em água (IAA), capacidade de absorção de óleo (CAO), L* e coordenadas de cormaticidade a* e b*, obtidos nas farinhas pré-gelatinizadas experimentais podem ser visualizados no APENDICE A. Os modelos de regressão ajustados para as propriedades funcionais e parâmetros de cor estudados, com seus níveis de significância, coeficientes de determinação, faltas de ajuste e coeficientes de variação estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Modelo de regressão ajustado, nível de significância (*p*) coeficiente de determinação (R^2), falta de ajuste (FAj) e o coeficiente de variação (CV) para índice de solubilidade em água (ISA), índice de absorção de água (IAA), capacidade de absorção de óleo (CAO), luminosidade (L^*), coordenadas de cromaticidade a^* e b* das farinhas pré-gelatinizadas em função da umidade da matéria-prima (x_1) e temperatura de extrusão (x_2).

	MODELO	*P*	R^2	FAj	CV (%)
ISA	$y = 14,64 + \mathit{0,57x_1} + \mathit{1,01x_1^2} - 2,03x_2 + 1,63x_2^2 - 1,56x_1x_2$	0,01	0,9	0,075	6,97
IAA	$y = 8,60 + 0,85x_1 + \mathit{0,34\,x_1^2} - 0,38x_2 - \mathit{0,25\,x_1x_2}$	0,001	0,9	0,074	3,99
CAO	$y = 2,62 - 0,33x_1 + 0,21x_2$	0,03	0,84	0,042	7,58
L*	$y = 56,94 - 1,91x_1 + 0,82\,x_1^2 + 0,65x_2 - 0,77x_1x_2$	0,001	0,95	0,632	0,82
a*	$y = 4,03 + 0,12x_1 - \mathit{0,10x_1^2} - 0,14x_2 + \mathit{0,08x_2^2} + 0,09x_1x_2$	0,012	0,9	0,139	2,29
b*	$y = 9,45 - 0,80x_1 + \mathit{0,45x_2^2}$	0,193	0,66	0,035	4,03

Valores em *itálico*: apesar de não apresentar efeito siginificativo a 5% de probabilidade, foram mantidos para melhor ajuste do modelo.

Todos os modelos, com exceção de b*, foram significativos com *p* variando entre 0,001 e 0,03. A falta de ajuste (FAj) não foi significativa, com exceção dos modelos de CAO e b*. Apesar da b* não ser significativo e apresentar FAj significativa o modelo foi apresentado por conter termo significativo, deste modo foi possível observar a tendência deste parâmetro em função da temperatura de extrusão e da umidade, que foi mantida no modelo. Para CAO, a falta de ajuste foi significativa, mas de acordo com Waszczynskyj et al. (1981), se o quadrado médio para o erro experimental apresentar valor baixo, os testes de significância para falta de ajuste devem ser considerados irrelevantes. Os modelos apresentaram de 84 a 95% das respostas explicadas pelo modelo regressão e coeficiente de variação entre 0,82 e 7,58.

Os termos não significativos foram retirados, obtendo-se modelos ajustados mais adequados para descrever as respostas em função das variáveis independentes, porém em alguns casos, os termos não significativos foram mantidos no modelo, pois contribuíram de forma expressiva na resposta analisada (BOX; HUNTER; HUNTER, 1978), como o da umidade linear para o ISA, umidade quadrática para o ISA, IAA e a*, da temperatura quadrática para a* e da interação umidade e temperatura para o IAA.

O efeito linear da umidade foi significativo ($p \leq 0,05$) para o IAA, a CAO, L* e a*, enquanto que o efeito linear da temperatura foi significativo para ISA, IAA, CAO e L*. O efeito da umidade quadrática foi significativo ($p \leq 0,05$) para a resposta L* e temperatura quadrática para o ISA. A interação entre as variáveis foi significativa ($p \leq 0,05$) para o ISA, L* e a*. A partir dos modelos ajustados para ISA, IAA, CAO, L*, a* e b*, foram traçados gráficos que mostraram a variação das respostas em função da umidade da matéria-prima e temperatura de extrusão. Os pontos brancos apresentados na superfície tridimensional ou nas curvas de nível são as médias dos dados experimentais.

3.1 Índice de solubilidade em água

A extrusão aumentou o valor de ISA, pois o valor encontrado para FMAL foi (8,72 ± 0,2190), enquanto que na FPG variou entre 14 e 26 g $(100g)^{-1}$. O ISA é utilizado para medir a degradação do amido, seu aumento indica uma elevação do número de moléculas fragmentadas solúveis em água, porém a presença de outros compostos

solúveis presentes na matéria podem aumentar significativamente os valores deste índice (DING et al., 2005; HERNÁNDEZ-DÍAZ et al., 2007). Na Figura 1A, foi possível verificar que a região experimental com valores máximos de ISA (acima de 22) localiza-se no intervalo de temperatura de 60 a 75,4 ^{o}C associado a umidades entre 16,4 e 20 g (100 g)$^{-1}$, enquanto que valor mínimo (14) foram encontrados em temperaturas entre 101,7 e 110,8 ^{o}C e umidades entre 16 e 17,6 g (100 g)$^{-1}$. Tendência discordante à encontrada na literatura. Pois, os maiores valores de ISA geralmente foram encontrados em regiões com maiores umidades e temperaturas.

Mercier e Feillet (1975) ao extrusar *grits* de milho em extrusor dupla rosca, relataram que a maior quantidade de amido solúvel estava relacionada com o aumento da temperatura e maior teor de umidade da matéria-prima. Nesse trabalho, ao aumentar a temperatura de 70 ^{o}C para 250 ^{o}C, com umidade constante de 18,2 g (100 g)$^{-1}$, observou-se aumento progressivo no ISA.

Em *snacks* de farinha de arroz e soja (95: 5), produzidos em extrusor de rosca simples, o aumento da temperatura de 150 para 190 ^{o}C, com umidade de 17 g (100 g)$^{-1}$ afetou significativamente os valores de ISA, indicando que o aumento da temperatura, proporcionou uma maior degradação do amido, aumentando desta forma os valores de ISA (SUKSOMBOON et al., 2011).

Segundo alguns autores, farinhas diversas com maiores teores de umidade apresentaram menores valores de ISA, pois maior conteúdo de água diminuiu a taxa de cisalhamento e o tempo de passagem do produto no interior do extrusor, consequentemente, houve menor taxa de degradação dos grânulos de amido (SUKSOMBOON et al., 2011; DING, et al., 2005; LEI et al., 2005).

No processo de extrusão as proteínas da linhaça podem ser desnaturadas pela combinação de alta temperatura e força mecânica no interior do extrusor. Esta desnaturação pode ocasionar um desequilíbrio hidrofóbico / hidrofílico na superfície da molécula, provocando alterações conformacionais que alteram sua solubilidade, fato que poderia justificar os menores valores de ISA em condições mais severas de extrusão (alta temperatura e baixa umidade) (ALONSO et al., 2000; HERNÁNDEZ-DIAS et al., 2007). Além disto, temperaturas elevadas de extrusão podem propiciar a formação de interações moleculares entre as moléculas de amido degradadas, proteínas, lipídios e fibras, dando origem a complexos com alto peso molecular e causando a diminuição da solubilidade do material em água (ALTAN; MCCARTHY; MASKAN, 2009).

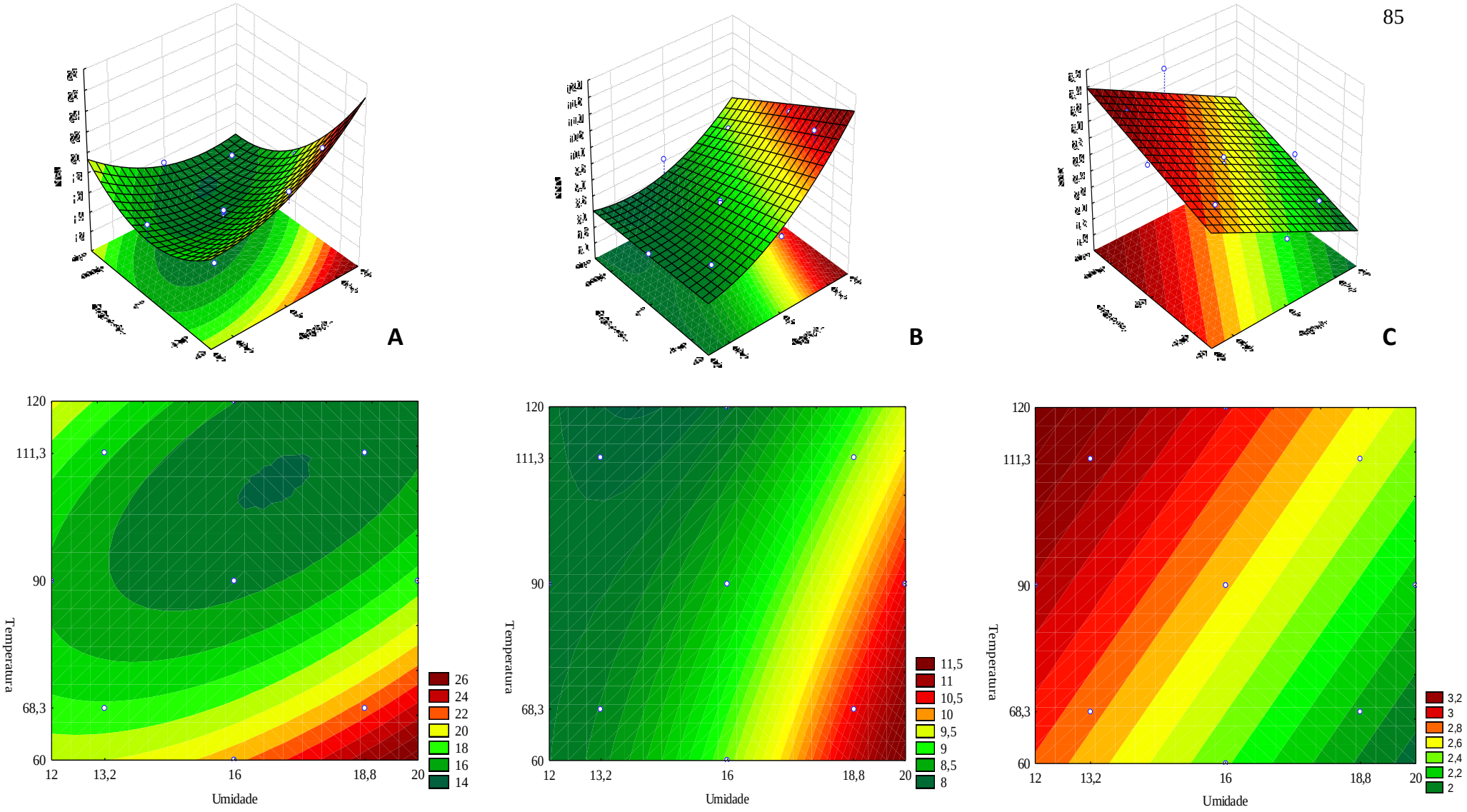


Figura 1: (A) Índice de solubilidade em Água (ISA) em g $(100g)^{-1}$; (B) Índice de Absorção de água (IAA) e (C) Capacidade de Absorção de óleo (CAO) em g de gel (g matéria seca)$^{-1}$ das farinhas pré-gelatinizadas de arroz e linhaça em função da umidade da matéria-prima e temperatura de extrusão.

Na Figura 2 é possível observar que com condição de umidade fixa em 18,8 g (100 g)$^{-1}$, em diferentes condições de temperatura 68,3 e 111,3 ^{o}C, a microestrutura das farinhas foi profundamente afetada pelo processo de extrusão. Na Figura 2A, cujas condições de extrusão foram 18,8 g (100 g)$^{-1}$ de umidade e 68,3 ^{o}C (experimento 2), observou-se a presença de compostos protéicos (a), oriundos da FL, intactos que podem ter causado a maior solubilidade em água desta farinha. Já na figura 2B, experimento 4 - 18,8 g (100 g)$^{-1}$ e 111,3 ^{o}C, observa-se uma massa compacta sem presença de partículas soltas ou intactas, demonstrando uma melhor fusão dos componentes nesta condição de extrusão, caracterizada pelo menor índice de ISA encontrado.

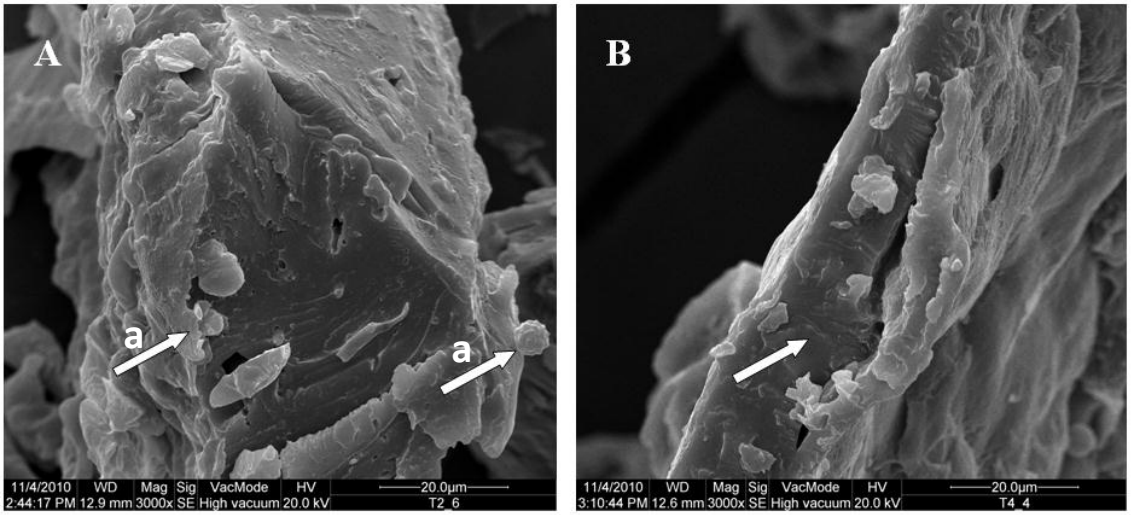


Figura 2: Microscopia eletrônica de varredura (3000X) das amostras de farinhas pré-gelatinizadas de arroz e linhaça A: 68,3 ^{o}C e 18,8 g (100 g)$^{-1}$ e B: 111,3 ^{o}C e 18,8 g (100 g)$^{-1}$

De forma geral, os valores de ISA para quirera de arroz, utilizando extrusor de dupla rosca, encontrados por Silva e Aschieri (2009) foram inferiores aos encontrados neste estudo. Os valores máximos e mínimos de ISA variaram entre 12 e 7,5 g (100 g^{-1}), sob umidade de 18 g (100 g^{-1}), temperatura de 160 ^{o}C e variando apenas a velocidade da rosca de 194 a 126 rpm. Velocidade inferior a fixada no presente estudo (250 rpm), sugerindo que a alta velocidade da rosca, mesmo diminuindo o tempo de residência, e associado, também, a presença da fibra alimentar solúvel da linhaça , pode proporcionar degradação do amido e da fibra, suficiente para aumentar a solubilidade da farinha (HASHIMOTO; GROSSMAN, 2003).

3.2 Índice de absorção em água

O IAA está relacionado com a disponibilidade dos grupos hidrofílicos (-OH) em se ligar com as moléculas de água e a capacidade de formação de gel das moléculas de amido. Desta forma, apenas aqueles grânulos que sofreram o processo de gelatinização são capazes de absorver água em temperatura ambiente e inchar (DING et al., 2005). De acordo com a Figura 1B, observou-se que ao se aumentar a umidade da matéria-prima, ocorreu aumento no valor de IAA e quando houve elevação da temperatura, ocorreu diminuição deste valor. Desta forma, a região do gráfico entre temperaturas de 104,4 e 120 ^{o}C e umidade entre 12,2 e 15,5 g (100 g)$^{-1}$ localizam-se o menor valor de IAA, 8 g de gel (g matéria seca)$^{-1}$, e entre 60 e 91,4 ^{o}C e umidade de 18,4 e 20 g (100 g)$^{-1}$ os maiores valores, acima de 10,5 g de gel (g matéria seca)$^{-1}$. A extrusão aumentou o valor de IAA, pois o valor encontrado para FMAL foi 2,72 ± 0,08 g de gel (g matéria seca)$^{-1}$, enquanto que na FPG variou entre 8 e 11, g de gel (g matéria seca)$^{-1}$.

Os valores de IAA observados neste trabalho foram superiores aos encontrados na literatura para farinha de arroz (DING, et al., 2005; HAGENIMANA; DING; FANG, 2006). Durante o processo de extrusão, ocorrem alterações na estrutura molecular das farinhas, tais como desnaturação de proteínas e gelatinização do amido e, principalmente, no caso da extrusão de matérias ricas em fibra, um inchaço da fibra (STOJCESKA, et al., 2010; SINGH; SEKHON; SINGH, 2007), o que justificaria os altos valores de IAA obtidos nas FPG. O aumento do IAA em condições de altas umidades provavelmente pode ser justificado pelo alto teor de fibra solúvel presente na FL, que possuiu a capacidade de absorver 16 a 30 vezes o seu peso de água (CUI *et al.* 1996; MAZZA; BILIADERIS, 1989), e consequentemente, como havia mais água disponível, ocorreu uma elevação deste índice.

Em farinhas de arroz pré-gelatinizadas obtidas em extrusor dupla rosca, com temperaturas entre 100 e 160 ^{o}C, umidade entre 16 e 22 g (100 g)$^{-1}$ e velocidades da rosca entre 200 e 300 rpm, observou-se em umidades entre 19 e 22 g (100 g)$^{-1}$ maiores valores de IAA. Porém, com 16 g (100 g)$^{-1}$ de umidade, ao se elevar a temperatura de 100 para 160 ^{o}C ocorreu diminuição deste índice, possivelmente devido à maior degradação dos grânulos de amido (HAGENIMANA; DING; FANG, 2006).

Em *snacks* formulados com farinha de arroz e ervilha, produzidos em extrusor de rosca simples, o aumento da umidade de 18 para 24 g (100 g)$^{-1}$ promoveu um

aumento no IAA. Em *snacks* de arroz e cevada, produzidos em extrusor dupla rosca, o maior valor de IAA foi encontrado em elevado teor de umidade, de 30 a 40 g (100 g^{-1}), justificando o efeito plastificante da água, que reduz a degradação dos grânulos de amido e aumenta a capacidade de absorção de água (SINGH; SEKHON; SINGH, 2007; GUPTA; BAWA; SEMWAL, 2008).

Geralmente, o aumento da temperatura de extrusão está relacionado com o aumento do IAA, devido principalmente a maior gelatinização do amido, pois a combinação entre a temperatura e a força mecânica durante a extrusão ocasiona a separação das cadeias de amilose e amilopectina, formando uma matriz expansível responsável pela maior capacidade de retenção de água. Porém, altas temperaturas de extrusão podem causar a hidrólise do amido, reduzindo sua capacidade de formação de gel, com consequente diminuição da capacidade de absorção de água (FILLI; NAKAMA, 2007; WANG et al., 2006).

Farinha de arroz com 14 g (100 g)$^{-1}$ de umidade foi extrusada em diferentes temperaturas (80 a 120 °C) e velocidade de rotação da rosca (200 a 400 rpm) em extrusor dupla rosca. Ocorreu aumento do IAA da farinha extrusada, valor máximo 7,1 quando comparada com a crua 2,6 g de gel (g matéria seca)$^{-1}$. Os valores máximos de IAA foram encontrados nas temperaturas entre 80 e 100 °C, 6,1 a 7,1 g de gel (g matéria seca)$^{-1}$, respectivamente, e menor em 120 °C, 5,5 a 5,9 g de gel (g matéria seca)$^{-1}$ (GUHA; ALI; BHATACHARYA, 1997). A redução deste índice com a diminuição da temperatura também foi relatado por Anderson et al. (1969) e por Mercier e Feillet (1975). Isto pode ter ocorrido, pois com a degradação do amido em partículas de baixo peso molecular, o grânulo torna-se incapaz de manter-se inchado, reduzindo sua capacidade de formação de gel.

O IAA de extrusados de misturas de farinha de arroz e peixe de 10 a 20 g 100 g^{-1} aumentou significativamente com a elevação da temperatura (70 para 120 ^{o}C). Com o aumento da porcentagem da farinha de peixe, este índice diminuiu. A capacidade das proteínas em se ligar com a água geralmente diminuiu com o aumento da temperatura uma vez que ocorre uma diminuição nas pontes de hidrogênio, o que reduz a hidratação dos grupos iônicos. Além disto, quando ocorre a desnaturação das proteínas, devido às altas temperaturas, as proteínas ligam-se entre sim (interação proteína-proteína) formando aglomerados protéicos reduzindo desta forma a capacidade de ligação com água (DILEEP et al., 2010; FENNEMA, 1996). Resultado semelhante ao verificado

neste estudo e justificado pela Figura 3, no qual é possível observar que em temperaturas mais brandas há ocorrência de corpos protéicos intactos (a) (Figura 3A), enquanto que em temperaturas mais elevadas, em mesma condição de umidade, ocorre uma formação de aglomerados protéicos (b) (Figura 3B).

Segundo Chang et al. (1999) a baixa capacidade de absorver água poderia ser desejável em produtos extrusados onde a integridade estrutural e a termoestabilidade do produto seriam importantes. Gómez e Aguilera (1983) relatam que o baixo cisalhamento e/ou baixa temperatura permitem maiores cadeias de polímeros não danificados e uma grande disponibilidade de grupos hidrofílicos, aos quais ligam-se mais moléculas de água, resultando em altos valores de índice de absorção de água. Hashimoto e Grossmann (2003) verificaram que o aumento da temperatura resulta em diminuição do índice de absorção de água devido à possível degradação do amido. Resultados semelhantes aos encontrados neste estudo, cujos maiores IAA foram encontrados em condições mais brandas de extrusão, ou seja, maiores umidades e menores temperaturas.

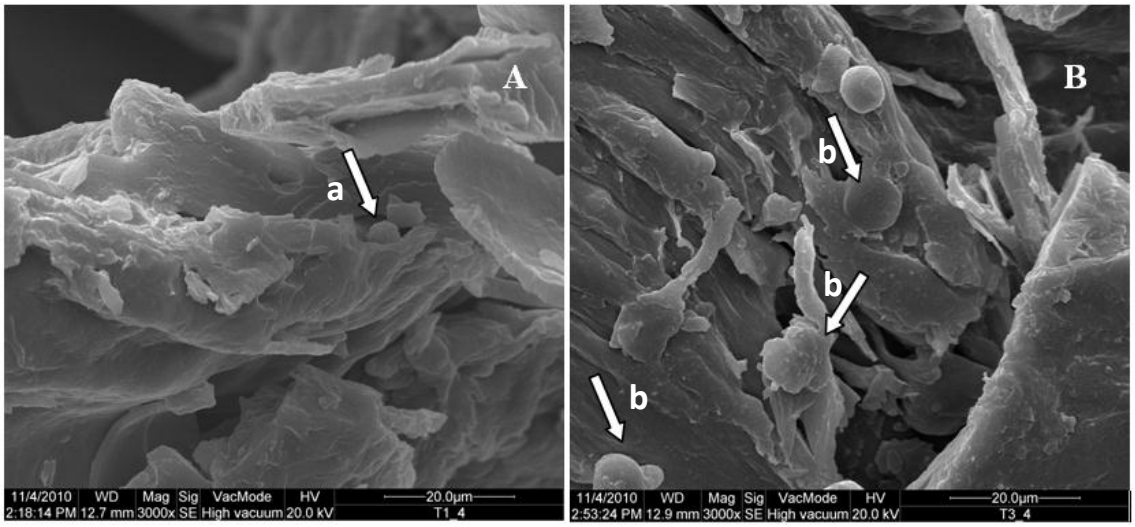


Figura 3: Microscopia eletrônica de varredura (3000X) das amostras de farinhas pré-gelatinizadas de arroz e linhaça A: 68,3 ^{o}C e 13,2 g (100 g)$^{-1}$ e B: 111,3 ^{o}C e 13,2 g (100 g)$^{-1}$.

3.3 Capacidade de absorção de óleo

A absorção de óleo consiste na capacidade dos sítios apolares das cadeias de proteínas em aprisionar as moléculas de óleo. Assim, o conteúdo e o tipo da proteína presente na farinha determinam a capacidade de absorção de óleo dos alimentos. Processos que podem promover a desnaturação da proteína, como a extrusão, provocam

interações hidrofóbicas entre as cadeias apolares dos lipídios e os aminoácidos lipofílicos das cadeias protéicas, causando alteração de hidrofobicidade e afetando tal capacidade (RAVI; SUSHELAMMA, 2005; ZENGH et al., 2008).

Na Figura 1C foi possível observar que o aumento da temperatura e a diminuição da umidade promoveram a elevação na capacidade das farinhas obtidas em absorver óleo. Valores mínimos de CAO, menores que 2,2 g de gel (g matéria seca)$^{-1}$, foram encontrados em altas umidades e baixas temperaturas [17,8 a 20 g (100 g)$^{-1}$ e 60 a 84,9 ^{o}C] e o máximo, 3,2 g de gel (g matéria seca)$^{-1}$, em baixas umidades e altas temperaturas [12 a 14,4 g (100 g)$^{-1}$ e 92 a 120 ^{o}C], efeito inverso aquele encontrado para o IAA. O processo de extrusão aumentou a capacidade de absorção de óleo das FMAL, que foi de 1,6257 ± 0,0307 g de gel (g matéria seca)$^{-1}$.

Farinha de arroz extrusada em extrusor dupla rosca, com temperatura variando entre 70-120°C e umidade fixa de 22 g (100 g)$^{-1}$, apresentou menor CAO à medida que a temperatura de extrusão aumentou (KADAN; PEPPERMAN, 2002), resultado contrário ao encontrado neste estudo. Sugere-se que em menores temperaturas os componentes das gorduras não se fundiram completamente com os componentes hidrofóbicos da farinha de arroz, mas em temperaturas mais elevadas os componentes da farinha podem ter sofrido alterações bioquímicas, tais como caramelização e desnaturação de proteínas, que promoveram uma maior absorção de gordura (KADAN; BRYANT; PEPPERMAN, 2003).

3.4 Aplicação das farinhas pré-gelatinizadas de arroz e linhaça em produtos alimentícios

As condições de extrusão podem determinar o uso da FPG na produção de alimentos. Para produtos com alto espessamento a frio e pouca agitação para o preparo, como farinhas lácteas e alimentos infantis, é indicado que a FPG apresente maior IAA (experimento 2). Para alimentos que necessitam retenção de umidade durante o armazenamento, como no caso de bolos, pães e panificados em geral, é indicado o uso de FPG com alto IAA, porém baixo ISA (experimento central, com condições intermediárias de umidade e temperatura de extrusão). No caso de produção de massas alimentícias, cuja característica de qualidade é baixa perda de sólidos na água do

cozimento e aumento de massa intermediário é indicado o uso de FGP com baixo ISA e intermediário IAA (experimento 4).(CLERIC; EL-DASH, 2008)

3.4 Parâmetros de cor

Durante a extrusão ocorrem reações de escurecimento não-enzimático (reação de Maillard e caramelização) e alteração de pigmentos que podem afetar a cor das farinhas. Os parâmetros utilizados na extrusão (alta temperatura e baixa umidade) são reconhecidos por favorecerem a reação entre açúcares redutores e aminoácidos, o que resulta na formação de compostos escurecidos que podem interferir negativamente na qualidade do produto final, uma vez que se o escurecimento é muito intenso (ILO; BERGHOFER, 1999; GUTKOSKI; EL-DASH, 1999; MENEGASSI, et al., 2007).

O alto teor de proteínas da FL e característica amilácea da FA associados às condições de temperatura e umidade utilizadas no processo de extrusão podem promover reações de escurecimento não-enzimático como a caramelização e Maillard, atribuindo às FPG coloração mais escura e pigmentada, quando comparada com a FMAL, cujos valores de L*, a* e b* foram 70,9, 2,7 e 6,5, respectivamente

Os valores máximos para o componente L* (maiores que 61) das FPG experimentais foram encontrados nos intervalos de temperatura de 87,5 a 120 ^{o}C e umidade de 12 a 13,4 g (100 g)$^{-1}$ e os mínimos (abaixo de 56) entre 60 – 116,5 ^{o}C e 18,2 – 19,6 g (100 g)$^{-1}$ de umidade, indicando que quando houve aumento da umidade, ocorreu um maior escurecimento das farinhas independente da temperatura, ou seja, menores valores para esta variável (Figura 4A).

A variação de croma a* entre os tratamentos foi muito pequena (<1). Entretanto, na Figura 4B, foi observado que os valores máximos de a* (4,2) ocorreram na área do gráfico de temperaturas entre 60 e 83,9 ^{o}C, independente da umidade, ou seja, houve uma ligeira tendência para a presença de tons avermelhados com esta combinação de variáveis. Valores contrários de a* (menores que 3,8) foram observados entre 88,3 e 120 ^{o}C e umidade entre 12 e 13,5 g (100 g)$^{-1}$. Os maiores valores de croma b* (acima de 9,8) foram encontrados na região entre umidade entre 12 a 17,1 g (100 g)$^{-1}$ em toda a faixa de temperatura utilizada e os valores mínimos de b* (abaixo de 9) entre 75 e 104 ^{o}C e umidade entre 19,2 e 20 g (100 g)$^{-1}$ (Figura 4C).

Os maiores valores de croma a* foram obtidos nas condições de baixa umidade, onde também foram observados os menores valores de L*. A mesma tendência foi encontrada por Menegassi et al. (2007), estudando extrusandos de mandioquinha-sala em equipamento com rosca única, com umidade da farinha entre 11 e 19 g (100 g)$^{-1}$, temperatura entre 86 e 154 ºC e taxa de rotação da rosca de 136 a 272 rpm.

Em *snacks* de milho e linhaça, produzidos em extrusor monorosca, em 18 g (100 g)$^{-1}$ de umidade e temperatura de 200 ^{o}C, verificou-se um aumento nos valores de L*, a* e b*, quando comparado com o *snack* padrão (sem adição de linhaça), indicando que o aumento da concentração de FL de 5 a 20 g (100 g)$^{-1}$ promoveu forte escurecimento. Este escurecimento está associado à presença da fibra da linhaça, que provavelmente poderia ter promovido uma maior resistência na passagem do material, aumentado a temperatura do canhão extrusor ou devido a presença dos pigmentos nos tons de marrom, característico da semente da linhaça (AHMED, 1999).

Em misturas de arroz e amaranto processadas em extrusor de rosca dupla, com concentrações de amaranto de 20 a 100 g (100 g)$^{-1}$, temperaturas entre 150 e 190 ^{o}C, umidades entre 11 e 16 g (100 g)$^{-1}$ e velocidades de rosca entre 58 e 82 rpm, verificou-se que durante a extrusão os valores de L* (88,23 – 89,53) diminuíram, enquanto os valores de a* (0,6 – 1,17) e b* (8,93 – 11,07) aumentaram em todos os tratamentos, quando comparado com as farinhas cruas (ILO; LIU; BERGHOFER, 1999), fato ocorrido também no presente estudo.

Em extrusados de aveia, valores de L* foram influenciados pelos parâmetros umidade [17-24 g (100 g) $^{-1}$] e temperatura (90-150 ^{o}C), no qual foi possível observar que a luminosidade diminuiu linearmente com o aumento da umidade e temperatura (GUTKOSKI; EL-DASH, 1999), resultados parcialmente semelhantes aos encontrados neste estudo, o que indica que umidades entre 18 e 20 g (100 g)$^{-1}$, independente da temperatura, deram origem à farinhas mais escuras

Farinhas de cevada submetidas ao processo de extrusão, em extrusor dupla-rosca, com umidade fixa de 21,97 g (100 g)$^{-1}$ e nas temperaturas 140 e 160 ^{o}C encontraram L* de 77,88 e 74,93, respectivamente, valores estes inferiores ao da farinha crua (80.95). Foi observado que a temperatura de extrusão foi determinante para o escurecimento da farinha, ou seja, na condição mais drástica de temperatura (160 ^{o}C), os valores de L* foram maiores, indicando que temperaturas intermediárias geram farinhas mais escuras (ATLAN; MASKAN; MCCARTHY, 2008). Esta tendência assemelha-se

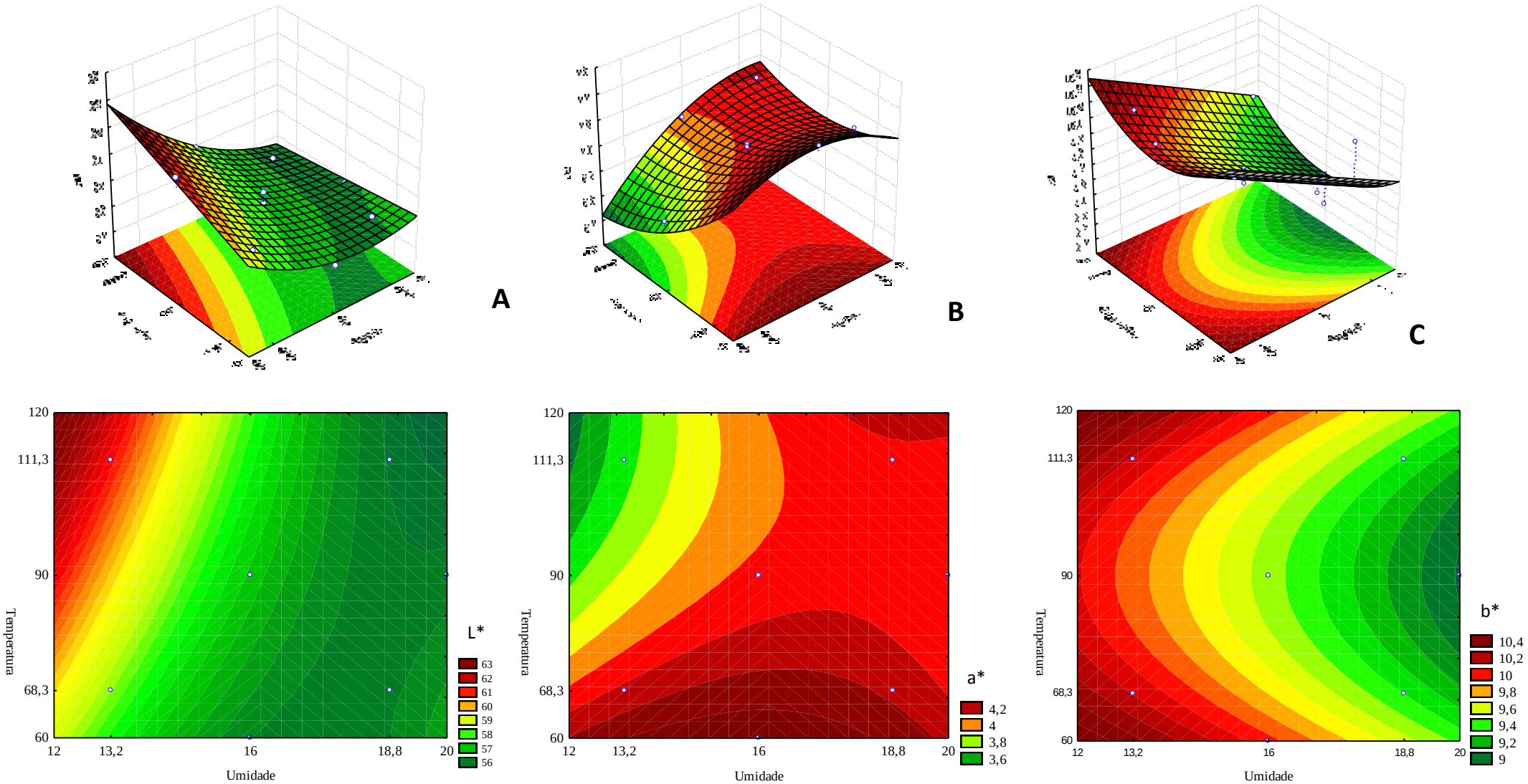


Figura 4: (A) Luminosidade (L*), (B) croma a*, (C) croma b* das farinhas pré-gelatinizadas de arroz e linhaça em função da umidade da matéria-prima e temperatura de extrusão.

com a obtida neste estudo, uma vez que farinhas mais claras, com maiores valores de L*foram encontradas em condições de temperatura mais altas.

Ilo e Berghofer (1999) observaram a luminosidade de *snacks* de milho, produzidos em extrusor dupla-rosca com condições de temperatura variando entre 140 e 180 °C, umidade entre 13 e 17 g (100 g)$^{-1}$ e velocidade da rosca entre 60 e 80 rpm , e verificaram que a temperatura e a umidade exerceram efeito significativo nos valores de L* e a*. Os valores de luminosidade dos *grits* de milho extrusado (73.0 a 86.17) diminuiram com o aumento da temperatura e aumentaram com a elevação da umidade.

Apruzzese et al.(2000), constataram que temperaturas intermediárias de extrusão deram origem a *snacks* de milho mais escuros, fenômeno também encontrado por Dileep e et al (2010), que em misturas de farinha de arroz e peixe (80: 20), submetidas a extrusão, com umidade de 15 g (100g)$^{-1}$ e rotação da rosca de 350 rpm e variação de temperatura entre 70 e 120 ^{o}C, obtiveram *snacks* mais escuros em temperaturas próximas a 90 ^{o}C e o com aumento da temperatura (120 ^{o}C) foram encontrados maiores valores de L*, ou seja, farinhas mais claras.

3.6 Microscopia eletrônica de varredura das farinhas pré-gelatinizadas de arroz e linhaça

As imagens obtidas através da microscopia eletrônica para farinhas pré-gelatinizadas obtidas após o processo de extrusão também estão apresentadas na Figura 5. Observou-se que as FPG (Figuras 5A e 5B), apresentaram diferenças das demais farinhas e a 5C mostrou a principal tendência das FPG. O conteúdo de umidade menor (Figura 5A) [111,3 ^{o}C e 13,2 g (100 g)$^{-1}$] deu origem a uma farinha mais fragmentada, devido, principalmente, a sua baixa resistência a moagem. O maior conteúdo de umidade (Figura 5B) [90 ^{o}C e 20 g (100 g)$^{-1}$]) tornou a farinha mais resistente ao processo de moagem apresentando uma maior granulometria.

Wu, Huff e Hseih (2007) relacionaram o teor de umidade com a dureza de *snacks* de milho e linhaça. Os autores observaram que com aumento da umidade [16 -20 g (100 g)$^{-1}$] e do conteúdo de FL [0-15 g (100 g)$^{-1}$] houve um aumento significativo da dureza. A dureza dos extrusados é afetada, principalmente, pelo conteúdo de umidade, resultado este observado por diversos autores (SUKSOMBOON et al., 2011; DING et

al., 2005; DING, et al 2006; LIU, et al., 2000). Esta característica ocorreu devido à diminuição da expansão, com o aumento da umidade, dando origem a produto mais denso que necessita de uma maior força para promover a quebra do produto.

4 CONCLUSÃO

As condições de extrusão (umidade da matéria-prima e temperatura) afetam os parâmetros instrumentais de cor e as propriedades funcionais das farinhas pré-gelatinizadas de arroz e linhaça, com um aumento geral dos índices de solubilidade e absorção de água e capacidade de absorção de óleo. Os maiores valores de índice de solubilidade [21,36 g $(100g)^{-1}$] e absorção de água [10,23 g de gel (g de matéria seca)$^{-1}$] e menores de capacidade [2,18 g de gel (g de matéria seca)$^{-1}$] de absorção em óleo foram encontrados em maiores umidades e menores temperatura, indicando sua possível aplicação em bebidas viscosas, alimentos infantis, alimentação enteral e produtos instantâneos. As farinhas pré-gelatinizadas tornaram-se mais escuras (diminuição de L*), com tendência para os tons avermelhados e amarelos (aumento de a* e b*) em relação à farinha mista crua. Os maiores valores de L* (61,7) e b* (10,23) foram encontrados em maiores umidade e em elevadas temperaturas, enquanto os menores de a* (abaixo de 3,8) foram encontrados em umidades de 12 a 14,3 g $(100\ g)^{-1}$ e na faixa de temperatura entre 87,5 e 120 ^{o}C.

O processo de extrusão promove uma fusão entre os componentes das farinhas tornando-as uma massa amorfa, com superfícies lisas e estriadas (no sentido do canhão de extrusão). Essas alterações indicam que o processo de extrusão pode ser utilizado em misturas de arroz e linhaça a fim de tornar viável sua utilização na indústria de alimentos por proporcionar alterações funcionais que são interessantes do ponto de vista tecnológico.

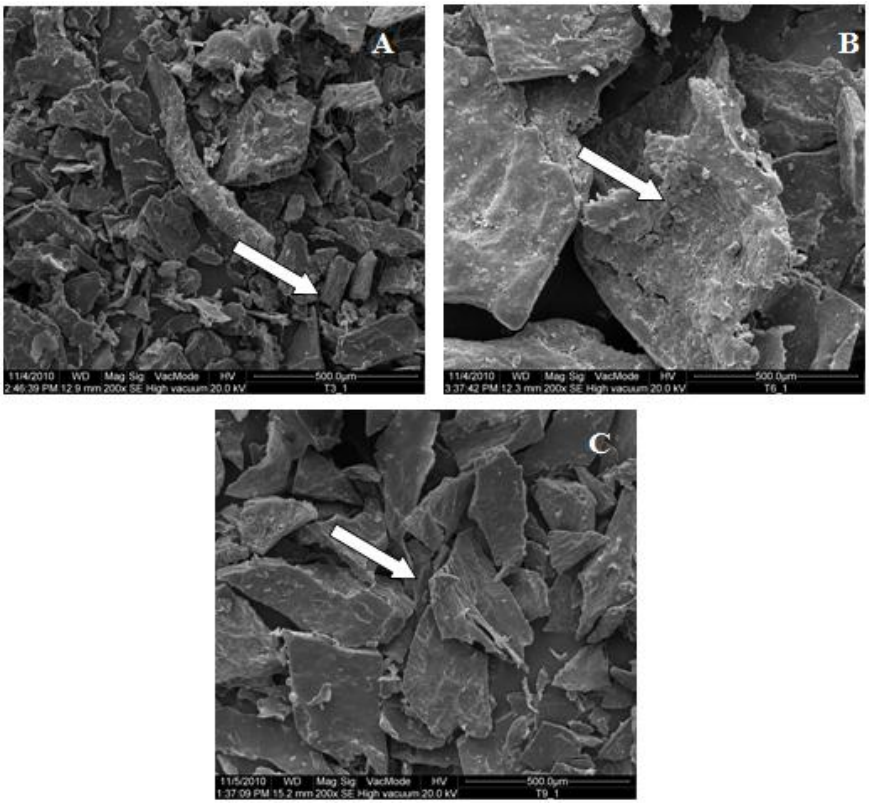


Figura 5: Microscopia eletrônica de varredura (200X) das amostras de farinhas pré-gelatinizadas de arroz e linhaça obtidas por extrusão, com temperatura e umidade de: A: 111,3 ^{o}C e 13,2 g (100 g)$^{-1}$;B: 90 ^{o}C e 20 g (100 g)$^{-1}$C: 90 ^{o}C e 16 g (100 g)$^{-1}$.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

AHMED, Z. S. Physico-chemical, structural and sensory quality of cornbased flax-snack, **Food/Nahrung**, Weinheim, v. 43, n. 4, p. 253 – 258, 1999.

ALONSO, R.; ORUE, E.; ZABALZA, M. J.; GRANT, G.; MARZO, F. Effect of extrusion cooking on structure and functional properties of pea and kidney bean proteins. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Malden, v. 80, n. 3, p. 397-403, 2000.

ALTAN, A.; MCCARTHY, K. L.; MASKAN, M. Extrusion cooking of barley flour and process parameter optimization by using response surface methodology. **Journal of Science Food and Agriculture,** Malden, v**.** 88 n.2, p.1648–1659, 2008.

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

APRUZZESE, F.; BALKE, S.T.; DIOSADY, L.L., In-line colour and composition monitoring in the extrusion cooking process. **Food Research International**, Barking, v. 33, n. 7, p. 621–628, 2000.

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 designs, data analysis and model building. Wiley, New York, 1978. 645p.

CARDOSO, M. B. **Características tecnológicas e funcionais de farinhas mistas de arroz e trigo para elaboração de sopas**. 2003. 88f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2003.

CARVALHO, M. R. B.; KIRSCHNIK, P. G.; PAIVA, K. C.; AIURA, F. S. Avaliação da atividade dos inibidores de tripsina após digestão enzimática em grãos de soja tratados termicamente. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 15, p. 267-272, 2002.

CHAIYAKUL, S.; JANGCHUD K.; JANGCHUD, A.; WUTTIJUMNONG, P.; WINGER, R. Effect of extrusion conditions on physical and chemical properties of high protein glutinous rice-based snack. **Journal of Food Science and Technology**, London, v. 42, n. 3, p. 781-787, 2009.

CHANG, Y. K.; MARTINEZ-BUSTOS, F.; PARK, T. S.; KOKINI, J. L. The influence of specific mechanical energy on cornmeal viscosity measured by an on-line system during twin-screw extrusion. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, Campinas, v. 16, n. 3, p.285–295, 1999.

CHINNASWAMY, R. Basis of cereal starch expansion. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 21, p. 157–167, 1993.

CLERICI, M. T. P. S.; EL-DASH, A. A. Características tecnológicas de farinhas de arroz pré gelatinizadas obtidas por extrusão termoplástica. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1543-1550, 2008.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra:** grãos: safra 2010/2011 nono levantamento, março 2011. Brasília: Conab, 2011. Disponível em: <www.conab.gov.br/.../11_06_08_09_01_36_graos_-_boletim_junho-2011>. Acessado em: 24 maio 2011.

CUI, W.; MAZZA, G. Phvsicochemical characteristics of flaxseed gum**. Food Research International**, Barking, v. 29, n. 3-4, p. 397-402, 1996.

DENARDIN, C.C.; SILVA, L. P.; HECKTHEUER, L. H. R. Propriedades sensoriais e aceitabilidade de bolos elaborados com substituição parcial de farinha de trigo por farinha de arroz. In: IV CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO; XXVI

REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 395-396, 2005, Pelotas. **Anais do IV Congresso Brasileiro do Arroz Irrigado e XXVI Reunião da Cultura do Arroz Irrigado** Pelotas: Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado, 2005. 1 *CD-ROM.*

DILEEP, A.O.; SHAMASUNDAR, B.A.; BINSI , P.K.; HOWELL, N.K., Composition and quality of rice flour–fish mince Based extruded products with emphasis on thermal Properties of rice flour, **Journal of Texture Studies,** Malden, v. 41, p. 190–207, 2010.

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

DING, Q.; AINSWORTH, P.: TUCKER ,G.: MARSON , H. The effect of extrusion conditions on the hysicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks, **Journal of Food Engineering**, London, v. 66, n. 3, p. 283–289, 2005.

ELIAS, M. C.; FRANCO, D. F. **Pós-colheita e Industrialização de Arroz**. In: MAGALHÃES JÚNIOR, A. M.; GOMES, A. S.; SANTOS, A. B. Sistemas de Cultivo de Arroz Irrigado no Brasil. 1 ed. Pelotas: Embrapa ClimaTeperado, 2006, v.1, p.229-240.

FENNEMA, O.R. 1996. **Food Chemistry**, 3ª Ed. Marcel Dekker, New York. 1067p.

FILLI, K. B.; NKAMA, I. Hydratation properties of extruded fura from millet and legumes. **British Food Journal**, Cambridge, v. 109, p. 68-80, 2007.

GOH**,** K. K. T.; PINDER, D. N.; HALL, C. E.; HEMAR, Y. Rheological and light scattering properties of flexseed polysaccharide aqueous solutions. **Biomacromolecules**, Washington, v. 7, n. 11, p. 3098-3103, 2006.

GOMEZ, M. H.; AGUILERA, J. M. Changes in the starch fraction during extrusion cooking of corn. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 48, n. 2, p. 378-381, 1983.

GUHA, M.; ALI, S. Z.; BHATTACHARYA, S. Effect of barrel temperature and screw speed on rapid viscoanalyser pasting behaviour of rice extrudate, **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 33, p. 259–266, 1998.

GUHA, M; ALI, S. Z; BHATTACHARYA, S. Twin-screw extrusion of rice flour without a die: effect of barrel temperature and screw speed on extrusion and extrudate characteristics. **Journal of Food Engineering**, London, v. 32, n. 3, p. 25l-267, 1997.

GUJRAL, H.S.; ROSELL, C.M. Improvement of the breadmaking quality of rice flour by glucose oxidase. **Food Research International**, India, v. 37, n.1, p. 75-81, 2004.

GUPTA, M.; BAWA, A. S.; SEMWAL, A. D. Morphological, thermal, pasting, and rheological properties of barley starch and their blends. **International Journal of Food Properties**, London, v. 12, n. 3, p.587-604, 2009.

GUTKOSKI, L. C.; EL-DASH, A. A. Effect of extrusion process variables on physical and chemical properties of extruded oat products. **Plant Foods for Human Nutricion**, Hague, v. 54, n. 4, p. 315-325, 1999.

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.

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

HASLER, C. M. Functional foods: their role in disease prevention and health promotion. **Food Technology**, London, v. 52, n. 11, p. 63-70, 1998.

HERNÁNDEZ-DIÁZ, J. R.; QUINTERO-RAMOS, A.; BARNARD, J.; ALANDRÁN-QUINTANA, R. R. Functional properties of extrudates prepared with blends of wheat flour/pinto bean meal with added wheat bran, **Food Science Technology International**, London, v. 13, n. 4, p. 301-308, 2007.

ILO, S.; BERGHOFER, E. Kinetics of colour changes during extrusion cooking of maize grits. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 39, n. 1, p. 73-80, 1999.

ILO, S.; LIU, Y.; BERGHOFER, E. Extrusion cooking of rice flour and amaranth blends**. Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie,** London, v. 32, n.2 , p. 79-88, 1999.

JULIANO, B.O. **Rice in Human Nutrition**. International Rice Research Institute, Philippines, 1993, 164 p.

KADAN, R. S.; PEPPERMAN, A. B. Physicochemical Properties of Starch in Extruded Rice Flour. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 79, n. 4, p. 476-480, 2002.

KADAN, R.S., BRYANT, R.J., PEPPERMAN, A.B. Functional Properties of Extruded Rice Flours. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 68, n. 5, p.1689-1672, 2003.

LEI, H.; FULCHER, G.; RUAN, R.; LEGERICH, B. SME-Arrhenius model for WSI of rice flour in a twin-screw extruder, **Cereal Chemistry,** St. Paul, v. 82, n.5 , p. 574–581, 2005.

LIU, Y., HSIEH, F., HEYMANN, H. & HUFF, H.E. Effect of process conditions on the physical and sensory properties of extruded oatcorn puff, **Journal of Food Science**, Chicago, v.65, p.1253–1259, 2000.

MAIA, L. H.; WANG, S. H.; ASCHERI, J. L.R.; CABRAL, L. C.; FERNANDES, M. S. Viscosidade de pasta, absorção de água e índice de solubilidade em água dos mingaus desidratados de arroz e soja. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos,** Campinas, v.19, n.3 , p.391-396, 1999.

MARTIN-CABREJAS, M. A.; JAIME, L.; KARANJA, C.; DOWNIE, A. J.; PARKER, M. L.; LOPEZ-ABREU, F. J.; MAINA, G.; ESTEBAM, R. M.; SMITH, A. C.; WALDRON, K. W. Modifications to physicochemical and nutritional properties of hard-to-cook beans (*Phaseolus vulgaris* L.) by extrusion cooking. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 47, n. 3, p. 1174-1182, 1999.

MAZZA, G.; BILIADERIS, C. G. Functional properties of flaxseed mucilage. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 54, n. 5, p.1302-1305, 1989.

MENEGASSI, B.; LEONEL, M.; MISCHAN, M. M.; PINHO, S. Z. Efeito de parâmetros de extrusão na cor e propriedades de pasta da farinha de mandioquinha-salsa (*Arracacia xanthorrhiza*). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1780-1792, 2007.

MERCIER, C.; FEILLET, P. Modification of carbohydrate component by extrusion cooking of cereal product. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 52, n. 3, p. 283–297, 1975.

NABESHIMA, E. H.; EL-DASH, A. A. Modificação química da farinha de arroz como alternativa para o aproveitamento dos subprodutos do beneficiamento do arroz. **Boletim do CEPPA**, Curitiba, v. 22, n. 1, p. 107-120, 2004.

ORMENESE, R. D. C. S. C.; CHANG, Y. K. Massas alimentícias de arroz: uma revisão. **Boletim do CEPPA**, Curitiba, v. 20, n. 2, p. 175-190, 2002.

OWUSU-ANSAH, J.; VAN DE VOORT, F.R.; STANLEY, D.W., Physico-chemical changes in cornstarch as a function of extrusion variables. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 60, n. 4, p. 319–324, 1983.

PAUCAR-MENACHO, L. M.; SILVA, L. H. D.; BARRETTO , P. A. D. 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.

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

SCHORNO, A. L.; MANTHEY, F. A.; HALLB, C., Effect of seed moisture content on flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) milling and milled product characteristics, **Journal of Science Food and Agriculture,** Malden; v. 89, n. 13, p. 2317–2322, 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; R. F. D.; 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.

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

SIVARAMAKRISHNAN, H.P., SENGE, B., CHATTOPADHYAY, P.K. Rheological properties of rice dough for making rice bread. **Journal Food Engineering**, London, v. 62, n.1, p. 37-45, 2004.

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

STOJCESKA V.: AINSWORTH, P.: PLUNKET, A.:; IBANOGLU, S. The advantage of using extrusion processing for increasing dietary fiber level in gluten-free products, **Food Chemistry**, St. Paul, v. 121, n. 2, p. 156–164, 2010.

SUKSOMBOON, A.; LIMROONGREUNGRA,K. T.; SANGNARK, A.; THITITUMJARIYA, K.; NOOMHORM, A. Effect of extrusion conditions on the physicochemical properties of a snack made from purple rice (Hom Nil) and soybean flour blend, **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 46, n. 1 , p. 201–208, 2011.

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

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, p. 475-481, 2006.

WANG; S. H.; CABRAL, L. C.; MAIA, L. H.; ARAUJO, F. B. Mingau de arroz e soja pronto para consumo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.5, p.855-860, 1999.

WASZCZYNSKYJ, N.; RAO, C. S.; SILVA, R. S. F. Extraction of proteins from wheatbran: application of carbohydrates. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 58, n. 4, p. 264-266, 1981.

WU, W.; HUFF, H. E; HSIEH, F. Processing and properties of extruded flaxseed-corn puff, **Journal of Food Processing and Preservation,** Westport, v. 31, n.2 , p.211–226, 2007.

ZHENG, H.; YANG, X.; TANG, C.; LI, L.; AHMAD, I. Preparation of soluble soybean protein aggregates (SSPA) from insoluble soybean protein concentrates (SPC) and its functional properties. **Food Research International**, Barking, v. 41, p.154-164, 2008.

ZHENG, Z.; SINGH, A.; SINDHU, A.; MURAI, N. The bean seed storage protein β-phaseolin is synthesized, processed, and accumulated in the vacuolar type- II protein bodies of transgenic rice endosperm. **Plant Physiology**, London v.109, p.777-786, 1995.

5.3 ARTIGO 3

EFEITO DA UMIDADE E TEMPERATURA DE EXTRUSÃO NAS PROPRIEDADES VISCOAMILOGRÁFICAS FARINHA DE ARROZ E LINHAÇA PRÉ-GELATINIZADAS

RESUMO

As propriedades de pasta de farinhas mistas de arroz e linhaça (80: 20) submetidas a umidades entre12 a 20 g (100 g^{-1}) e temperatura entre 60 a 120 ^{o}C foram investigadas, objetivando produzir farinhas pré-gelatinizadas com diferentes aplicações para a indústria de alimentos. Foi utilizado o rápido viscoamilógrafo (RVA) e determinaram-se as propriedades viscoamilográficas tanto nas farinhas de arroz, de linhaça e mista de arroz e linhaça cruas, quanto nas farinhas pré-gelatinizadas obtidas após a extrusão. As farinhas de arroz, de linhaça e mista de arroz e linhaça cruas diferiram entre si ($p \leq 0,05$) em relação às características viscoamilograficas. A adição da farinha de linhaça diminuiu o pico viscosidade, a viscosidade final e a tendência à retrogradação da farinha mista de arroz e linhaça quando comparada com a farinha de arroz. Porém, aumentou a quebra de viscosidade, conferindo a farinha mista de arroz e linhaça uma menor estabilidade quando comparada com as demais farinhas cruas. As farinhas pré-gelatinizadas apresentaram um aumento na viscosidade a frio e na quebra de viscosidade, enquanto que houve uma diminuição no pico de viscosidade, viscosidade final e tendência à retrogradação quando comparadas com a farinha mista de arroz e linhaça crua, indicando que o processo de extrusão afeta as características de pasta das farinhas pré-gelatinizadas. Os maiores valores de viscosidade a frio (acima de 60 RVU) e quebra de viscosidade (acima de 48 RVU) foram encontrados na área do gráfico de baixa temperatura, independente do teor de umidade utilizada, enquanto que as farinhas com maiores picos de viscosidade (abaixo de 52) foram encontradas em condições de baixa umidade e temperatura. A viscosidade final e a tendência a retrogradação apresentaram comportamento contrário ao da viscosidade a frio e da quebra de viscosidade, sendo os maiores valores destas variáveis (acima de 65 e acima de 50, respectivamente) encontrados em condições de altas umidades e temperaturas. Essas alterações indicam que o processo de extrusão pode ser utilizado em misturas de

arroz e linhaça a fim de tornar viável sua utilização na indústria de alimentos, proporcionando alterações funcionais que são interessantes do ponto de vista tecnológico.

Palavras-chaves: *Oryza sativa* L., *Linum usitatissimum* L., propriedades de pasta.

1 INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um dos cereais mais produzidos e consumidos no mundo. O Brasil destaca-se como o maior produtor de arroz da América Latina e o décimo maior produtor mundial (FAO, 2011), com 11,7 mil toneladas produzidas na safra de 2009/2010 (CONAB, 2011), na qual houve diminuição de 16,2 mil toneladas. Os maiores estados produtores são o Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Mato Grosso, com produção de 7.905,9; 1.039,7 e 803,9 mil toneladas na safra 2008/2009, Goiás teve uma produção de 255, 2 mil toneladas ocupando a sétima posição na produção Nacional (CONAB, 2011). Durante seu beneficiamento, para a obtenção dos grãos polidos, são produzidos em média 14% de grãos quebrados, que apresentam baixo preço no mercado. Devido a seus atributos como sabor agradável, cor branca, hipoalergenicidade e facilidade de digestão, a farinha de arroz tornou-se um ingrediente atrativo para a fabricação de alimentos. Por este motivo, tem sido utilizado na produção de novos produtos alimentícios (CASTRO et al., 1999).

A extrusão é um processo continuo de cozimento e mistura que envolve alta temperatura e curto tempo, com alta versatilidade, baixo custo e uma tecnologia eficiente no processamento de alimentos, onde pequenas modificações no equipamento e/ou na matéria-prima podem levar a diferentes resultados finais na qualidade do produto. Durante a extrusão, ocorrem modificações físicas e químicas tais como gelatinização do amido, desnaturação de proteínas, formação de complexos entre a amilose e o lipídio, entre outras, que podem resultar em novas propriedades funcionais, como alterações nas caracterizas de pasta (ILO; BERGHOFER, 1999; BRYANT et al., 2001; LAWTON et al., 1972).

A viscosidade é uma das propriedades mais importantes dos materiais amiláceos. A curva viscoamilográfica representa o comportamento destes materiais durante o aquecimento e permite avaliar as propriedades da pasta formada, devido às

modificações estruturais das moléculas de amido e a tendência a retrogradação durante o resfriamento (SEBIO, 1996). As mudanças que ocorrem nos grânulos de amido durante a gelatinização e a retrogradação são os principais determinantes do comportamento de pastas desses amidos, as quais têm sido medidas principalmente pelas mudanças de viscosidade durante o aquecimento e resfriamento.

Os grânulos de amido, quando aquecidos em presença de água acima de uma determinada temperatura, formam uma suspensão viscosa. A temperatura na qual ocorre tal modificação é denominada de temperatura de gelatinização do amido. A gelatinização é definida como o colapso da ordenação granular, durante a qual ocorrem mudanças irreversíveis nas propriedades, como o inchamento dos grânulos, a fusão cristalina, a perda da birrefringência, o rompimento dos grânulos com a liberação da amilose e o aumento da viscosidade da suspensão (FUKUOKA; OHTA; WATANABE, 2002; THIRÉ; SIMÃO; ANDRADE, 2003).

No rápido viscoamilografo (RVA) durante a fase inicial de aquecimento de uma suspensão aquosa de amido, é registrado um aumento na viscosidade quando os grânulos de amido começam a inchar. Neste ponto, polímeros com baixo peso molecular, particularmente moléculas de amilose, começam a ser lixiviadas dos grânulos. Um pico de viscosidade é obtido durante o empastamento, quando a maioria dos grânulos estão totalmente inchados e o alinhamento molecular de qualquer polímero solubilizado ainda não ocorreu dentro do campo de atrito do instrumento (TSAI, LI, LII, 1997). Durante a fase de temperatura constante (95 ºC) os grânulos começam a se quebrar e a solubilização dos polímeros continua. Neste ponto ocorre uma quebra na viscosidade. No resfriamento, os polímeros de amilose e amilopectina solubilizados começam a se re-associar e outro aumento na viscosidade é registrado. Este segundo aumento da viscosidade é conhecido como tendência a retrogradação ou *setback* (MATSUGUMA et al., 2009).

Atualmente, existe uma crescente demanda no mercado para produção de alimentos saudáveis. Desta forma a adição de farinha de linhaça na produção de farinhas pré-gelatinizadas é uma alternativa para atingir esta demanda. A linhaça é amplamente investigada e classificada como alimento funcional, principal fonte vegetal de ácido graxo α-linolênico - ômega-3 (52% do total de ácidos graxos) e de compostos fenólicos conhecidos como lignanas (PAYNE, 2000; OOMAH, 2001; SIMBALISTA et al., 2003); é também uma rica fonte de fibras alimentares, com boa proporção entre as

solúveis e as insolúveis, que auxiliam na diminuição do colesterol sanguíneo, dentre outras funções, como efeito laxativo (AHMED, 1999; PAYNE, 2000).

Diante das alterações funcionais que ocorrem durante a extrusão e a necessidade de conhecimento de suas propriedades de pasta para ampliar as aplicações industriais e também para uma possível valorização das FPG como ingredientes para a formulação de produtos alimentícios instantâneos, este trabalho objetivou estudar as propriedades viscoamilográficas de farinhas de arroz, de linhaça, mista e pré-gelatinizada de arroz e linhaça submetidas a diferentes condições de umidade e temperatura de extrusão.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Matérias-primas

Os grãos quebrados de arroz (FA) foram doadas pela empresa Arroz Cristal Ltda, situada em Aparecida de Goiânia, Goiás, Brasil e, a farinha de linhaça desengordurada (FL) pela empresa Vitao Alimentos Ltda, localizada em Curitiba, Paraná, Brasil.

2.2 Processamento das farinhas

Os grãos quebrados de arroz foram moídos em moinho de martelos (Marconi, MA-090/CF, Piracicaba, Brasil) e misturados com FL, na proporção 80: 20 (m:m), em misturador tipo Y (Tecnal, TE-201/10, Piracicaba, Brasil), por 15 min, em bateladas de 2 kg, dando origem a farinha mista de arroz e linhaça (FMAL).

A FMAL obtida foi acondicionada em embalagens de polietileno de baixa densidade (PEBD) e mantida sob refrigeração (5 ± 1 ^{o}C), até a posterior extrusão ou análise.

O processo de pré-gelatinização foi realizado em extrusora monorosca (Inbramq, PQ - 30, Ribeirão Preto, Brasil). Para avaliar o efeito combinado das variáveis independentes nas características funcionais das farinhas mistas de arroz e linhaça pré-gelatinizadas (FPG), utilizou-se metodologia de superfície de resposta e delineamento central composto rotacional (BOX; HUNTER; HUNTER, 1978), com onze

experimentos.

A temperatura na primeira e segunda zona de aquecimento foram fixadas em 50 ºC e 70 ^{o}C, respectivamente, e definiu-se como variáveis independentes do processo a umidade da FMAL [g (100 g)$^{-1}$] e a temperatura (^{o}C) da 3ª zona de aquecimento. Considerando 12 g (100 g)$^{-1}$, como o mínimo, ou seja, a umidade no qual os grãos são armazenados e o máximo 20 g (100 g)$^{-1}$ restrita a capacidade máxima do equipamento. Em relação à temperatura, a mínima (60 ^{o}C) foi àquela que possibilitasse a pré-gelatinização do produto e a máxima (120 ^{o}C) a que não o queimaria (Tabela 1).

Foram fixados também a taxa de compressão da rosca de 3:1, a taxa de alimentação de 350 g min^{-1}, a abertura da matriz circular de 4 mm de diâmetro, com rosca de passo constante e camisa helicoidal e rotação da rosca de 250 rpm.

Tabela 1: Níveis reais e codificados da umidade (x_1) temperatura (x_1) de extrusão para obtenção das farinhas pré-gelatinizadas de arroz e linhaça (80: 20)

Experimento	**Variáveis independentes**			
	Valores codificados		**Valores reais**	
	X_1	**X_2**	**X_1**	**X_2**
1	-1	-1	13,2	68,3
2	1	-1	18,8	68,3
3	-1	1	13,2	111,3
4	1	1	18,8	111,3
5	-1,41	0	12	90
6	1,41	0	20	90
7	0	-1,41	16	60
8	0	1,41	16	120
9	0	0	16	90
10	0	0	16	90
11	0	0	16	90

X_1: umidade (%) e X_2: temperatura (^{o}C)

As FPG foram obtidas após a moagem dos extrusados produzidos no ensaio de extrusão, em moinho de martelos (Marconi, MA-090/CF, Piracicaba, Brasil), com peneira de 30 *mesh*, totalizando onze farinhas que foram acondicionadas em embalagens plásticas laminadas (polietileno/nylon/polietileno), devidamente recobertas com folhas de alumínio, de modo a exercer uma barreira de proteção contra a luz, e armazenadas sob refrigeração (5 ± 1 ^{o}C).

2.3 Propriedades viscoamilográficas e microscopia eletrônica de varredura

As propriedades viscoamilográficas foram determinadas por meio do Rápido viscoamilógrafo (Newport Scientific, Warriewood, Australia), com o auxílio do software Thermocline for Windows, segundo o método da AACC (2000).

No tubo próprio do aparelho, 3 g de amostra foram misturadas com 25 mL de água destilada e em seguida realizou-se a marcha do teste. O tempo total recomendado foi de 21 min que foram divididos da seguinte forma: manteve-se a temperatura inicial em 25 ^{o}C por 2 min, em seguida a temperatura foi ajustada a 95 °C em 5 min, a amostra permaneceu a temperatura de 95 °C por 5 min. A temperatura foi diminuída para 25 °C em 7 min, na qual permaneceu até o final do teste, por de 2 min. Neste teste foram determinados o pico de viscosidade a frio (PVF) o pico de viscosidade a quente (PVQ) ou viscosidade máxima, a quebra de viscosidade (QV), a tendência a retrogradação (TR) e a viscosidade final (VF), em RVU, conforme reportado por Bao (2008).

As análises das FPG foram realizadas uma só vez, uma vez que o método é instrumental. O erro experimental foi calculado utilizando-se as 3 repetições realizadas no ponto central do delineamento rotacional composto. Já para a FA, FA e FMAL as análises foram realizadas em triplicata.

Para a microscopia eletrônica por varredura, utilizou-se microscópio (FEI Company, Quanta-200, Netherlands, EUA). As amostras foram alocadas em stubs de alumínio, utilizando-se uma fita dupla face, banhados com um fino filme de ouro (10 nm) e examinadas com voltagem de aceleração de 10 kV, em aumentos de 800x, 1600x e 3000x.

2.4 Análise estatísitca

Para avaliar os resultados, empregaram-se equações polinomiais, obtidas através de análise de regressão múltipla, que relacionaram os efeitos das variáveis independentes umidade (x_1) e temperatura (x_2) ao pico de vicosidade a frio (PVF), ao pico de viscosidade a quente (PVQ), à quebra de viscosidade (QV), à viscosidade final (VF) e à tendência a retrogradação (TR). Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (Anova), para avaliar a significância ($p < 0,05$), o coeficiente de variação, o

coeficiente de determinação (R^2) e a falta de ajuste dos modelos matemáticos ajustados. Utilizou-se o programa Statistica versão 7.0 (STATSOFT, 2007) para análise dos dados e construção dos gráficos bi e tridimensionais. Os modelos foram ajustados sendo removidos os termos não significativos. Alguns termos foram mantidos, apesar de não significativos, devido à melhoria do coeficiente de determinação ajustado do modelo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores encontrados para as propriedades de pasta para as farinhas de arroz, de linhaça e mista de arroz e linhaça, estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Valores médios obtidos na análise viscoamilográfica das farinhas cruas de arroz (FA), de linhaça (FL) e mista de arroz e linhaça (FMAL)

Farinha	Propriedade Viscoamilográfica (RVU)**				
	Pico de viscosidade a frio	**Pico de viscosidade aquente**	**Quebra da viscosidade**	**Viscosidade final**	**Tendência à retrogradação**
FA	$3,3^{b} \pm 1,8$	$82,3^{a} \pm 0,7$	$-0,8^{b} \pm 0,7$	$286,5^{a} \pm 9,1$	$203,4^{a} \pm 6,5$
FL	$21,2^{a} \pm 1,7$	$34,9^{c} \pm 1,4$	$0,3^{a} \pm 0,3$	$166,1^{c} \pm 2,8$	$131,4^{c} \pm 1,2$
FMAL	$3,9^{b} \pm 3,5$	$79,5^{b} \pm 12,9$	$-1,2^{c} \pm 0,1$	$245,4^{b} \pm 33,7$	$164,7^{b} \pm 21,7$

** Letras diferentes na mesma linha indicam diferença significativa pelo Teste Tukey ($p \leq 0,05$).

Os valores obtidos para PVQ, QV, VF e TR diferiram ($p \leq 0,05$) entre todas as farinhas cruas. Não houve diferença significativa para PVF entre a FA e FMAL ($p > 0,05$), porém ambas diferiram da FL, obtendo esta última o maior valor de PVF. O QV também foi maior na FL que na FMAL e na FA, conferindo a FL menor estabilidade de pasta quando comparada com as demais.

As farinhas cruas, geralmente, apresentam baixa capacidade de absorção de água e solubilidade em água em temperatura ambiente. Os baixos valores de PVF para FA e FMAL devem-se principalmente a estrutura cristalina do amido nativo que limita a absorção de água (DENARDIN; SILVA, 2009). Quando o amido nativo entra em contato com a água fria, os grânulos incham ligeiramente (10 a 20%) devido à difusão e absorção de água nas regiões amorfas (WHO/FAO, 1998). A alta capacidade de

absorção de água a frio da FL deve-se, principalmente à alta concentração de fibra solúvel, que possuiu a capacidade de absorver 16 a 30 vezes o seu peso de água (CUI *et al.* 1996; MAZZA; BILIADERIS, 1989).

Os dados obtidos para as propriedades de pasta das FPG estão apresentados no APENDICE B. Os modelos de regressão ajustados para as variáveis dependentes PVF, PVQ. QV, VF e TR das farinhas pré-gelatinizadas estão apresentados na Tabela 3.

Os modelos para PVQ, QV, VF e TR foram significativos ($p \leq 0,05$). Apesar de PVF não ser significativo ($p = 0,07$), o modelo foi apresentado por possuir termos significativos, deste modo foi possível observar a tendência desta resposta. Assim, de 77 a 93,1 % das respostas foram explicadas pelos modelos de regressão. As faltas de ajuste dos modelos não foram significativas ($p \geq 0,05$), variando entre 0,06 e 0,6 e os coeficientes de variação (CV) foram aceitáveis, entre 4,24 e 11,5. Assim, com exceção do modelo para PVF, os modelos podem ser considerados preditivos.

Tabela 3: Modelo de regressão ajustado, nível de significância (*p*), coeficiente de determinação (R^2), coeficiente de variação (CV) e falta de ajuste (FA) para pico de viscosidade a frio (PVF), pico de viscosidade a quente (PVQ), quebra de viscosidade (QV), viscosidade final (VF) e tendência à retrogradação (TR) das farinhas pré-gelatinizadas em função da umidade da matéria-prima (x_1) e temperatura de extrusão (x_2)

	MODELO*	***p***	**R^2**	**FAj**	**CV**
PVF	$y = 51,20 + \mathit{2,60x_1} - 5,37x_1^2 - \mathit{6,91x_2}$	0,07	0,77	0,60	11,5
PVQ	$y = 53,44 - 3,4x_1 - 5,04x_2 + 4,3x_1x_2$	0,05	0,79	0,32	8,87
QV	$y = 39,12 - 1,84x_1 - 6,40x_2 + 1,49x_2^2$	0,04	0,77	0,27	8,73
VF	$y = 64,91 + 3,68\,x_1^2 + 2,84x_2 - 4,25x_2^2 + 8,19\,x_1x_2$	0,01	0,93	0,12	4,44
TR	$y = 47,88 + \mathit{1,36x_1} - 2,42x_1^2 + \mathit{1,49x_2} - 3,05x_2^2 + 4,85x_1x_2$	0,01	0,92	0,06	4,24

*Valores em *itálico*: apesar de não apresentar efeito siginificativo a 5% de probabilidade, foram mantidos para melhor ajuste do modelo

Os termos não significativos foram removidos, obtendo-se modelos ajustados mais adequados para descrever as respostas em função das variáveis independentes, porém em alguns casos termos não significativos foram mantidos no modelo, pois contribuíram de forma expressiva na resposta analisada (BOX; HUNTER; HUNTER, 1978), como o da umidade linear para TR e da temperatura linear para PVF e TR. O efeito linear da umidade foi significativo ($p \leq 0,05$) para PVQ e QV, enquanto que o

efeito linear da temperatura foi significativo para PVQ, QV e VF. O efeito da umidade quadrática foi significativo ($p \leq 0,05$) para as respostas PVF, VF e TR, e da temperatura quadrática para QV, VF e TR. A interação entre as variáveis foi significativa ($p \leq 0,05$) para PVQ, VF e TR.

A partir dos modelos ajustados para cada uma das respostas foram traçados gráficos que mostraram a variação das respostas em função da umidade da matéria-prima e temperatura de extrusão. Os pontos brancos apresentados na superfície tridimensional ou nas curvas de nível são as médias dos dados experimentais.

O processo de extrusão proporcionou um aumento na viscosidade das farinhas pré-gelatinizadas (FPG), maior QV, com menor PVQ, TR e VF, quando comparada com a FMAL. Além disto, sugere-se que a adição de frações de fibras solúveis resultou em aumento do PVF em produtos extrusados, uma vez que a fibra apresenta maior capacidade de hidratação e retenção de água (CLERICI; EL-DASH, 2008).

A viscosidade a frio, indica a capacidade das farinhas em absorver água à temperatura ambiente e formar pasta, gel ou líquido viscoso, como resultado da gelatinização do amido e da extensão da quebra de moléculas, durante o processo de extrusão (CARVALHO; ASCHERI; CAL-VIDAL, 2002; EL-DASH; GONZALES; CIOL, 1984; FERNANDES et al., 2000). De acordo com Shuey e Tipples (1980), os grânulos de amido cru são insolúveis em água fria. Entretanto, quando estes grânulos são submetidos a um tratamento térmico, as ligações de hidrogênio que unem as moléculas em rede micelar se rompem, favorecendo a capacidade de hidratação das cadeias; assim, tem-se um processo de intumescimento irreversível, que irá refletir o grau de pré-gelatinização do amido. Consequentemente, quanto maior for o grau de gelatinização, maior será a viscosidade inicial. Desta forma, observou-se um aumento generalizado do PVF das FPG quando comparada com a FMAL.

A tendência encontrada para o PVF das FPG encontra-se na Figura 1A. Foi possível observar que os maiores valores (acima de 60 RVU) de PVF encontram-se em região de baixa temperatura entre 60 e 72,6 ^{o}C e na faixa de umidade entre 13,9 e 19,4 g (100 g)$^{-1}$ e os menores (abaixo de 35 RVU) em temperaturas entre 86,3 a 120 ^{o}C, tanto em baixas [12 a 14,6 g (100 g)$^{-1}$] como em altas umidades [18,3 a 20 g (100 g)$^{-1}$].

Menegassi et al. (2007), ao elaborarem farinha de mandioquinha-salsa pré-gelatinizada em extrusor monorosca, variando as condições de umidade da farinha de 11 a 19 g (100g)$^{-1}$, temperatura de extrusão entre 86-154 ºC e taxa de rotação de 136 a 272

rpm, verificaram que os valores de viscosidade inicial da farinha foi elevado com a prévia gelatinização da amostra e decresceram em condições severas de processamento, em razão da despolimerização do amido com a cocção. Resultado este semelhante ao encontrado neste estudo, cujas condições menos severas de extrusão (baixa temperatura e alta umidade) deram origem a farinhas com maior capacidade de absorção de água em temperatura ambiente, indicando sua utilização para produtos instantâneos.

Para Teba, Aschiei e Carvalho (2009), o efeito da umidade na viscosidade inicial pode ser explicado pela lubrificação que o alto teor de água provoca no parafuso do extrusor, evitando maior ocorrência de degradação mecânica dos grânulos do amido. Desta forma, obtém-se, portanto, valores elevados de viscosidade inicial, como observado no presente estudo.

É válido ressaltar que valores muito baixos de viscosidade de pasta inicial a frio de produtos extrusados podem ser decorrentes do conteúdo protéico e da presença de fibras nas matérias-primas. Ascheri, Ascheri e Carvalho (2006) estudando o efeito das variáveis de extrusão nas propriedades de pasta de farinhas mistas de arroz e bagaço de jabuticaba pré-gelatinizada, produzidas em extrusora monorosca, com condição de umidade fixa em 16 g $(100g)^{-1}$, temperatura entre 120 e 180 ^{o}C e farinha de bagaço de jabuticaba variando entre 15 e 25 g $(100\ g)^{-1}$, observaram decréscimo do valor da viscosidade a frio da pasta com o aumento da proporção da farinha do bagaço de jabuticaba na mistura da formulação, e atribuíram este fenômeno a menor proporção de material amiláceo na mistura, mencionando ainda que as fibras incluídas não fornecem suficiente material viscoso, fazendo com que a gelatinização do amido diminua.

O PVQ é um parâmetro que mede a resistência do grânulo de amido ao colapso resultante da ação da temperatura e da agitação mecânica no viscoamilógrafo (CARVALHO, ASCHERI; CAL-VIDAL, 2002). Tratando-se da determinação da viscosidade de pasta de materiais amiláceos crus, ocorre o total intumescimento e gelatinização dos grânulos de amido durante o ciclo de aquecimento até 95 ºC, onde se atinge a viscosidade máxima. No processo de extrusão, dependendo das condições do processo, o tratamento térmico pode destruir a estrutura cristalina do amido de tal forma que, no ciclo de aquecimento, o viscoamilograma apresente ausência de pico e valores baixos de viscosidade. Entretanto, se os tratamentos não forem muito severos, uma determinada porcentagem de grânulos de amido pode conservar parte da estrutura amilácea. Nestas condições observam-se valores relativamente altos de viscosidade de

pasta, pois há maior número de grânulos em condição de intumescimento (CARVALHO; ASCHERI; CAL-VIDAL, 2002). Na Figura 1B foi possível observar que os maiores valores (acima de 67) de PVQ encontraram-se em região de baixa temperatura entre 60 e 80,8 ^{o}C e na faixa de umidade entre 12 e 14,9 g (100 g)$^{-1}$ e o menores (abaixo de 52) em temperaturas entre 97,6 a 120 ^{o}C e em altas umidades, entre 17,8 e 20 g (100 g)$^{-1}$. Whalen et al. (1997) avaliando as condições operacionais na extrusão de misturas de farinhas de arroz, trigo e milho, com a temperatura variando de 160 a 190 ºC e a rotação mantida em 200 rpm, observaram que a diminuição da umidade de 29% para 15% resultou em redução significativa do pico de viscosidade das amostras, resultado estes também observados neste estudo.

No trabalho realizado com farinha de arroz polido e feijão, submetido a extrusão em equipamento monorosca, com umidades variando entre 26 a 40 g (100 g)$^{-1}$, temperatura entre 70 a 90 ^{o}C e substituições entre 20 a 60% de farinha de arroz por farinha de feijão, observou-se que aumento da proporção de farinha de feijão levou a redução da quantidade de amido presente, resultando na diminuição do pico de viscosidade (TEBA; ASCHIERI; CARVALHO, 2009). Silveira et al. (1981) afirmaram que o amido é o principal componente responsável pela viscosidade e, de acordo com Vijayagopal, Balagopalan e Morrthy (1988), a presença de amidos solúveis e a interação entre os grânulos intumescidos são responsáveis pela viscosidade de uma suspensão de amido gelatinizado, de tal forma que a diminuição da concentração de amido causou decréscimo no número de grânulos e consequentemente, na viscosidade numa mesma temperatura. Outro fator que pode contribuir para o decréscimo da viscosidade de pasta máxima é o conteúdo de proteína; pois, conforme El-Saied et al. (1979) constataram, a proteína pode atuar como uma barreira física para o intumescimento do amido, uma vez que os grânulos de amido são encaixados na matriz de proteína.

Torres et al. (2005) afirmam que o PVQ indica as possibilidades de utilização da farinha extrusada, e torna-se importante quando, por exemplo, a farinha for destinada ao preparo de sopas, tortas ou outros alimentos em que é necessário conservar a viscosidade em temperatura acima da ambiente. Valores mais elevados de PVQ indicam tratamentos menos severos, ou seja, com umidade mais elevada e temperaturas mais baixas, tendência parcialmente observada neste trabalho, pois as condições de baixas temperaturas utilizadas possibilitaram a manutenção de maior percentual de grânulos de

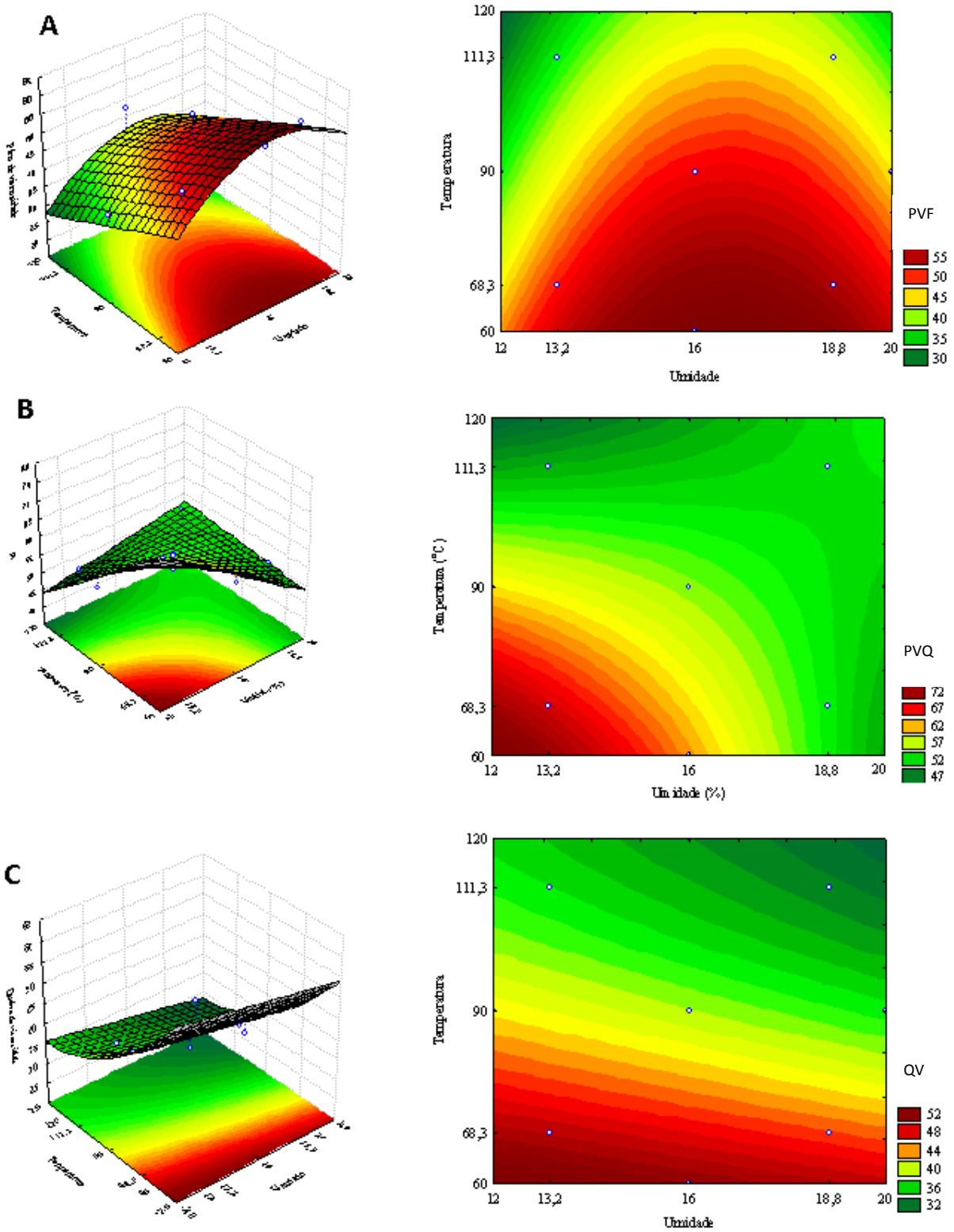


Figura 1: (A) Pico de viscosidade a frio, (B) Pico de viscosidade a quente, (C) Quebra de viscosidade das farinhas mista de arroz e linhaça pré-gelatinizada em função da umidade da matéria-prima (x_1) e temperatura de extrusão (x_2)

amido intactos. Gomez e Aguilera (1983), confirmam que PVQ depende da variável temperatura, sendo normalmente alto para amostras tratadas a baixas temperaturas, devido à quantidade de grânulos de amido ainda disponíveis para serem gelatinizados, o que pode ser observado na Figura 2.

Na microscopia obtida no experimento 7 [16 g (100 g)$^{-1}$ e 60 ^{o}C] (Figura 2A), pode-se observar alguns grânulos de amido íntegros, com sua estrutura poliédrica típica (a), enquanto que nas microscopias das FPG obtidas no experimento 3 [13,2 g (100 g)$^{-1}$ e 111,3 ^{o}C], com condições mais drásticas, a imagem mostra que ocorreu maior fusão dos componentes da FMAL, dando origem a uma massa fundida, sem a presença de grânulos de amido intactos, mas mostrando os aglomerados protéicos da FL (b) (Figura 2B).

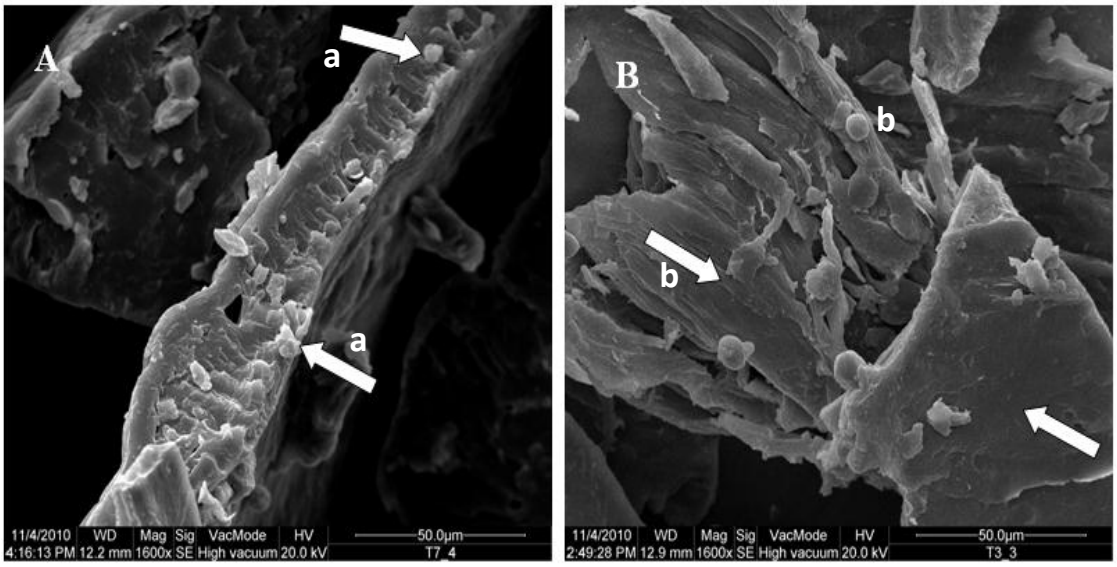


Figura 2: Microscopia eletrônica de varredura (1600X) das amostras de farinhas pré-gelatinizadas de arroz e linhaça: A: Experimento 7 - 16 g (100 g)$^{-1}$ e 60 ^{o}C, B: Experimento 3: 111,3 ^{o}C e 13,2 g (100 g)$^{-1}$.

A QV, também conhecida como *breakdown*, representa a diferença entre o pico de viscosidade a quente e o menor valor de viscosidade após este pico no perfil amilográfico. Através desta propriedade é possível avaliar a estabilidade do amido em altas temperaturas, o que é de extrema importância, uma vez que indica, indiretamente, a capacidade do produto se manter íntegro durante o cozimento. Desta forma, na figura 1C verificou-se que os maiores valores de QV (acima de 48 RVU) encontram-se em região entre as temperaturas 60 e 72 ^{o}C, independente da umidade utilizada e os menores (em torno de 32 RVU) encontraram-se em altas temperaturas (103,9 a 120 ^{o}C)

e umidade entre 16,1 e 20 g (100 g)$^{-1}$.

Bhattacharya, Sudha e Rhaim (1999), ao estudarem a extrusão de misturas de farinha de batata e de trigo, observaram que os menores teores de QV foram obtidos em baixa umidade, e quando a mesma foi aumentada houve um incremento significativo deste parâmetro. Estes autores afirmaram que elevados teores de umidade podem agir como lubrificante, reduzindo a viscosidade de fusão durante a extrusão e elevando os valores de QV, como ocorreu no presente estudo.

VF é uma característica que vai depender das modificações que ocorrem nas estruturas do grânulo de amido e das moléculas durante o processamento (EL-DASH, 1982). Uma das características dos produtos amiláceos após o aquecimento seguido da gelatinização e do resfriamento dos grânulos é o processo de retrogradação. Durante o ciclo de resfriamento, normalmente, verifica-se a TR, por efeito da recristalização das moléculas de amilose e amilopectina. Esse reagrupamento entre as frações de amilose e amilopectina confere na maioria dos casos, um aumento na VF (TEBA; ASCHIERI; CARVALHO, 2009).

Os resultados obtidos para VF estão apresentados na Figura 3A, e mostraram que os maiores valores (acima de 65 RVU) encontraram-se na área do gráfico com temperaturas entre 105,3 e 120 ^{o}C, e umidades, entre 17,9 e 20 g (100 g)$^{-1}$, e os menores (abaixo 45 RVU) foram verificados com baixas umidades, de 12 a 13,4 g (100 g)$^{-1}$, e elevadas temperaturas (108,4 a 120 ^{o}C), ou altas umidades [17,1 a 20 (g (100 g)$^{-1}$] e baixas temperaturas (60 a 71,6 ^{o}C), devido aos efeitos quadráticos da umidade e da temperatura de extrusão.

Segundo a Figura 3B, o maior valor para TR (50 RVU) para os produtos analisados foi verificado entre as temperaturas de 98 a 120 ^{o}C e umidades de 17,1 a 20 g (100 g)$^{-1}$, enquanto os menores valores (abaixo de 38 RVU) foram encontrados em maiores temperaturas (98 a 120 ^{o}C) e menores umidades [12 a 14,1 g (100 g)$^{-1}$] e também nas menores temperaturas (60 a 75,8 ^{o}C) e maiores umidades [16,9 a 20 g (100 g)$^{-1}$].

No estudo realizado em farinhas mistas extrusadas à base de farinha de milho, derivados de levedura e caseína, Alvim, Sgarbieri e Chang (2002) observaram que uma característica marcante de todas as farinhas extrusadas é a de não apresentar aumento de viscosidade com redução da temperatura de 95 ºC para 50 ºC, contrariamente ao que foi observado nas mesmas farinhas mistas enquanto cruas. Este fenômeno, segundo os

autores, provavelmente ocorreu pela retrogradação do amido na extrusão e pela incapacidade das proteínas, já desnaturadas pela extrusão, formarem géis, mediante aquecimento e resfriamento. Resultado semelhante ao encontrado neste estudo.

Kadan, Bryant e Pepperman (2003), observaram em farinhas de arroz extrusada com temperaturas entre 70 e 120 °C e 22 g $(100\ g)^{-1}$ de umidade, que o PVQ, QV, VF e TR diminuíram com a temperatura. Esta tendência foi observada neste estudo, mas os valores dependem da umidade, principalmente para VF e TR.

O tratamento térmico de extrusão em baixa umidade resulta em baixa viscosidade e estabilidade de pasta. A redução da viscosidade ocorre em função da pressão e do tempo de tratamento, sendo possível preparar pastas com viscosidade pré-estabelecida apenas pelo controle das condições de processo. Este tipo de modificação promove uma alteração da estrutura cristalina no interior dos grânulos, resultando em cristais mais estáveis, pois ocorre uma reorganização das cadeias, acompanhada por movimento ou reorganização nas regiões amorfas ou cristalinas (CEREDA, 2001).

Os valores de VF foram maiores que os encontrados para o PVQ na maioria dos tratamentos (Figura 4), indicando que presença da fibra solúvel proveniente da farinha de linhaça pode ter prejuducado a gelatinização do amido. A presença de fibra pode reduzir a disponibilidade de água aos grânulos de amido, impendido desta forma seu inchamento e sua consequente gelatinização (SYMONS; BRENNAN, 2004). O aumento VF em todas as FPG, independente da condição de extrusão pode ter ocorrido devido à viscosidade intrínseca da fibra solúvel da linhaça e às interações sinérgicas entre esta fibra e os polímeros componentes do amido (amilose e amilopectina). Parada, Aguilera e Brennan (2011) ao adicionarem diferentes concentrações de goma guar em farinhas de batata, milho, arroz e trigo, observaram que as VF dos extrusados foram menores que aqueles encontrados nas FPG sem adição desta goma. Os valores encontrados para VF e TR das FPG obtidas neste estudo foram menores que o encontrado para a FMAL, indicando que, nas condições testadas, a fibra não se encontrava química e fisicamente disponível para interagir com a água e desta forma aumentar a VF das farinhas pré-gelatinizadas.

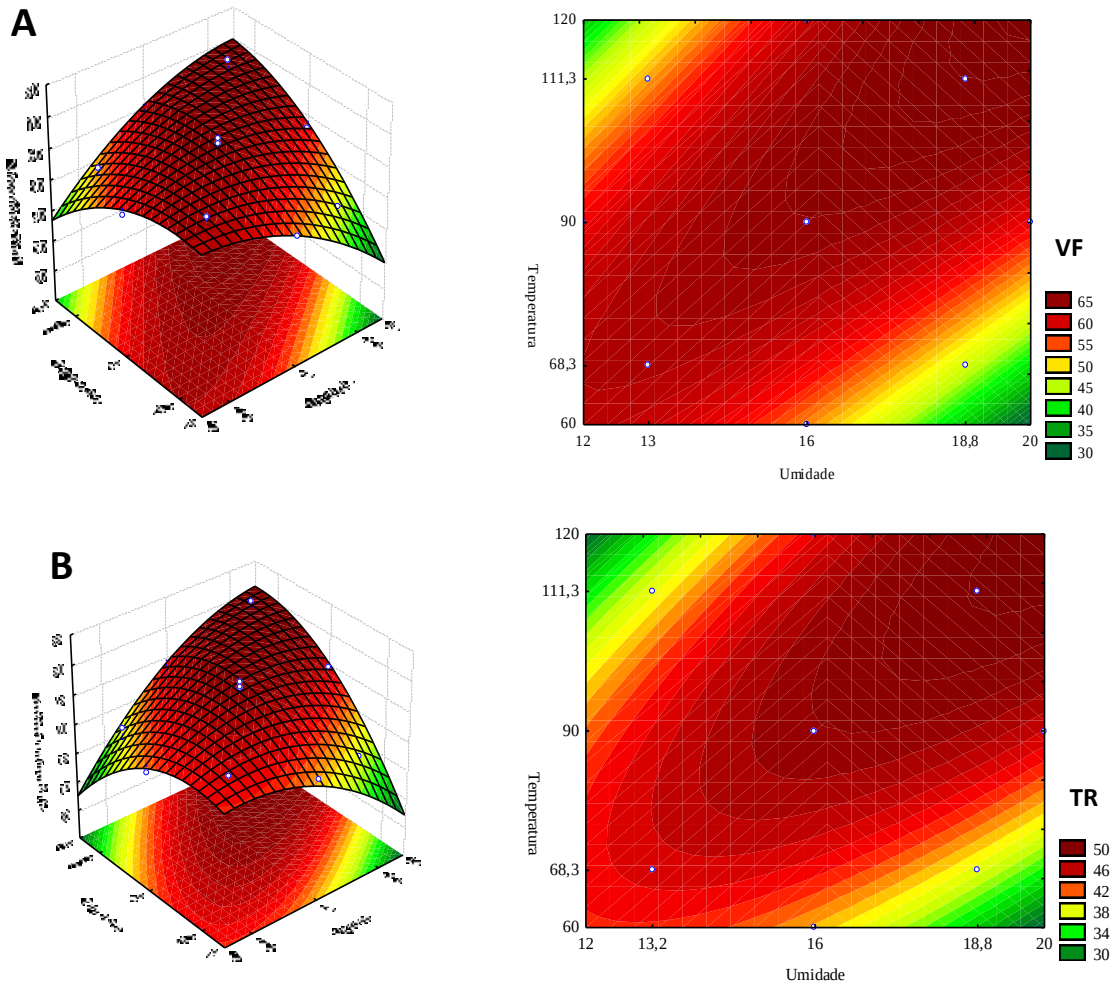


Figura 3: (A) Viscosidade final, (B) Tendência à retrogradação das farinhas mistas de arroz e linhaça pré-gelatinizadas em função da umidade da matéria-prima (x_1) e temperatura de extrusão (x_2).

Ao analisar o efeito de diferentes concentrações de β-glucana,1 e 5 g (100 g)$^{-1}$, oriundas da aveia, nas propriedades de pasta de farinhas de trigo, Symons e Brennan (2004) verificaram que o PVF do amido de trigo não foi significativamente afetado pela adição de 1 g (100 g)$^{-1}$ de fibra solúvel, porém houve um aumento generalizado no PVQ e VF nas amostras com este teor de substituição, quando comparado com o controle. As amostras com adição de 5 g (100 g)$^{-1}$ de fibra solúvel apresentaram uma diminuição de PVQ, QV e VF quando comparado com o controle. A diminuição destes valores pode ser uma indicação de uma redução de disponibilidade do amido para a gelatinização seja ela pela substituição parcial do amido ou pela fibra solúvel ter indisponibilizado a água para o intumescimento dos grânulos de amido.

Wang e colaboradores (2002) relataram que a possível diminuição dos valores de PVQ pode ser atribuída, também, a uma maior dextrinização do amido durante o processo de extrusão quando há uma adição de fibras solúveis. A interação do amido com as proteínas (presente tanto na FA quanto na FL) pode contribuir também com decréscimo da viscosidade, uma vez que esta interação poderia indisponibilizar os grupos hidrofílicos da proteína para se ligar com a água, diminuindo sua capacidade de formação de gel (SILVEIRA et al., 1981).

As propriedades de pasta de farinha de trigo adicionada de hidrocolóides (goma xantana, goma arábica, carragena e carboximetil celulose) foram avaliadas. Observou-se que a temperatura de gelatinização não foi alterada pela adição destes aditivos, porém promoveram aumento do PVQ e QV e redução da TR. Infere-se desta forma que estes aditivos ligaram-se aos grânulos de amido tornando-os menos resistentes ao tratamento térmico, devido a uma mudança morfológica do grânulo do amido causada por sua ligação com o hidrocolóide (ALAM et al., 2009).

A desejabilidade é uma ferramenta utilizada para otimização das respostas de um planejamento fatorial, envolvendo a transformação das variáveis dependentes estimadas pelos modelos estatísticos em valores desejados entre 0 e 1 (HARRINGTON, 1965).

Sabendo que sopas e mingaus de preparo rápido com aquecimento necessitam de baixa velocidade de retrogradação do amido, durante o resfriamento e baixo espessamento a frio, buscou-se uma FPG que apresentasse maiores valores de pico e de quebra de viscosidade, intermediária viscosidade a frio e viscosidade final e baixa tendência a retrogradação. O diagrama de desejabilidade (Figura 5) mostra que o valor otimizado para umidade da matéria-prima e temperatura de extrusão para desta farinha foi 12 g $(100\ g)^{-1}$ de umidade e 90 ^{o}C de temperatura de extrusão, que coincide com experimento 5.

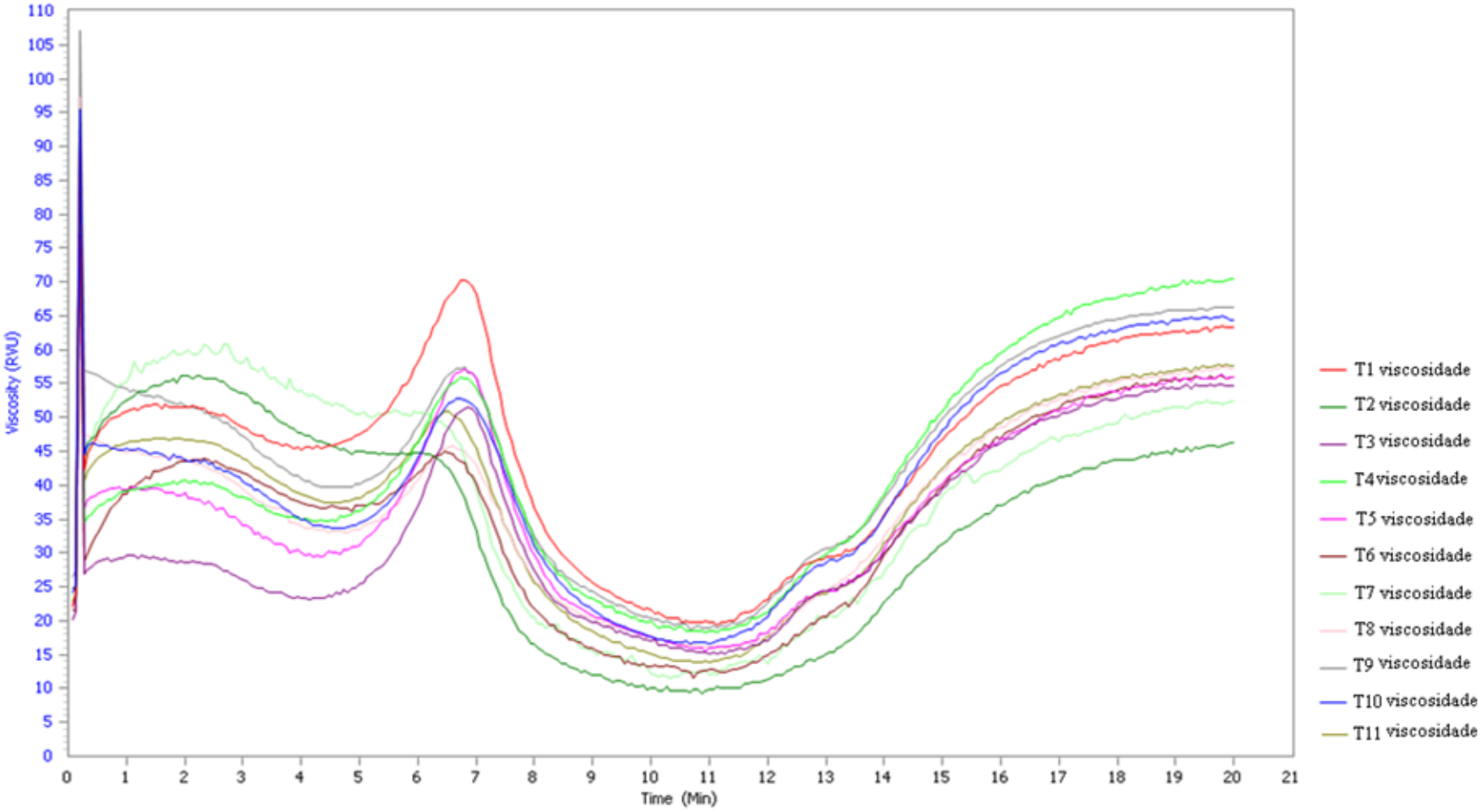


Figura 4: Curvas típicas de RVA de farinhas mistas de arroz e linhaça pré-gelatinizadas produzidas em diferentes condições de extrusão. (1) E1: 13,2 g (100 g)$^{-1}$ e 68,3 ^{o}C; (2) E2: 18,8 g (100 g)$^{-1}$ e 68,3 ^{o}C; (3) E3: 13,2 g (100 g)$^{-1}$ e 111,3 ^{o}C; (4) E4: 18,8 g (100 g)$^{-1}$ e 111,3 ^{o}C; (5) E5: 12 g (100 g)$^{-1}$ e 90 ^{o}C; (6) E6: 20 g (100 g)$^{-1}$ e 90 ^{o}C; (7) E7: 16 g (100 g)$^{-1}$ e 60 ^{o}C; (8) E8: 16 g (100 g)$^{-1}$ e 120 ^{o}C; (9) E9: 16 g (100 g)$^{-1}$ e 90 ^{o}C, (10) E10: 16 g (100 g)$^{-1}$ e 90 ^{o}C e (11) E11: 16 g (100 g)$^{-1}$ e 90 ^{o}C .

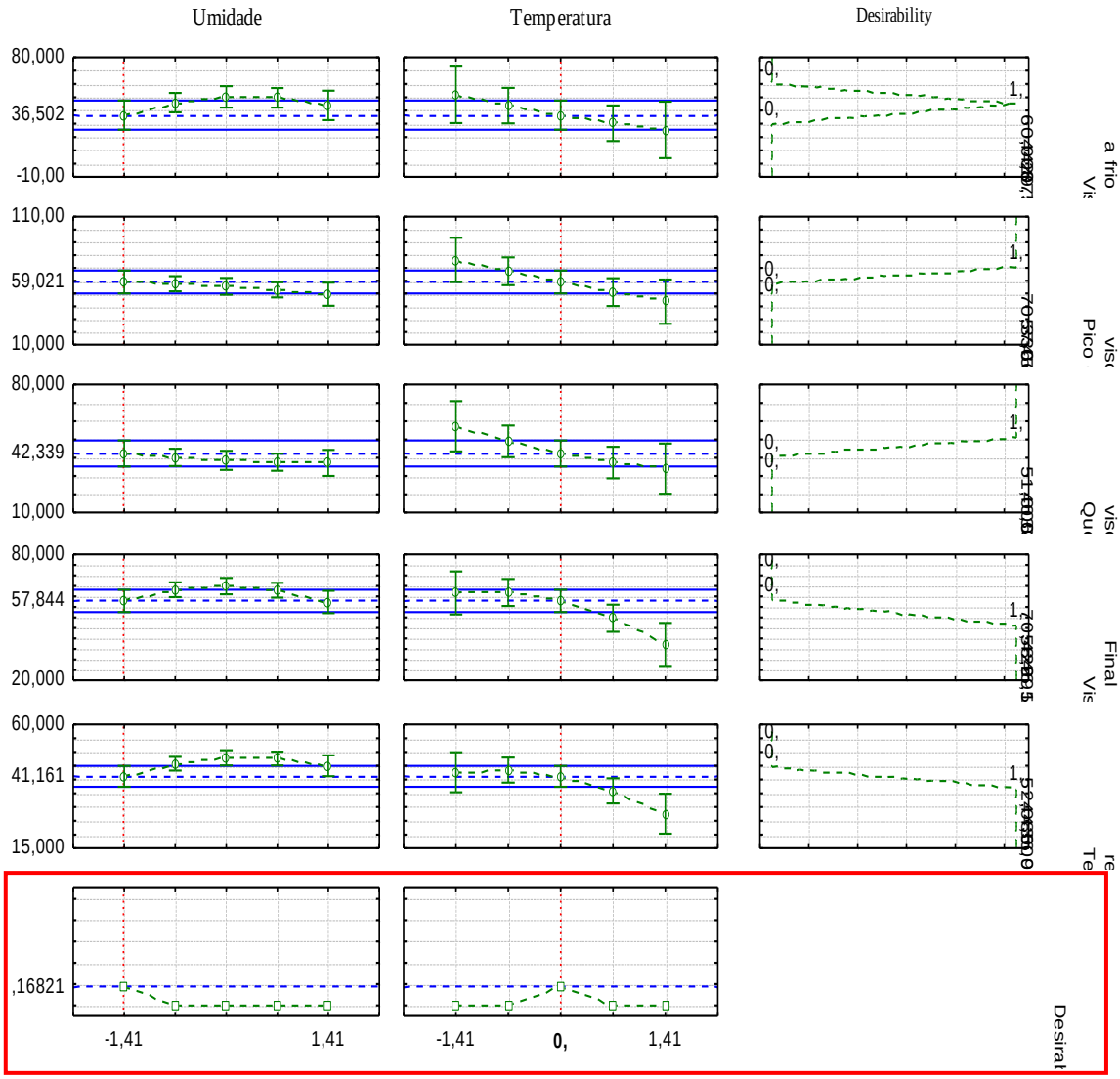


Figura 5: Teste de desejabilidade utilizando as características de pasta de farinhas pré-gelatinizadas de arroz e linhaça para aplicação como ingrediente de sopas e mínguas instantâneos.

Para bebidas instantâneas, como no caso de suplementos alimentares e sobremesas instantâneas, deseja-se que a FPG apresente alto de pico de viscosidade a quente e a frio, com baixa viscosidade final e tendência a retrogradação, com mais estabilidade, ou seja, alta quebra de viscosidade. Desta forma, pelo diagrama de desejabilidade (Figura 6), as condições mais adequadas para a produção de FPG com as características mais adequadas para elaborações destes produtos seria na condição de 20 g $(100g)^{-1}$ de umidade e 120 ^{o}C de temperatura.

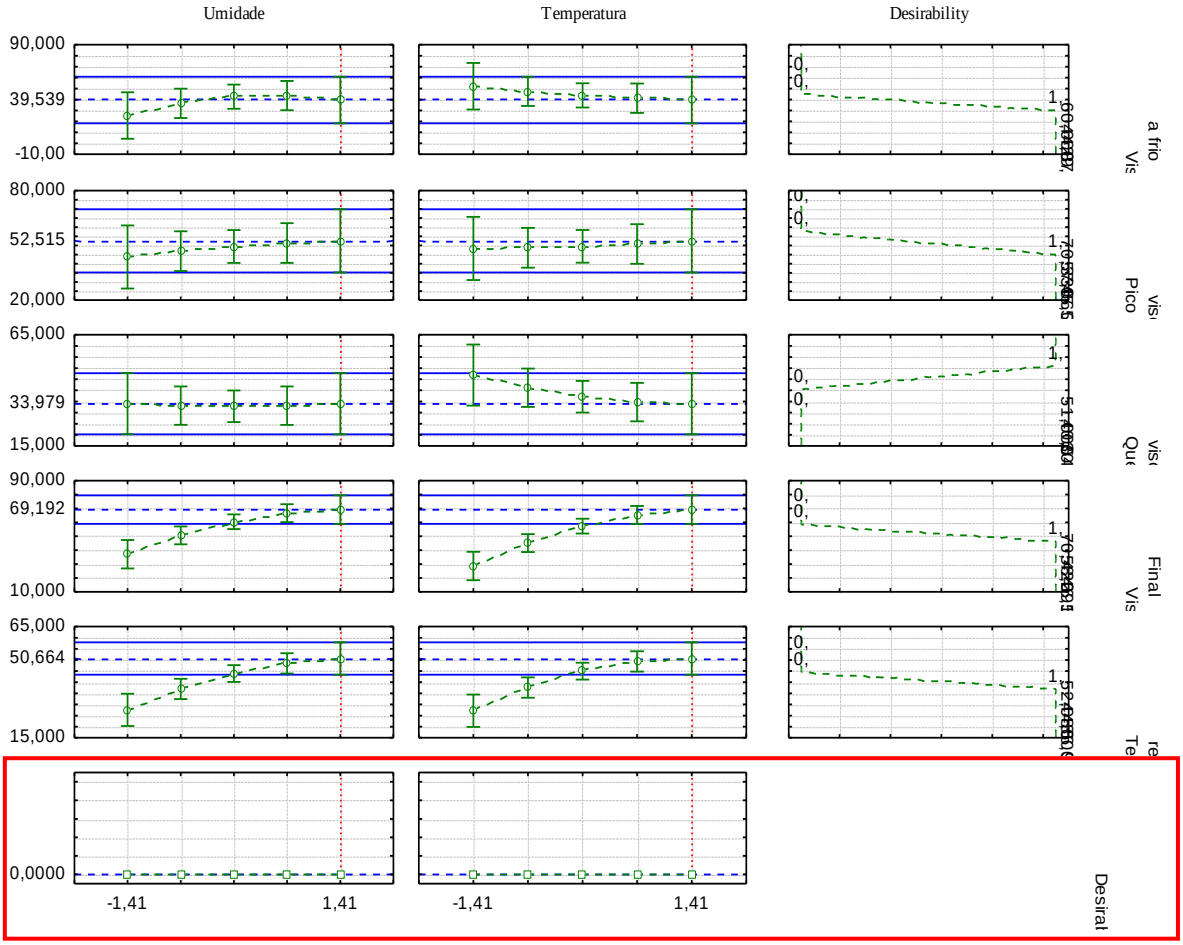


Figura 6: Teste de desejabilidade utilizando as características de pasta de farinhas pré-gelatinizadas de arroz e linhaça para aplicação como ingrediente de bebidas instantâneas.

4 CONCLUSÃO

As farinhas de arroz, de linhaça e mista de arroz e linhaça são diferentes em relação às características viscoamilograficas.

As farinhas pré-gelatinizadas apresentaram aumento na viscosidade a frio e na quebra de viscosidade e diminuição no pico de viscosidade, viscosidade final e tendência à retrogradação, quando comparadas com a farinha mista de arroz e linhaça crua, indicando que o processo de extrusão afeta as características de pasta das farinhas pré-gelatinizadas.

Os maiores valores de viscosidade a frio e quebra de viscosidade foram, encontrados em baixas temperaturas de extrusão, independente do teor de umidade

utilizada, enquanto que as farinhas pré-gelatinizadas com maiores picos de viscosidade foram obtidas em condições de baixa umidade e temperatura de extrusaão. A viscosidade final e a tendência à retrogradação apresentaram comportamento contrário ao da viscosidade a frio e da quebra de viscosidade, sendo os maiores valores destas variáveis encontrados em condições de altas umidades e temperaturas de extrusão.

Foi possível obter farinhas pré-gelatinizadas de arroz e linhaça (80:20) por extrusão com características tecnológicas diferenciadas, que podem ser utilizadas na formulação de produtos como mingaus, sopas, bebidas e sobremesas instantâneas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

AHMED, Z. S. Physico-chemical, structural and sensory quality of cornbased flax-snack, **Food/Nahrung**, Weinheim, v. 43, n. 4, p. 253 – 258, 1999.

ALVIM, I.D.; SGARBIERI, V.C.; CHANG, Y. K. Desenvolvimento de farinhas mistas extrusadas à base de farinha de milho, derivados de levedura e caseína. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.22, n.2, p.170-176, 2002.

ASCHERI, D. P. R.; ASCHERI, J. L. R; CARVALHO, C. W. P. Caracterização da farinha de bagaço de jabuticaba e propriedades funcionais dos extrusados. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, Campinas, v. 26, n.4, p. 897-905, 2006.

BAO, J. Aaccurate measurement of pasting temperature by the rapid visco-analyser: a case study using rice flour. **Rice Science,** London , v.15, n. 1, p. 69-72, 2008.

BHATTACHARYA, S.; SUDHA, M. L.; RAHIM, A. Pasting characteristics of an extruded blend of potato and wheat flours. **Journal of Food Engeeniring**, London v. 40, p. 107-111, 1999.

BOX, G. E. P; HUNTER, W. G; HUNTER, J. S. **Statistics for experimenters:** an introduction to designs, data analysis and model building. New York: Wiley, 1978. 645p.

BRYANT, R. J.; KADAN, R.S.; CHAMAPAGNE, E.T.; VINYARD, B.T.; BOYKIN, D. Functional and digestive characteristics of extruded rice flour. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 78, n. 2, p.131-137, 2001.

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

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

CEREDA, M.P. **Propriedades gerais do amido**. Campinas: Fundação Cargill, 2001, v.1, 224 p. (Série Culturas Tuberosas Amiláceas Latino Americanas).

CLERICI, M. T. P. S.; EL-DASH, A. A. Características tecnológicas de farinhas de arroz pré gelatinizadas obtidas por extrusão termoplástica. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1543-1550, 2008.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra:** grãos: safra 2010/2011 nono levantamento, março 2011. Brasília: Conab, 2011. Disponível em: <www.conab.gov.br/.../11_06_08_09_01_36_graos_-_boletim_junho-2011>. Acessado em: 24 maio 2005.

CUI, W.; MAZZA, G. Phvsicochemical characteristics of flaxseed gum**. Food Research International**, Barking, v. 29, n. 3-4, p. 397-402, 1996.

DENARDINI, C. C.; SILVA, L. P. D. Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.3, p. 945-954, 2009.

EL-DASH, A. A. Aplication and control of thermoplastic extrusion of cereals for food and industrial uses. In: POMERANZ, Y.; MUNCH, L. (ORG). **Cereals a renewable resource**: theory and pratice. St. Paul: AACC, 1982. cap.10, p.165-216.

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

EL-SAIED, H. M.; EL-ATTAR, W.; AHMED, E. A.; ROUSHDI, M. Gelatinization, pasting characteristics and cooking behaviour of Egyptian rice varieties in relation to amylose and protein contents. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 31, n. 8, p. 270-274, 1979.

FAO – Food and Agriculture Organization. Food Outlook: Global Market Analysis. Disponível: http://www.fao.org/docrep/011/ai474e/ai474e05.htm. Acessado em 25/05/2001.

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

FRANCO, C. M. L.; DAIUTO, E. R.; DEMIATE, I. M.; CARVALHO, L. J. C. B.; LEONEL, M.; CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. F.; SARMENTO, S. B. S. Propriedades gerais do amido: Série Culturas de tuberosas amiláceas latinoamericanas. São Paulo: Fundação Cargill, v.1, 2001. 224p.

FUKUOKA, M.; OHTA, K. I.; WATANABE, H. Determination of the terminal extent of starch gelatinization in a limited water system by DSC. **Journal of Food Engineering**, v. 53, n. 1, p. 39-42, 2002.

GOMEZ, M. H.; AGUILERA, J. M. Changes in the starch fraction during extrusion cooking of corn. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 48, n. 2, p. 378-381, 1983.

HARRINGTON JUNIOR, E. C. The desirability function. **Industrial Quality Control**, New York, v. 21, n. 10, p. 494-498, 1965.

ILO, S.; BERGHOFER, E. Kinetics of colour changes during extrusion cooking of maize grits. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 39, n. 1, p. 73-80, 1999.

KADAN, R. S.; BRYANT, R. J.; PEPPERMAN, A. B. Functional properties of extruded rice flours, **Journal of Food Science**, v. 68, n. 5, p.1689-1672, 2003.

KADAN, R. S.; PEPPERMAN, A. B. Physicochemical properties of starch in extruded rice flours, **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 79, n. 4, p. 476-480, 2002.

LAWTON, B. T.; HENDERSON, G. A; DERLATKA, E. J. The effect of extruder variables on gelatinisation of corn starch. **Canadian Journal of Chemical Engineering**, v. 50, p. 168–172, 1972.

MATSUGUMA, L. S.; LACERDA, L. G.; SCHNITZLER, E.; CARVALHO FILHO, M. A. D. S.; FRANCO, C. M. L.; DEMIATE, I. M.Characterization of native and oxidized starches of two varieties of peruvian carrot (*Arracacia xanthorrhiza* B.) from two production áreas of Paraná state, Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Paraná, v. 52, n. 3, p. 701-713, 2009.

MAZZA, G.; BILIADERIS, C. G. Functional properties of flaxseed mucilage. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 54, n. 5, p.1302-1305, 1989.

MENEGASSI, B. LEONEL, M.; MISCHAN, M. M.; PINHO, S. Z.. Efeito de parâmetros de extrusão na cor e propriedades de pasta da farinha de mandioquinha-salsa (*Arracacia xanthorrhiza*). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1780-1792, 2007.

OOMAH, B. D. Flaxseed as a functional food source. **Journal of Science Food and Agriculture**, Malden, v. 81, n.9, p. 889-894, 2001**.**

PARADA, J. A.; AGUILERA, J. M.; BRENNAN, C. Effect of guar gum content on some physical and nutritional properties of extruded products. **Journal of Food Engineering**, London, v. 103, n.3, p. 324–332, 2011.

PAYNE, T. J. Promoting Better Health with Flaxseed in Bread. **Cereal Foods World**, St. Paul, v. 45, n. 3, p.102-104, 2000.

SEBIO, L. **Efeito de alguns parâmetros operacionais de extrusão nas propriedades físicoquímicas da farinha de inhame (*Dioscorea rofundata*).** Campinas, 1996. 106f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1996.

SHUEY, W. C.; TIPPLES, K. H. **The amylograph handbook**. Saint. Paul: AACC, 1980. 37p.

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

SIMBALISTA, R.L.; CAPRILLES, V.D.; ARÊAS, J.A.G. Caracterização da semente de linhaça (*Linum usitatissimim*). In: Anais do 7º Congresso da Sociedade Brasileira de Alimentação e Nutrição, Belo Horizonte, p 27, 2003. **Anais...** Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Alimentação e Nutrição, 2003, *CD ROM*.

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

SYMONS, L.J.; BRENNAN, C.S. The effect of barley β-Glucan Fiber Fractions on starch gelatinization and pasting Ccaracteristics. **Journal of Food Science** , v. 69, n. 4, p.257-261, 2004.

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.

THIRÉ, R. M. S. M.; SIMÃO, R. A.; ANDRADE, C. T. High resolution imaging of the microstructure of maize starch films. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 54, n. 2, p. 149-158, 2003.

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. **Boletin CEPPA**, Curitiba, v.23, n.2, p. 273-290, 2005.

TSAI, M. L.; LI, C. F,; LII, C. Y. Effects of granular structures on the pasting behaviors of starches, **Cereal Chemistry**, St. Paul, v, 74, n. 6, p. 750 – 757, 1997.

VIJAYAGOPAL, K.; BALAGOPALAN, C.; MOORTHY, S. N. Gelatinization and liquefaction of cassava flour: effects of temperature, substrate and enzyme concentrations. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 40, n. 8, p. 300-302, 1988.

WANG, Y. J.; WANG, L.; SHEPHARD, D.; WANG, F.; PATINDOL, J. Properties and structures of flours and starches from whole, broken and yellowed rice kernels in model study. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 79, n. 3, p. 383 – 386, 2002.

WHALEN, P. J.; BASON, M. L.; BOOTH, R. I.; WALKER, C. E.; WILLIAMS, P. J. Measurement of extrusion effects by viscosity profile using rapid viscoanalyser. **Cereal Foods World,** Minneapolis, v. 42, n. 6, p. 469-475, 1997.

WHO/FAO. **Carbohydrates in human nutrition**. Rome: FAO, 1998, (FAO food and nutrition paper no. 66).

5.4 ARTIGO 4

PROPRIEDADES DE COZIMENTO E TEXTURA DE MACARRÕES FORMULADOS COM FARINHA PRÉ-GELATINIZADA DE ARROZ E LINHAÇA

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi estudar as características de cozimento e o perfil de textura de macarrões tipo talharim elaborados com diferentes mesclas de farinha pré-gelatinizada de arroz e linhaça, farinha de arroz e farinha de linhaça, utilizando-se delineamento de misturas. Em todas as formulações, o tempo ótimo de cozimento, o aumento de massa e a perda de sólidos encontraram-se dentro dos limites aceitáveis de qualidade. Os maiores valores de aumento de massa [acima de 120 g $(100g)^{-1}$] foram observados nas formulações com 35 a 37 g $(100\ g)^{-1}$ de farinha pré-gelatinizada, 48 a 52 g $(100\ g)^{-1}$ de farinha de arroz e 10 a 15 g $(100\ g)^{-1}$ de farinha de linhaça. Os menores percentuais de perda de sólidos em água [3,6 g $(100\ g)^{-1}$] foram obtidos com teores de farinha de arroz entre 52 e 60 g $(100\ g)^{-1}$, farinha de linhaça de 5 a 7 g $(100\ g)^{-1}$ e farinha pré-gelatinizada variando de 35 a 43 g $(100\ g)^{-1}$. Em relação ao perfil de textura foi observado que os macarrões experimentais com maior firmeza (acima de 500 N) foram obtidos com maiores teores de farinha pré-gelatinizada [47 a 50 g $(100\ g)^{-1}$] e menores de farinha de linhaça [8 a 13 g $(100\ g)^{-1}$] e farinha de arroz [40 a 42 g $(100\ g)^{-1}$] e os macarrões menos pegajosos (600 N) foram verificados nos maiores teores de farinha pré-gelatinizada [44 a 50 g $(100\ g)^{-1}$], intermediários de farinha de arroz [43 a 49 g $(100\ g)^{-1}$] e menores de farinha de linhaça [5 a 7 g $(100\ g)^{-1}$], sendo assim, os macarrões com maiores teores de farinha pré-gelatinizada foram mais firmes e menos pegajosos, sendo indicando seu uso para produção de macarrão com matérias-prima não tradicionais. O macarrão mais desejável foi o do ponto central do planejamento de misturas, com intermediários valores de cada farinha.

Palavras-chaves: delineamento de misturas, quirera de arroz, farinha de linhaça, firmeza, pegajosidade.

1 INTRODUÇÃO

Massas alimentícias possuem um excelente perfil nutricional, fornecendo fontes de carboidratos complexos com bom valor comercial, além de apresentar longa vida de prateleira, facilidade de preparo e a possibilidade de uso em diversas preparações (VERARDO et al., 2009). Devido a sua versatilidade, as massas alimentícias vêm se destacando como um potencial produto para veiculação de substâncias nutracêuticas, tais como vitaminas, minerais e fibras alimentares (TRAUTWEIN, 2001).

Matérias-primas não convencionais podem originar massas alimentícias de boa qualidade. A substituição do glúten em produtos à base de cereais apresenta um grande desafio tecnológico (ARENDT et al., 2002), uma vez que esta proteína é responsável pela estrutura conformacional essencial a formulação de produtos à base de cereais de alta qualidade (GALLAGHER; GORMLEY; ARENDT, 2004). Neste sentido, se faz necessário o emprego de tecnologias que explorem as propriedades funcionais de componentes da matéria-prima como o amido pré-gelatinizado ou a adição de farinhas ricas em proteínas, que são capazes de formar estruturas semelhantes à do glúten, (CHILLO et al., 2007;. LAI, 2001; YALCIN; BASMAN, 2008; SOZER, 2009).

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um dos cereais mais produzidos e consumidos no mundo. Quando o arroz é submetido ao beneficiamento industrial, uma parcela dos grãos se quebra, tornando-se matéria-prima interessante para a produção de massas alimentícias. No beneficiamento são gerados de 8 a 12 kg de arroz quebrado para cada 100 kg de arroz processado (PAGANI et al.,1981). Para aproveitamento dos grãos quebrados, uma solução seria a produção de farinha de arroz (FA), que aumentaria o valor agregado do subproduto, uma vez que os grãos quebrados têm menor valor comercial que os grãos inteiros.

Apesar da farinha de arroz apresentar baixo valor comercial e não contar como volume de produção quando comparada com a farinha de trigo, sugere-se a possibilidade de aproveitamento desse material, através do processo de extrusão termoplástica, como constituinte principal ou ingrediente complementar em formulações, na elaboração de produtos alimentares para o consumo humano (BORTOLATO et. al., 2003; SILVA, 2007).

O objetivo principal da extrusão consiste em ampliar a variedade de alimentos que compõem a dieta, elaborando-se, a partir de ingredientes básicos, produtos distintos

em textura e cor. Nesse sentido, vários trabalhos têm sido realizados utilizando o processo de extrusão e a farinha de arroz para promover a formulação de alimentos mais saudáveis, rico em fibras e outros componentes que o caracterizam como alimento funcional ou nutracêutico, aumentando as possibilidades de diversificação de novos produtos que atendam às atuais necessidades dos consumidores principalmente em relação à saúde. A farinha de arroz pré-gelatinizada pode ser utilizada no preparo de alguns alimentos como: sopas, alimentos infantis instantâneos, cereais matinais, macarrão, pão, produtos cárnicos, sobremesas, entre outros (CLARICI; EL-DASH, 2008).

Na atualidade, a linhaça é amplamente investigada e classificada como alimento funcional, principal fonte vegetal de ácido graxo α-linolênico - ômega-3 (52% do total de ácidos graxos) e de compostos fenólicos conhecidos como lignanas (PAYNE, 2000; OOMAH, 2001; SIMBALISTA et al., 2003); é também uma rica fonte de fibras alimentares com boa proporção entre solúvel (auxilia na diminuição do colesterol sanguíneo) e insolúvel (apresenta efeito laxativo) (AHMED, 1999; PAYNE, 2000). As sementes de linhaça contêm de 22 a 26 g $(100\ g)^{-1}$ de proteína (DAUN et al., 2003; SIMBALISTA et al., 2003); nas variedades mais produzidas no Canadá os valores de proteína estão muito próximos a 36 g $(100\ g)^{-1}$. A composição de aminoácidos da linhaça é comparável à da soja (ambas apresentam altas taxas de ácido aspártico, glutamina, leucina e arginina) (OOMAH; MAZZA, 1993), caracterizando uma proteína completa (AHMED, 1999), e com efeitos sobre as funções imunológicas do organismo (OOMAH, 2001).

Macarrões produzidos com farinha de trigo apresentam, como qualidade de cozimento e textura, baixa perda de sólidos em água, aumento de massa maior que duas vezes seu peso seco, estrutura firme e íntegra após o cozimento e baixa aderência ou pegajosidade (SOZER, 2009). Do ponto de vista comercial, a substituição do trigo por outras farinhas, tem sido um tema de interesse por várias décadas. Infelizmente, as tentativas não têm sido bem sucedidas, associada a relutância da população em consumir tipos de massas bastante diferentes daquelas que habitualmente costumam consumir em sua dieta (BAIANO et al., 2011). Textura é definida como a percepção sensorial da estrutura do alimento e a maneira com a qual ela reage uma determinada força aplicada (SZCZESNIAK, 2002). É um atributo importante de aceitação de alimentos pelo consumidor e, como tal, consiste em um aspecto crítico da avaliação da

qualidade (MOSKOWRTZ; DRAKE, 1972). Fatores que influenciam a textura de massas alimentícias incluem a qualidade da proteína, condições de secagem, a composição da água de cozimento e a absorção de água das proteínas durante o cozimento (MATSUO; BRADLEY; IRVINE, 1972; DE STEFANIS; SGRULETTA, 1990; CUNIN et al., 1995).

O presente trabalho teve como objetivo estudar e avaliar as propriedades de cozimento e textura de macarrões tipo talharim obtidos a partir da mescla de farinha pré-gelatinizada de arroz e linhaça (FPG), farinha de arroz (FA) e farinha de linhaça (FL).

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Matérias-primas

Os grãos quebrados de arroz (FA) foram doados pela empresa Arroz Cristal Ltda., situada em Aparecida de Goiânia, Goiás, Brasil e, a farinha de linhaça desengordurada (FL) pela empresa Vitao Alimentos Ltda., localizada em Curitiba, Paraná, Brasil. Os grãos quebrados de arroz foram moídos em moinho de martelos (Marconi, MA-090/CF, Piracicaba, Brasil) e misturados com FL, na proporção 80: 20 (m /m), em misturador tipo Y (Tecnal, TE-201/10, Piracicaba, Brasil), por 15 min, em bateladas de 2 kg, dando origem a farinha mista de arroz e linhaça (FMAL). A FMAL obtida foi acondicionada em embalagem de polietileno de baixa densidade (PEBD) e mantida sob refrigeração (5 ± 1 ^{o}C), até a posterior extrusão.

2.2 Processo de extrusão e obtenção da farinha pré-gelatinizada

O processamento da farinha mista de arroz e linhaça (80: 20) pré-gelatinizada (FPG) foi realizado em extrusora monorosca de laboratório (Inbramq, PQ 30, Ribeirão Preto, Brasil). Foram fixados os parâmetros: taxa de compressão da rosca de 3:1, taxa de alimentação de 350 g min^{-1}, abertura da matriz circular de 4 mm de diâmetro, com

camisa helicoidal, temperatura na primeira, segunda e terceiras zonas de aquecimento em 50 ºC, 70 e 111,3 ºC, respectivamente, umidade de matéria-pima em 18,8 g (100 g)$^{-1}$ rotação da rosca de 250 rpm. A FPG foi obtida após a moagem dos extrusados em moinho de martelos (Marconi, MA-090/CF, Piracicaba, Brasil) as amostras foram colocadas em embalagens de PEBD e armazenadas à temperatura de refrigeração (5 ºC ± 1 ºC) e com proteção contra luz para impedir eventual oxidação das farinhas.

2.3 Formulação das misturas

Foram elaboradas diferentes mesclas para produção dos macarrões, variando-se as concentrações de FPG, de FA e de FL, de acordo com o planejamento experimental de misturas (BARRROS NETO; SCARMÍNIO; BRUNS, 2003), apresentado na Tabela 1

Tabela 1. Planejamento experimental de misturas com os teores de farinha pré-gelatinizdas, farinha de arroz e farinha de linhaça, em valores reais [g (100 g)$^{-1}$] e peseudocomponentes.

	Proporção dos ingredientes na mistura ternária					
	Em concentrações reais			**Em pseudocomponentes**		
Experimento	**FPG (c_1)**	**FA (c_2)**	**FL (c_3)**	**FPG (X_1)**	**FA (X_2)**	**FL (X_3)**
1	0,5	0,4	0,1	0,75	0	0,25
2	0,35	0,6	0,05	0	1	0
3	0,5	0,45	0,05	0,75	0,25	0
4	0,45	0,4	0,15	0,5	0	0,5
5	0,35	0,5	0,15	0	0,5	0,5
6	0,43	0,47	0,10	0,4	0,35	0,25
7	0,43	0,47	0,10	0,4	0,35	0,25
8	0,43	0,47	0,10	0,4	0,35	0,25

$X_1 + X_2 + X_3 = 1$ ou 100%

Determinaram-se as variáveis dependentes: tempo ótimo de cozimento, aumento de massa, perda de sólidos em água e textura (firmeza e pegajosidade). Após a execução do experimento e a coleta de dados, foi feito o ajuste de uma equação polinomial para cada resposta, estimando-se os respectivos coeficientes, através dos modelos canônicos de Scheffé, para três componentes: modelos linear (Equação 1) e quadrático (Equação 2):

$$y = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 \qquad \text{(Equação 1)}$$

$$y = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3 \qquad \text{(Equação 2)}$$

onde: y é a variável dependente;
β o coeficiente de regressão para cada componente do modelo;
x_1 = farinha pré-gelatinizada;
x_2 = farinha de arroz;
x_3 = farinha de linhaça;

Os termos não significativos foram retirados obtendo modelo final ajustado mais adequado para descrever as características do espaço experimental analisado, porém em alguns casos em que os termos foram quase significativos, estes foram mantidos no modelo, pois contribuíram de forma expressiva na resposta analisada (BOX; HUNTER; HUNTER, 1978).

Foi selecionado um macarrão com melhor qualidade tecnológica de acordo com o método da desejabilidade. O cálculo da formulação do macarrão tipo talharim com maior desejabilidade foi determinado por meio do programa Statistica versão 7.0 (STATSOFT, 2007). Desta forma, foram atribuídas a estas variáveis notas entre 0 e 1 , sendo 0 a menos desejada e 1 como a mais desejada. A representação do sistema de misturas apresentado foi construída utilizando-se diagramas triangulares

2.4 Produção do macarrão

Os macarrões tipo talharim foram produzidos em quatro etapas: pesagem e mistura das farinhas, adição de água, abertura e corte das massas e secagem, sendo realizado em bateladas de 200 g. Inicialmente, a granulometria das farinhas foi ajustadas a 20 *mesh*, em seguida, misturadas por 5 min em batedeira (Arno, Planetária, São Paulo, Brasil). Posteriormente, acrescentou-se água filtrada (50 mL de água por 100 g de farinha) e misturou-se por 15 min, até a obtenção de uma massa homogênea. Para melhorar a homogeinização, a massa foi armazenada em saco de polietileno de baixa densidade (PEBD) em geladeira por 10 min, antes da abertura e corte da massa. A abertura e corte da massa foi realizada em máquina de macarrão manual (Anodilar, Caxias do Sul, Brasil). A massa para a produção de macarrão tipo talharim foi cilindrada por três vezes nas espessuras 7, 6, 5 e 4 mm (espessura final da massa) e cortadas com 26 cm de comprimento e 0,5 cm de largura, configurando um macarrão tipo talharim. Em seguida, as massas frescas foram acondicionadas em bandejas teladas

e levadas para estufa de circulação de ar ajustada a 45 ^{o}C, por 2 h, sendo adicionado uma vasilha com água para aumentar a umidade relativa do ar no interior da estufa na primeira hora a fim de melhorar a qualidade do macarrão (ORMENESSE et al., 1998).

2.5 Avaliação da qualidade

O tempo ótimo de cozimento foi definido como aquele necessário para o desaparecimento da coloração branca do centro da amostra quando esta foi submetida à pressão entre duas lâminas de vidro (PAUCAR-MENACHO et al., 2008), o aumento de massa foi determinado pela razão entre 10 g de amostra antes e após a cocção, utilizando-se o tempo ótimo de cozimento (NABESHINA; HASHIMOTO; EL-DASH, 2003).

A quantidade de sólidos perdidos na água de cozimento foi determinada pela evaporação de 25 mL de água utilizada no cozimento, em estufa a 105 °C, até peso constante (NABESHINA; HASHIMOTO; EL-DASH, 2003).

O teste de firmeza foi conduzido segundo da AACC (1983). A análise de pegajosidade das amostras foi realizada segunda metodologia proposta por Dexter et al. (1983), utilizando-se texturômetro TA-XT2i (STABLE MICRO SYSTEMS, 1997)

A amostra selecionada na análise de desejabilidade foi caracterizada em relação aos teores de umidade, cinzas, proteína bruta, com fator conversão do nitrogênio em proteína de 6,25 lipídios totais e fibra alimentar total, solúvel e insolúvel por digestão enzimática, utilizando-se os métodos da AOAC (1997). Os carboidratos foram determinados pelo cálculo da diferença entre 100 gramas do alimento e a soma total dos valores encontrados para umidade, proteínas, lipídios e cinzas.

As médias obtidas para as características de cozimento (TOC, AM e PS) do macarrão experimental selecionado pelo teste de desejabilidade, foram comparadas com um macarrão produzido com farinha pré-gelatinizada de arroz e com um macarrão de trigo integral adquiridos, visando a verificação do seu valor comercial.

Foram realizadas análises de microscopia eletrônica de varredura na superfície e na fratura dos macarrões tipo talharim. Para tanto, utilizou-se microscópio eletrônico (FEI Company, Quanta-200, Netherlands, EUA). As amostras foram alocadas em *stubs* de alumínio, utilizando uma fita dupla face, banhados com um fino filme de ouro (10

nm) e examinadas com voltagem de aceleração de 10 kV, em aumentos de 800x, 1600x e 3000x.

2.7 Análise dos resultados

Os dados obtidos de cada resposta foram submetidos à análise de variância (ANOVA), para avaliar a significância ($p < 0,05$), o coeficiente de variação, o coeficiente de determinação ajustado (R^2aj) e a falta de ajuste dos modelos matemáticos obtidos. Utilizou-se o programa Statistica versão 7.0 (STATSOFT, 2007) para obtenção do planejamento experimental, análise dos dados e construção dos gráficos. As médias das características de cozimento do macarrão selecionado no teste de desejabilidade e dos macarrões comerciais foram comparadas utilizando-se o teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os modelos de regressão ajustados para o tempo ótimo de cozimento (TOC), o aumento de massa (AM), a perda de sólidos (PS), a firmeza (FIR) e a pegajosidade (PEG) dos macarrões experimentais elaborados a partir do delineamento de misturas estão apresentados na Tabela 2. Os valores médios e os desvios-padrão destes parâmetros para cada experimento estão apresentados no APÊNDICE C.

Os modelos ajustados para as respostas TOC, AM, PS foram significativos ao nível de 5% de probabiliadde (*p* entre 0,004 – 0,049), com 92,4 a 98,54% das respostas explicadas pelos modelos ajustados (variação de R^2) e apresentaram falta de ajuste (FAj) não significativa, com exceção do modelo para TOC, cuja falta de ajuste (FAj) foi significativa, entretanto, de acordo com Waszczynskyj et al. (1981), se o quadrado médio para o erro experimental apresentar valores baixo, os testes de significância para falta de ajuste devem ser considerados irrelevantes, desta forma, todos os modelos podem ser utilizados para fins preditivos.

Os teores de FPG, FA e FL foram significativos para todas as respostas ($p<0,05$), com exceção do efeito da FL para PS ($p= 0,086$). Em relação a interações

entre os componentes, verificou-se que TOC e PS não foram influenciadas pela interação entre FPG e FA, entretanto esta interação foi mantida no modelo para TOC, pois, o coeficiente de determinação ajustado obtido foi maior. A interação entre FPG e FL foi significativa para AM, PS e PEG. A interação entre FA e FL não foi significativa para os modelos AM, FIR e PEG, mesmo assim foi mantida para FIR para melhor ajuste do modelo.

Tabela 2. Modelos de regressão ajustados, nível de significância (p), coeficientes de regressão (R^2) e falta de ajuste (FA) para tempo ótimo de cozimento (TOC), aumento de massa (AM), perda de sólidos (PS), firmeza (FIR) e pegajosidade (PEG) dos macarrões experimentais em função das variáveis FPG (x_1), FA (x_2) e FL (x_3)

	MODELO	**p**	**R^2**	***FA j***
TOC	$y_i = 11{,}1253x_1+5{,}9923x_2+5{,}3889x_3-\mathit{7{,}1681x_1x_2}$ $\mathit{+10{,}1657x_2x_3}$	0,049	92,40	0,0
AM	$y_i = 134{,}8760x_1+107{,}6380x_2+142{,}9390x_3-98{,}2320x_1x_2$ $-123{,}9180x_1x_3$	0,004	98,54	0,8
PS	$y_i = 0{,}0407x_1+0{,}03576x_2+\mathit{0{,}0305x_3}+0{,}0549x_1x_3$ $+0{,}0519x_2x_3$	0,038	93,61	0,4
FIR	$y_i = 609{,}406x_1+416{,}553x_2+333{,}832x_3-673{,}525x_1x_2$ $\mathit{-274{,}358x_2x_3}$	0,024	95,38	0,9
PEG	$y_i = 915{,}05x_1+602{,}540x_2-1541{,}12x_3-1226{,}47x_1x_2$ $-1885{,}92x_1x_3$	0,008	97,80	0,4

Valores em *itálico*: apesar de não apresentar efeito significativo a 5% de probabilidade, foram mantidos para melhorar o ajuste do modelo.

Todos os macarrões tipo talharim, avaliados no estado seco e cru, mostraram uniformidade em termos de comprimento (26 cm), espessura (0,4 cm) e largura (0,5 cm). Apresentaram-se lisos, sem rugosidade e de coloração uniforme. De acordo com Dexter, Matsuo e Morgan (1981), Walsh e Gilles (1974) tais características de qualidade são fundamentais no aspecto comercial do produto (Figura 1).

3.1 Propriedades de cozimento

As amostras de macarrão não apresentaram diferença no tempo ótimo de cozimento (TOC), com exceção dos experimentos 2 (6 min.) e 1 (10 min). Na Figura 2A, observou-se que o menor TOC (abaixo de 7 min) encontrou-se na região experimental circulada pela linha pontilhada entres os pontos D (0,45; 0,55; 0), E (0,2; 0,7; 0,1), F (0; 0,9; 0,1) e 2 (0; 1; 0,0), ou seja, com maiores valores FA [51 a 60 g (100 g)$^{-1}$] e menores de FPG [35 a 44 g (100 g)$^{-1}$] e de FL [5 a 7 g (100 g)$^{-1}$]. Valores maiores de TOC (acima de 10 min) foram encontrados na região entre os pontos A (0,7; 0; 0,3), B (0,7; 0,06; 0,24) e C (0,8; 0,1; 0,1) e caracterizada por maiores valores de FPG [50 a 49 g (100 g)$^{-1}$] e menores de FA [40 a 42 g (100 g)$^{-1}$] e intermediários de FL [7 a 10 g (100 g)$^{-1}$].

Figura 1: Aparência dos macarrões produzidos com mesclas de farinha pré-gelatinizada de arroz e linhaça, farinha de arroz e farinha de linhaça. 1 (0,5; 0,4; 0,1), 2 (0,35; 0,6; 0,05), 3 (0,5; 0,45; 0,05), 4 (0,45; 0,4; 0,15), 5 (0,35; 0,05; 0,15); 6 (0,43; 0,47; 0,10), 7 (0,43; 0,47; 0,10), 8(0,43; 0,47; 0,10).

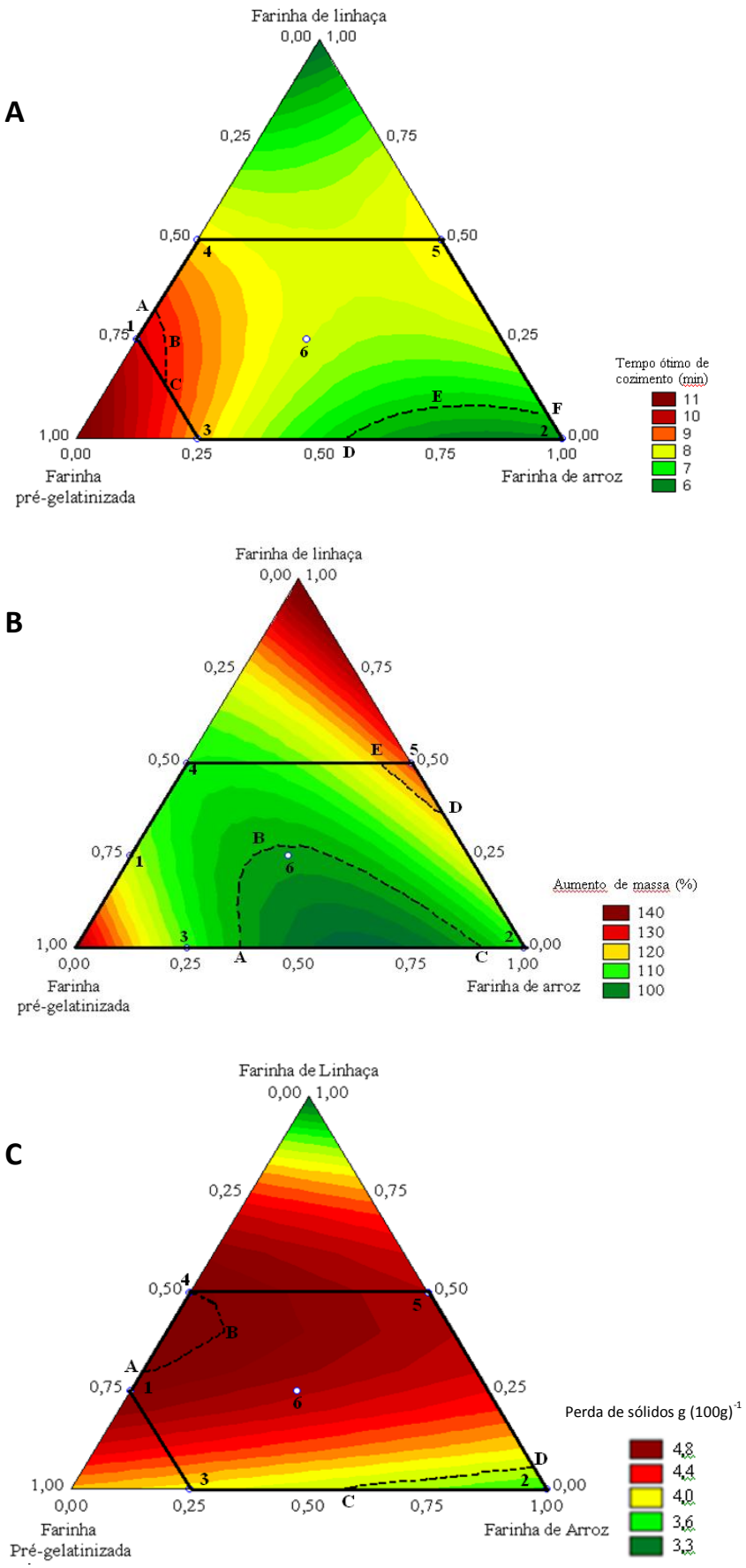


Figura 2: Curvas de nível obtidas pelo modelo experimental (em termos de pseudocomponentes) para A: Tempo ótimo de cozimento (TOC), B: Aumento de massa (AM) e C: Perda de sólidos em água (PS). Área demarcada entre os pontos experimentais demonstra a região passível de ser analisada

O percentual de perda de sólidos em água e o aumento de massa são dois fatores importantes que influenciam a qualidade de cozimento de massas alimentícias. Alto teor de perda de sólidos é uma característica indesejável e representa alta solubilidade do amido, resultando em turbidez na água de cozimento e pouca tolerância ao cozimento. Em contrapartida, baixo aumento de massa, indica baixa capacidade de absorção de água, resultando em macarrões mais duros e com qualidade inferior (BHATTACHARYA; ZEE; CORKE, 1999).

O parâmetro aumento de massa (AM) está relacionado à capacidade de absorção de água das massas e depende do formato do macarrão. Para Kruger et al. (1996), as massas à base de trigo devem apresentar aumento de peso de 160 a 180 g (100 g)$^{-1}$. Segundo Donnely (1979), o aumento de peso deve ser da ordem de 200 a 250 g (100 g)$^{-1}$, enquanto Hummel (1966) cita valores mínimos de 100 g (100 g)$^{-1}$. Segundo os critérios deste último autor, os macarrões formulados neste trabalho apresentaram valores aceitáveis para este parâmetro de qualidade. Os menores valor de AM, abaixo de 110 g (100 g)$^{-1}$, encontraram-se na área do gráfico entre os pontos A (0,65; 0,47; 0), B (0,4; 0,3; 0,3) e C (0,1; 0,9; 0), ou seja, em valores intermediários de FPG [37 a 48 g (100 g)$^{-1}$] e FA [46 a 58 g (100 g)$^{-1}$] e menores de FL [5 a 11 g (100 g)$^{-1}$]. Maiores valores de AM, acima de 120 g (100 g)$^{-1}$, foram encontrados na região entre os pontos D (0; 0,6; 0,4), E (0,1; 0,4; 0,5) e 5 (0; 0,5; 0,5), caracterizada por menores teores de FPG [35 a 37 g (100 g)$^{-1}$] e de FA [48 a 52 g (100 g)$^{-1}$] e maiores de FL [10 a 15 g (100 g)$^{-1}$] (Figura 2B)

Os valores encontrados na determinação das PS mostraram que os macarrões elaborados estavam dentro dos padrões de qualidade segundo os critérios de Hummel (1966). Este autor afirmou que PS de até 6 g (100 g)$^{-1}$ são características de massas de trigo de qualidade muito boa, até 8 g (100 g)$^{-1}$ de massas de média qualidade e valores iguais ou superiores a 10 g (100 g)$^{-1}$ são característicos de massas de qualidade ruim. DONNELY (1979) também considera 8 g (100 g)$^{-1}$ como o valor máximo aceitável para a PS na água de cozimento. O maior percentual de PS, acima de 4,8 g (100 g)$^{-1}$, foi encontrado na região delimitada pelos pontos A (0,7; 0; 0,3), B (0,5; 0,1; 0,4) e 4 (0,5; 0; 0,5), ou seja, nos experimentos com intermediários teores de FGP [45 a 49 g (100 g)$^{-1}$], maiores de FL [11 a 15 g (100 g)$^{-1}$] e menores de FA [40 a 42 g (100 g)$^{-1}$]. Já os menores percentuais de PS, abaixo de 3,6 g (100 g)$^{-1}$, localizaram-se entre os pontos C

(0,4; 0,6; 0), D (0; 0,9; 0,1) e 2 (0; 1; 0), com máximos de FA [52 a 60 g (100 g)$^{-1}$] e mínimos de FL [5 a 7 g (100 g)$^{-1}$] e FPG [35 a 43 g (100 g)$^{-1}$) (Figura 2C).

Cui e Mazza (1996),relataram que massa de pão enriquecida com linhaça apresentou maior aumento de massa quando comparada com aquela que não apresentava a mesma adição. Resultado este semelhante ao encontrado neste estudo, uma vez que os macarrões com o maior aumento de massa foram aqueles que apresentaram maior teor de FL. Esperava-se que o amido pré-gelatinizado fosse o responsável por um maior AM, já que os amidos pré-gelatinizados são capazes de absorver e reter grande quantidade de água. O fato do amido não ter contribuído muito para o aumento de massa deve-se a alta capacidade de absorção de água da mucilagem presente na linhaça (CUI; MAZZA, 1996).

Em produção de *noodles* com diferentes porcentagens de farinha de trigo e farinha de arroz [30 a 50 g (100 g)$^{-1}$], observou-se que maiores concentrações de FA aumentavam a porcentagem de perda de sólidos (5,78 a 6,8350 [g (100 g)$^{-1}$], respectivamente), mas propiciavam um maior aumento de massa (119,62 a 135,6 [g (100 g)$^{-1}$], respectivamente) (INGLETT et al., 2005), resultados parcialmente semelhante ao encontro neste estudo.

Charutigon et al. (2008), observaram que a adição de emulsificante (0,5 – 1,5 g por 100 g de mistura) na produção de *noodles* de farinha de arroz resultou em maior percentual de perda de sólidos a medida em que se aumentou a concentração do emulsificante, uma vez que este possuiu a habilidade em formar complexos insolúveis com a fração amilose, prevenindo a lixiviação da amilose durante a gelatinização que ocorre no cozimento, inibindo o inchamento do grânulo do amido e sua capacidade de retenção de água e conseqüentemente, reduzido, também, o aumento de massa. Nabeshima, Hashimoto e El-Dash (2003), ao avaliarem as características de cozimento de macarrão de arroz obtido por meio de extrusão termoplástica, adicionadas de diferentes concentrações de emulsificantes, observaram que em todos os tratamentos, ocorreu uma diminuição do TOC e PS e uma elevação do AM. No estudo destes autores, também foi observado que, com aumento da concentração do emulsificante, ocorreu um aumento na PS e no AM. Resultados estes também observados neste trabalho para PS e AM, uma vez que na medida em que se aumentava os teores de FL, que possui atividade emulsificante, estes parâmetros também aumentavam.

Ormense e Chang (2003) observaram que em macarrões produzidos com 40 g (100 g)$^{-1}$ de farinha pré-gelatinizada de arroz, ocorreu um aumento no TOC e uma diminuição da PS do macarrão de arroz quando comparado com o de trigo. Resultado parcialmente semelhante ao encontrado neste estudo, uma vez que foi observado um aumento do TOC e de PS com a elevação do teor de FPG.

A substituição parcial (10 a 30 [g (100 g)$^{-1}$] de farelo de trigo sarraceno extrusado em macarrão tradicional, promoveu em todos os nivéis de substituição uma diminuição (cerca de 1,5 min) no TOC quando comparado com o controle, enquanto que PS aumentou linearmente com o aumento do percentual do farelo de trigo sarraceno, indicando que o uso deste produto interferiu na formação da matrix do glúten enfraquecendo suas ligações, tornado o sistema mais frágil e facilitando a penetração de água (MANTHEY et al., 2004). Resultado semelhante a PS encontrada para os macarrões experimentais, pois se observou que com o aumento da FL, que possui em sua composição cerca de 30 g (100 g)$^{-1}$ de fibras insolúveis, característica semelhante à do trigo de sarraceno, ocorreu maior PS.

3.2 Perfil de Textura

As representações gráficas dos modelos de regressão ajustados para firmeza (FIR) e pegajosidade (PEG) dos macarrões experimentais cozidos foram apresentadas na Figura 3.

As amostras apresentaram variação na firmeza. Na área delimitada pelos pontos A (0,6; 0; 0,4), B (0,75; 0,1; 0,15) e 1 (0,75; 0; 0,25), observou-se a região de máximos valores (acima de 500 N), ou seja, nas formulações com maior percentual de FPG [(47 a 50 g (100 g)$^{-1}$] e menores de FL [8 a 13 g (100 g)$^{-1}$] e FA [40 a 42 g (100 g)$^{-1}$]. Menores valores (abaixo de 350 N) foram encontrados na região entre os pontos C (0,5; 0,2; 0,3), D (0,16; 0,54; 0,3) e E (0; 0,6; 0,4), ou seja em formulações com menores teores de FPG [35 a 45 g (100 g)$^{-1}$], intermediários de FA [42 a 53 g (100 g)$^{-1}$] e maiores de FL [12 a 13 g (100 g)$^{-1}$] (Figura 3A). De forma geral, com maiores percentuais de FPG, os macarrões experimentais tornaram-se mais firmes e com maiores de FL, menos firmes.

Outro parâmetro para avaliar a qualidade de massas cozidas é a pegajosidade. Os macarrões tipo talharim com maior pegajosidade (acima de 1000 N) foram aqueles

localizados nas regiões entre os pontos D (0,06; 0,46; 0,48), E (0; 0,57; 0,43) e 5 (0; 0,5; 0,5), ou seja, com maiores valores de FL [10 a 15 g (100 g)$^{-1}$), intermediários de FA [49 a 52 g (100 g)$^{-1}$] e menores de FPG [35 a 36 g (100 g)$^{-1}$]. Aqueles menos pegajosos (600 N) encontram-se na região entre os pontos A (0,6; 0,4; 0), B (0,7; 0,3; 0) e C (0,44; 0,46; 0,01), com maior teor de FPG [44 a 50 g (100 g)$^{-1}$], intermediário de FA [43 a 49 g (100 g)$^{-1}$] e menores de FL [5 a 7 g (100 g)$^{-1}$] (Figura 3B).

Amidos modificados e emulsificantes foram utilizados com o intuito de aumentar a firmeza e diminuir a pegajosidade de *noodles* de arroz após o cozimento (CHARUTIGON et al., 2008). A quantidade FPG e seu grau de gelatinização foram fatores importantes para a textura de *noodles* de arroz (BHATTACHARYA; ZEE; CORKE, 1999). Resemine et al. (1979) observaram que macarrão de arroz produzidos com substituição de 7 g (100 g)$^{-1}$ de FPG apresentaram características superiores aqueles produzidos apenas com a farinha pré-gelatinizada, apresentando-se mais firmes e menos pegajosos. Produtos a base de FPG são mais firmes que aqueles que não utilizam este produto em sua formulação (HSU et al., 2000). Reina et al. (2005) analisaram o perfil de textura de macarrões de arroz, produzidos com diferentes níveis de FPG de arroz [14 a 20 g (100g)$^{-1}$] e goma guar [0,5 a 2 g (100 g)$^{-1}$] e perceberam que a adição de FPG melhorou significativamente o perfil de textura dos macarrões cozidos. Os autores observaram que a adição da FPG tornou o produto mais firme e menos pegajoso quando comparado com o controle (sem adição de FPG). Resultado este semelhante ao encontrado neste estudo, já que em maiores percentuais de FPG os macarrões experimentais tornaram-se mais firmes e menos pegajosos.

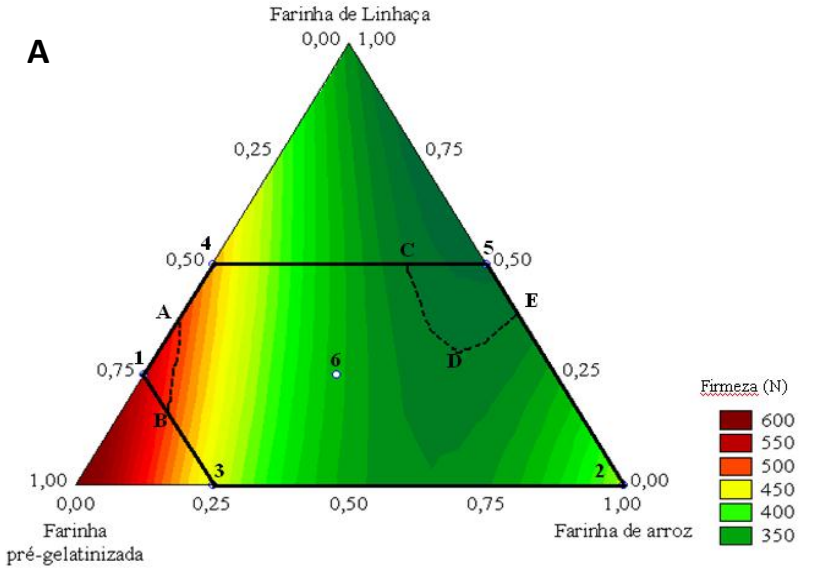
Manthey et al. (2000) reportaram que macarrões secos com adição de FL apresentaram menor firmeza quando comparado com o macarrão tradicional. A diminuição deste parâmetro pode estar atribuída ao fato da FL promover um enfraquecimento da massa. Massas com substituição de FL, 5 – 20 g (100 g)$^{-1}$, em formulação de pães, apresentaram maior absorção de água, tempo de desenvolvimento e tolerância à mistura e menor estabilidade nas maiores concentração de FL. Essas mudanças na estabilidade e na tolerância a mistura com a adição de FL pode ser atribuída à diluição da rede de proteínas formada pelo glúten causando um enfraquecimento da massa (KOCA; ANIL, 2007; BORGES, 2006; MANTHEY; SCHORNO, 2002). Característica também encontrada neste estudo, uma vez que macarrões menos firmes e mais pegajosos foram encontrados em maiores teores de FL.

Em macarrões de trigo integral, observaram-se maiores valores de firmeza quando comparado com controle, porém maior pegajosidade. As fibras e o maior teor de proteína do macarrão integral formam uma barreira que impedem a difusão da água até as camadas interiores, impedindo a formação da rede de glúten e como resultado, há um maior lixiviamento dos grânulos de amido na superfície do macarrão, justificando sua maior pegajosidade associada à maior firmeza (SOZER; DALGIÇ; KAYA, 2007). Comportamento semelhante ao encontrado neste estudo, uma vez que foi observada uma maior firmeza em macarrões, associado a uma maior pegajosidade, nos macarrões experimentais com maiores teores de FL, indicando que as fibras presentes nesta farinha podem ter exibido comportamento semelhante as do trigo integral.

Ribotta et al. (2005) sugeriram que a adição de farinha de soja na formulação de pães produzidos com de farinha de trigo, interferiu diretamente na formação da rede de glúten, devido às interações entre as proteínas da soja e do trigo e indiretamente, pois ocorreu diminuição da disponibilidade de água para o glúten, enfraquecendo a massa. Estas constatações foram as mesmas encontradas por Lorimer et al. (1991), que listaram diversos fatores que favoreceram este enfraquecimento, tais como a concorrência pela água entre as proteínas da soja e do glúten pela água e a interrupção da formação dos complexos proteína-amido, responsáveis pela estabilidade da massa. Resultado semelhante ao encontrado neste estudo, uma vez que em maiores concentrações de FL obtiveram-se macarrões menos firmes.

3.3 Microsocpia eletrônica de varredura

Neste estudo de massas alimentícias sem glúten, com matérias-primas não tradicionais, procurou-se formar uma estrutura semelhante à do glúten, através do emprego de tecnologias que explorassem as propriedades funcionais do amido. Na figura 4 foi possível observar, através das imagens de microscopia, a estrutura de rede formada pela proteína da FL e o amido pré-gelatinizado da FPG após a mistura com a água e prensagem pelo processo de extrusão a frio. Ocorreu um alinhamento das moléculas no sentido do fluxo do extrusado, o que pode impedir a entrada de água na camada interior do fio do macarrão, tornado sua superfície mais pegajosa.



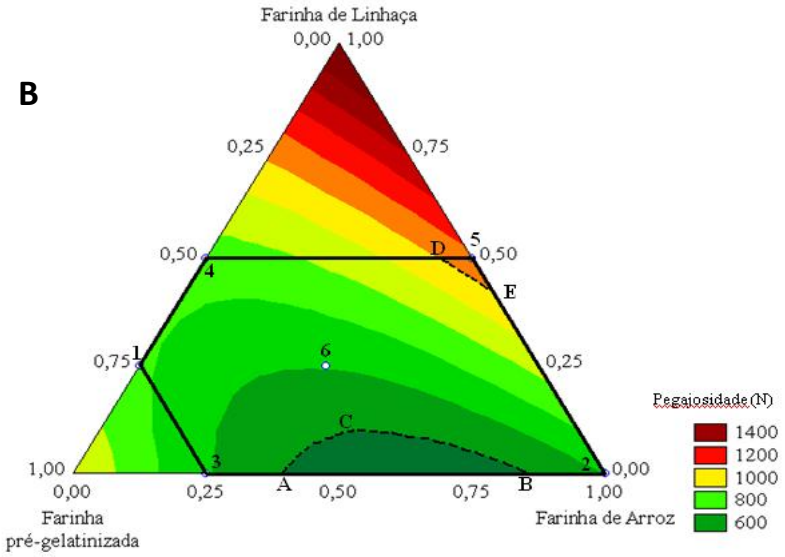


Figura 3: Curvas de nível obtidas pelo modelo experimental (em termos de pseudocomponentes) para A: Firmeza (FIR), B: Pegajosidade (PEG). Área demarcada entre os pontos experimentais demonstra a região passível de ser analisada

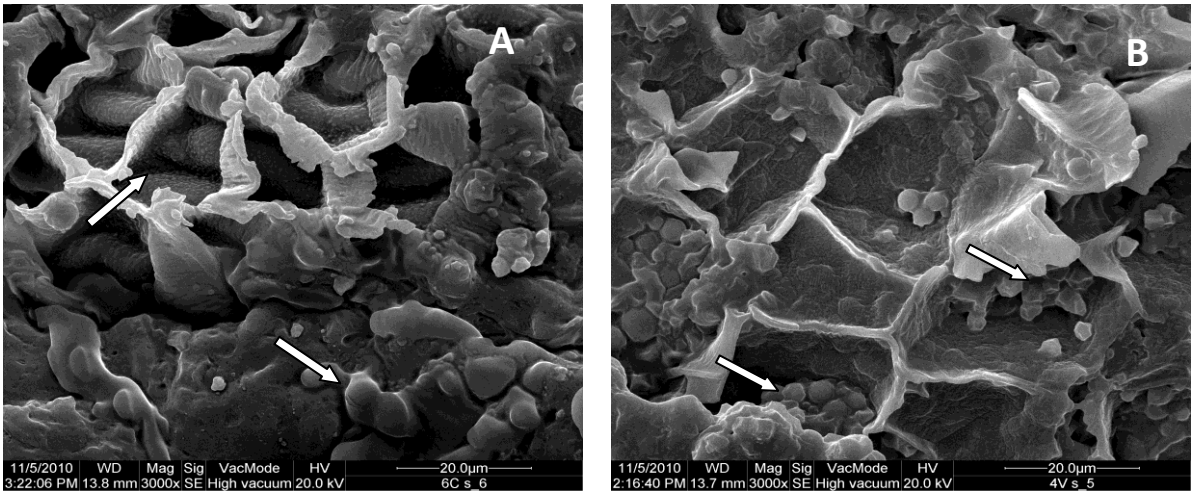


Figura 4: Microscopia da superfície dos macarrões tipo talharim A: formulação 6, B: formulação 4, na magnitude 3000X.

Na figura 4A (experimento 6), observa-se a rede de proteínas formada da farinha de linhaça, com presença de grânulos de amidos intumescidos, com presença de partículas intactas que podem justiçar a menor PS e maior AM encontrado para esta formulação, quando comparado com a Figura 4B, onde é possível, também verifica a rede de proteínas formada pela farinha de linhaça, porém com presença de grânulos de amido intactos justificando uma maior PS para este tratamento.

3.4 Desejabilidade

A desejabilidade é uma ferramenta utilizada para otimização das respostas de um planejamento fatorial, envolvendo a transformação das variáveis dependentes estimadas pelos modelos estatísticos em valores desejados entre 0 e 1 (HARRINGTON, 1965). Assim, gerou-se o diagrama da desejabilidade (Figura 5), utilizando-se os modelo TOC, AM e OS, dentro da faixa de valores para sua formulação observadas nos macarrões tipo talharim (Tabela 3).

Tabela 3: Concentrações máximas e mínimas estabelecidas das farinhas pré-gelatinizada, de arroz e de linhaça.

Componente	Máximo % (m/m)	Mínimo % (m/m)
Farinha pré-gelatinizada	50	35
Farinha de arroz	60	40
Farinha de linhaça	15	5

Desta forma, foram atribuídas nota 1 para o menor TOC, 1 para a menor perda de sólidos e 1 para intermediário AM. Assim, o diagrama mostra que a função desejabilidade apresentou valor otimizado em valores reais para TOC, AM e PS em 43 g (100 g) $^{-1}$ para FPG (primeira coluna), 47 g (100 g) $^{-1}$ de FA (segunda coluna) e 10 g (100 g) $^{-1}$ de FL (terceira coluna), sendo o experimento 6 (ponto central), a mais desejada.

O macarrão tipo talharim obtido no experimento 6, apresentou 12 g (100 g)$^{-1}$ de umidade, 1,7 g (100 g)$^{-1}$ de cinzas, 10,3 g (100 g)$^{-1}$ de proteínas, 1,4 g (100 g)$^{-1}$ de lipídios, 86,6 g (100 g)$^{-1}$ de carboidratos, sendo 19,83 g (100 g)$^{-1}$ de fibra alimentar total, dividida em 2,83 g (100 g)$^{-1}$ solúveis e 17 g (100 g)$^{-1}$ insolúveis e 332,2 kcal (100 g^{-1}), sendo este alimento considerado fonte de fibra alimentar (BRASIL, 1998).

Uma porção de 30 g do produto mais desejável contém aproximadamente 0,51 g (100 g)$^{-1}$ de cinzas, 3,09 g (100 g)$^{-1}$ de proteínas, 0,4 g (100 g)$^{-1}$ de lipídios, 26,58 g (100 g)$^{-1}$ de carboidratos, com destaque especial para a fibra alimentar, cuja a porção recomendada de 30 g fornece 6 g (100 g)$^{-1}$, correspondendo a 20% da recomendação diária deste nutriente para uma dieta de 2.000 kcal por dia, podendo ser considerado fonte de fibras.

3.5 Comparação entre o macarrão de maior desejabilidade com o de arroz e o de trigo integral

As médias obtidas para TOC, AM e PS do macarrão de maior desejabilidade selecionado, macarrão de arroz e de trigo integral estão apresentados na Tabela 4

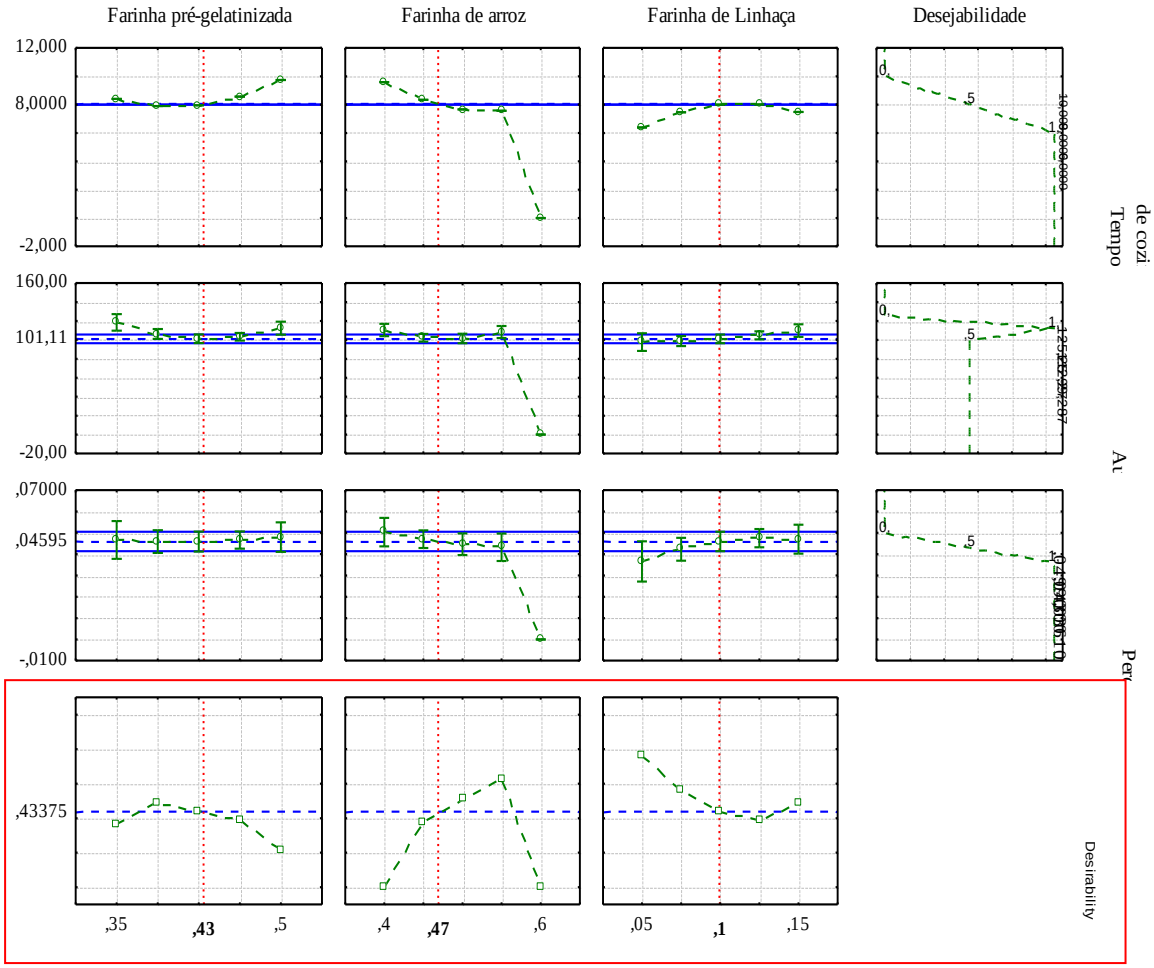


Figura 5: Teste de desejabilidade utilizando parâmetros de tempo ótimo de cozimento, aumento de massa e perda de sólidos na água.

Tabela 4: Comparação das médias obtidas de tempo ótimo de cozimento (TOC), aumento de massa (AM) e perda de sólidos (PS), do macarrão experimental, macarrão de arroz e macarrão integral

Análises Tecnológicas	Amostras		
	Macarrão experimental	**Macarrão de arroz**	**Macarrão integral**
TOC (min)	8	8	10
AM (g 100 g)$^{-1}$	101,1 ±1,32^{c}	120,9 ±6,9^{b}	131,5 ±5,77^{a}
PS (g 100 g)$^{-1}$	5,0 ±0,007^{a}	1,5 ±0,002^{b}	5,1 ±0,002^{a}

Letras diferentes na mesma linha indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey (p<0,05).
[1] minutos (min)
[2] (%)

O valor apresentado de TOC pelo macarrão experimental foi inferior ao do macarrão de trigo e semelhante ao macarrão de arroz. O AM obtido para o macarrão de arroz foi significativamente maior ($p \geq 0,05$) que o obtido para o macarrão experimental e menor que o do macarrão integral. A PS foi significativamente menor ($p \leq 0,05$) para o

macarrão de arroz, enquanto não houve diferença significativa entre o macarrão experimental e o de trigo integral.

Segundo os critérios de qualidade descritos por Hummel (1966), as três massas alimentícias analisadas apresentaram características de cozimento adequadas, apresentando PS menor de 6 g (100 g)$^{-1}$ e aumento de massa maior que 100 g (100 g)$^{-1}$.

Alguns estudos foram realizados a fim de determinar as propriedades físicas e químicas de macarrões adicionados de FL. Esta adição deu origem a macarrões com menor TOC e AM, quando comparado com o macarrão tradicional sem adição de FL. A perda de sólidos foi similar ou menor que a do macarrão tradicional, pois a goma da linhaça forma uma barreira impedindo que as moléculas de amido e lipídio formem complexos insolúveis em água com a fração de amilose (MANTHEY; LEE; KEGODE, 2000; YALLA; MANTHEY, 2006). Resultados este semelhante ao encontrado neste estudo.

Marti, Seetharaman e Pagani (2010) ao estudarem o comportamento de macarrão de arroz integral produzidos por meio de extrusão observaram maior PS em relação ao macarrão de arroz parbolizado. Segundo esses autores, o maior percentual no macarrão de arroz integral pode ter ocorrido devido ao enfraquecimento da rede formada pelo amido, devido ao maior percentual de fibras presente na matéria-prima. Estes resultados condizem com o obtido neste trabalho, pois foi observada maior PS no macarrão experimental e no integral quando comparado com o macarrão de arroz.

4 CONLUSÃO

O tempo ótimo de cozimento, o aumento de massa e a perda de sólidos das formulações de macarrão com farinha pré-gelatinizadas de arroz e linhaça (80:20), farinha de arroz e farinha de linhaça encontram-se dentre dos limites de qualidade para macarrão.

Os maiores valores de aumento de massa (acima de 120) foram observados menores teores de farinha pré-gelatinizada de arroz e linhaça [35 a 37 g (100 g)$^{-1}$] e de farinha de arroz [48 a 52 g (100 g)$^{-1}$] e maiores de farinha de linhaça [10 a 15 g (100 g)$^{-1}$].

O menor percentual de perda de sólidos em água encontra-se em máximos teores de farinha de arroz [52 a 60 g (100 g)$^{-1}$] e mínimos de farinha de linhaça [5 a 7 g (100 g)$^{-1}$] e de farinha pré-gelatinizada de arroz e linhaça [35 a 43 g (100 g)$^{-1}$).

Em relação ao perfil de textura, os macarrões experimentais com maior firmeza (acima de 500 N) são obtidos com o máximo teor de farinha pré-gelatinizada [47 a 50 g (100 g)$^{-1}$] e menores de farinha de linhaça [8 a 13 g (100 g)$^{-1}$] e farinha de arroz [40 a 42 g (100 g)$^{-1}$].

Os macarrões menos pegajosos (ao redor de 600 N) obtêm-se com maior teor de farinha pré-gelatinizada [44 a 50 g (100 g)$^{-1}$], de intermediário de farinha de arroz [43 a 49 g (100 g)$^{-1}$] e menores de farinha de linhaça [5 a 7 g (100 g)$^{-1}$].

Os macarrões com maiores teores de farinha pré-gelatinizada são mais firmes e menos pegajosos, indicando o uso de farinha modificada para produção de macarrão elaborado com matérias-prima não tradicionais.

O macarrão mais desejável foi aquele determinado pelo ponto central do planejamento de misturas, com intermediários teores dos três componentes, sendo que este macarrão.pode ser caracterizado com alimento fonte de fibras.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

AHMED, Z. S. Physico-chemical, structural and sensory quality of cornbased flax-snack, **Food/Nahrung**, Weinheim, v. 43, n. 4, p. 253 – 258, 1999.

AOAC INTERNATIONAL. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of AOAC International**. 16. ed. Gaitherburg: AOAC International, 1997.

ARENDT, E. K.; O'BRIEN, C. M.; SCHOBER, T.; GORMLEY, T. R.; GALLAGHER, E. Development of gluten-free cereal products**. Farm and Food**, Dublin, v. 12, p.21–27, 2004.

BAIANO, A.; LAMACCHIA, C.; FARES, C.; TERRACONE, C.; LA NOTTE, E. Cooking behaviour and acceptability of composite pasta made of semolina and toasted or partially defatted soy flour. **LWT - Food Science and Technology**, London, v. 44, n. 4, p. 1226 – 1232, 2011.

BARROS NETO, B.; SCARMÍNIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Planejamento e otimização de experimentos,** Campinas: Unicamp, 2003. 299p.

BHATTACHARYA, K.; ZEE, S.Y.; CORKE, H. Physicochemical properties relates to quality of rice noodles. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.76, n. 6 , p.861-867, 1999.

BORGES, J. T. S.; PIROZI, M. R.; DELLA LUCIA, S. M.; PEREIRA, P. C.; FIALHO, A. R. M.; CASTRO, V. C. Utilização de farinha mista de aveia e trigo na elaboração de bolos. **Boletim do CEPPA**, Curitiba, v. 24, n. 1. p. 145-162, 2006.

BORTOLATO, D. S.; CASTIGLIONI, G. L.; DORS, G. C.; SILVA, K. A. D. ; KUHN, R. C.; RUIZ, W. A. **Principais características físico-químicas de farinhas de arroz**. In: XVII CONGRESSO REGIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA, 18, 2003, Itajaí. **Anais...** Itajaí: Fundação Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003. 1 *CD-ROM*

BOX, G. E. P.; HUNTER, W. G.; HUNTER, J. S. **Statistics for experimenters**. New York: John Wiley & Sons, 1978. 653p.

BOZAN, B.; TEMELLI, F. Chemical composition and oxidative stability of flax, safflower and poppy seed and seed oils. **Bioresource Technology,** Columbus, v. 99, n. 14, p. 6354-6359, 2008.

BRASIL, Agência Nacional de Vigilância Santiária. **Resolução CNNPA nº 12, de 24 de julho de 1978** – Aprova o regulamento para padrão de identidade e qualidade para os alimentos (e bebidas). Brasília, DF. ANVISA, 1978. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/12_78.pdf>. Acesso em 03 maio 2011.

BRASIL. Secretária de Vigilância Sanitária, Ministério da Saúde. Portaria nº 27, de 13 de janeiro de 1998. RT referente à Informação Nutricional Complementar. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília**, DF, 16 de janeiro, 1998, Seção I. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/legis/portarias/27_98.htm>. Acesso em 25 maio 2011.

CHARALAMPOPOULOS, D.; WANG, R.; PANDIELLA, S. S.; WEBB, C. Application of cereals and cereal components in functional foods: a review. **International Journal of Food Microbiology**, Amsterdam, v. 79, p. 131-141, 2002.

CHARATIGON, C.; JITPUPAKDREE, J.; NAMSREE, P.; RUNGSAEDTHONG, V. Effects of processing condition and use of modified starch and monoglyceride on some proprieties of extruded rice vermicelli. **LWT - Food Science and Technology**, London, v. 41, n. 4, p. 642–651, 2008.

CHEN, Z. Y.; RATNAYAKE, W. M. N.; CUNNANE, S. C. Stability of flaxseed during baking. **Journal of American Oil Chemists Society**. Chicago, v. 71, p. 629-632, 1994.

CHILLO, S., LAVERSE, J., FALCONE, P.M., DEL NOBILE, M.A. Effect of carboxymethylcellulose and pregelatinized corn starch on the quality of amaranthus spaghetti. **Journal of Food Engineering**, London, v. 83, n. 4, p. 492-500, 2007.

CLERICI, M. T. P. S.; EL-DASH, A. A. Características tecnológicas de farinhas de arroz pré gelatinizadas obtidas por extrusão termoplástica. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1543-1550, 2008.

CUI, W.; MAZZA, G. Phvsicochemical characteristics of flaxseed gum**. Food Research International**, Barking, v. 29, n. 3-4, p. 397-402, 1996.

CUNIN, C.; HANDSCHIN, S.; WALTHER, P. ; ESCHER, F. . Structural changes in starch during cooking of durum wheat pasta. **LWT - Food Science and Technology**, London, v. 28, n. 3, p. 323–329. 1995.

DE STEFANIS, E.; SGRULETTA, D. Effect of high temperature drying on technological properties of pastas. **Journal of Cereal Science**, London, v.12, n. 1, p. 97–104, 1990.

DEXTER, J. E.; KILBORN, B. C.; MORGAN, B. C.; MATSUO, R. R. Grain research laboratory compression tester: instrumental measurement of cooked spaghetti stickiness. **Cereal chemistry**, St. Paul, v. 60, n. 2, p.139 – 142, 1983.

DEXTER, J. E.; MATSUO, R. R.; MORGAN, B. C. High temperature drying: Effect on spaghetti properties. **Journal of Food Science**, Chicago, v.46, n.6, p.1741-1746, 1981.

DONNELLY, B. J. Pasta products: raw material, technology, evaluation. **The Macaroni Journal**, Minneapolis, v. 61, n. 1, p. 6-7, 10, 12, 14-15, 18, 1979.

GALLAGHER, E., GORMLEY, T. R.; ARENDT, E.K. Recent advances in the formulation of gluten-free cereal based products. **Trends in Food Science and Technology**, London, v.15, n. 3-4, p.143-152, 2004.

HARRINGTON JUNIOR, E. C. The desirability function. **Industrial Quality Control**, New York, v. 21, n. 10, p. 494-498, 1965.

HUMMEL, C. **Macaroni products:** manufacture, processing and packing**.** London: Food Trade Press, Ltd., 1966, 287p.

INGLETT, G. E.; PETERSON, S.C.; CARRIERE, C.J.; MANEEPUN, S. Rheological, textural and sensory properties of Asian noodles contain an oat cereal hydrocolloid. **Food Chemistry**, London, v. 90, n. 1, p. 1-8, 2005.

KOCA, A. F.; ANIL, M. Effect of flaxseed and wheat flour blends on dough rheology and bread quality. **Journal of Science Food and Agriculture**, Malden, v. 87, n. 6, p.1172–1175, 2007.

KRUGER, J. E.; MATSUO, R. B.; DICK, J. W. **Pasta and noodle technology**. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1996, 356p.

LAI, H.M. Effects of rice properties and emulsifiers on the quality of rice pasta. **Journal of the Science Food and Agriculture**, Malden, v. 82, n.2, p.203-216, 2001.

LIU, R. H. Whole grain phytochemicals and health. **Journal of Cereal Science**, London, v. 46, p.207-219, 2007.

LORIMER, N.;ZABIK, M. E.; HARTE, J. B.; STCHIW, N. C.; UEBERSAX, M. A. Effect of Navy bean protein flour and bean globulins on composite four rheology, chemical bonding and microstructure. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.68, n. 3 , p. 213 – 22, 1991.

MANTHEY, F. A.; YALLA, S.; DICK, T. J.; BADARUDDIN, M. extrusion properties and cooking quality of spaghetti containing buckwheat bran flour**, Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 8, n. 2, p.232–236, 2004.

MANTHEY, F. A.; LEE, R. E.; KEGODE, R. B. Quality of spaghetti containing ground flaxseed. In: PROCEEDINGS OF THE 58TH FLAX INSTITUTE OF THE U.S., 58, (J.F. Carter, ed.), **Anais…**p. 92–99, Fargo, ND. 2000.

MANTHEY, F. A.; SCHORNO, A. L. Physical and cooking quality of spaghetti made from whole what durum. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 79, p. 504–510, 2002.

MARTI, A.; SEETHARAMANM, K.; PAGANI, A Rice-based pasta: A comparison between conventional pasta-making and extrusion-cooking. **Journal of Cereal Science**, St. Paul, v. 52, p. 404-40, 2010.

MATSUO, R. R.; BRADLEY, J. W.; IRVINE, G. Effects of protein content on the cooking quality of spaguetti. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 49, n. 6, p.707-711, 1972.

MOSKOWITZ, H.R.; DRAKE, B. Psychophysical measurement of texture. **Journal of Texture Studies**, v. 3, n. 2, p. 135–145, 1972.

NABESHIMA, E.H.; HASHIMOTO, J.M.; EL-DASH, A.A. Efeito da adição de emulsificantes em massas alimentícias sem glúten produzidas com extrusora termoplástica. **Boletim CEPPA**, Curitiba, v. 21, n. 2, p. 223-238, 2003.

OOMAH, B. D. Flaxseed as a functional food source. **Journal of Science Food and Agriculture**, Malden, v. 81, n.9, p. 889-894, 2001**.**

OOMAH, B.D.; MAZZA, G. Flaxseed proteins – a review. **Food Chemistry**, London, v. 48, p.109- 114, 1993.

ORMENESE, R. C. S. C., LEITÃO, R. F. F., SILVEIRA, N. F. A., BALDINI, V. L. S. Influência da secagem à alta temperatura nas características das massas com ovos. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, Campinas, v. 18, n. 1, p. 7-12, 1998.

ORMENESE, R. D. C. S. C.; CHANG, Y. K. Macarrão de arroz: características de cozimento e textura em comparação com o macarrão convencional e aceitação pelo consumidor, **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 1, n 6. p. 91-97, 2003.

PAGANI, M. A. Pasta products from non conventional raw materials. In: MERCIER, C.; CANTARELLI, C. **Pasta and extrusion cooked foods some technological and nutricional aspects**. London: Elsevier Applied Science Publishers, 1986, p. 52-68.

PAUCAR-MENACHO, L. M.; SILVA, L. H. D.; BARRETTO , P. A. D. 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.

PAYNE, T.J. Promoting Better Health with Flaxseed in Bread. **Cereal Foods World**, St. Paul, v. 45, n. 3, p.102-104, 2000.

RAINA , C. S.; SINGH, S.; BAWA, A. S.; SAXENA, D. C. Textural characteristics of pasta made from rice flour supplemented with proteins and hydrocolloids. **Journal of Texture Studies,** Westport, v. 36, n 4, p. 402–420, 2005.

RIBOTTA, P. D.; ARNULPHI, S.; LEÓN, A. E.; AÑÓN, M. C. Effect of soybean addition on the rheological properties and breadmaking quality of wheat flour. **Journal of the Science Food and Agriculture**, Malden, v. 85, p. 1889-1896, 2005.

SILVA, E. M. M. **Produção de macarrão pré-cozido à base de farinha mista de arroz integral e milho para celíacos utilizando o processo de extrusão**. 2007. 118f. Dissertação (Mestrado em Ciência) – Instituto de Tecnologia, Universidade Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

SIMBALISTA, R.L.; CAPRILLES, V.D.; ARÊAS, J.A.G. Caracterização da semente de linhaça (*Linum usitatissimim*). In: Anais do 7º Congresso da Sociedade Brasileira de Alimentação e Nutrição, Belo Horizonte, p 27, 2003. **Anais ...** Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Alimentação e Nutrição, 2003, *CD ROM*.

SINHA, S; YALLA, S; MANTHEY, F. A. Extrusion properties and cooking qualities of fresh pasta containing ground flaxseed, In: PROCEEDINGS OF 60TH FLAX INSTITUTE, ed. by CARTER, J. F. North Dakota State University, Fargo, ND, pp. 24–30, 2004.

SOZER, N. Rheological properties of rice pasta dough supplemented with proteins and gums. **Food Hydrocolloids**, London, v. 23, n, 3, p. 849 – 855, 2009.

SOZER, N.; DALGIÇ, A.C.; KAYA, A. Thermal, textural and cooking properties of spaghetti enriched with resistant starch. **Journal of Food Engineering**, London, v. 81, n.2, p.476‑484, 2007.

STASOFT. **STATISTICA 7.0 for Windows** – Computar program manual. Tulsa: Statsoft, Inc., 2007. CD Room.

SZCZESNIAK, A. S. Texture is a sensory property. **Food Quality and Preference**, London, v.13, n. 4, p. 215-225, 2002.

TRAUTWEIN, E.A. Fatty acids–physiological and technical aspects for their use in food. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v 103, n.1, p. 45–55, 2001.

VERARDO, V., BENDINI, A., CERRETANI, L., MALAGUTI, D., COZZOLINO, E., CABONI, M.F. Capillary gas chromatography analysis of lipid composition and evaluation of phenolic compounds by micellar electrokinetic chromatography in Italian walnut (Juglans regia l.): irrigation and fertilization influence. **Journal of Food Quality**, v.32, n.2, p. 262-281, 2009.

WALSH, D. E.; GILLES, K. A. Macaroni production. In: INGLETT, G. (Ed.). **Wheat:** production and utilization. Westport: AVI, 1974. p.333-354.

WASZCZYNSKYJ, N.; RAO, C. S.; SILVA, R. S. F. Extraction of proteins from wheatbran: application of carbohydrates. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 58, n. 4, p. 264-266, 1981.

YALCIN, S., BASMAN, A. Effects of gelatinisation level, gum and transglutaminase on the quality characteristics of rice noodle. **International Journal of Food Science and Technology**, v .43, n. 9, p. 1637 – 1644, 2008.

YALLA, S. R.; MANTHEY, F. A. Effect of semolina and absorption level on extrusion spaghetti containing non-traditional ingredients. **Journal of the Science Food and Agriculture**, Malden, v. 86, p. 841–848, 2006.

6 CONCLUSÃO

A adição de 20 g de farinha de linhaça em 80 g de farinha de arroz melhora significativamente os teores de cinzas, proteínas, lipídios e fibra alimentar, tanto solúvel como insolúvel, e também aumenta a absorção e a solubilidade em água e a capacidade de absorção de óleo, em relação à farinha de arroz pura;

As condições de extrusão (umidade da matéria-prima e temperatura) promovem um aumento geral dos índices de solubilidade e absorção de água e capacidade de absorção de óleo, tornando as farinhas mais escuras (diminuição de L*), com tendência para os tons avermelhados e amarelos (aumento de a* e b*) em relação à farinha mista crua;

As farinhas de arroz, de linhaça e mista de arroz e linhaça são diferentes entre si em relação às características viscoamilograficas. As farinhas pré-gelatinizadas apresentam aumento na viscosidade a frio e na quebra de viscosidade e diminuição no pico de viscosidade, viscosidade final e tendência à retrogradação, quando comparadas com a farinha mista de arroz e linhaça crua, indicando que o processo de extrusão afeta as características de pasta das farinhas pré-gelatinizadas;

A farinha pré-gelatinizada de arroz e linhaça (80:20) com as melhores características *para a fabricação de macarrão é produzida com umidade de 18,8 g $(100\ g)^{-1}$ e temperatura de extrusão de 111,3^{o}C;

Todas as formulações experimentais se encontram dentro dos limites de qualidade para tempo ótimo de cozimento, aumento de massa e perda de sólidos. Os macarrões com maiores teores de farinha pré-gelatinizada são mais firmes e menos pegajosos, indicando o uso desta farinha modificada para produção de macarrão com matérias-prima não tradicionais.

O macarrão mais desejável em relação aos parâmetros de cozimento é aquele formulado com valores intermediários de farinha pré-gelatinizada 43 g $(100g)^{-1}$], de arroz [47 g $(100g)^{-1}$], e de linhaça [10 g $(100g)^{-1}$] podendo este ser caracterizado com alimento fonte de fibras;

Todos os resultados indicam que a extrusão e um método promissor para o aproveitamento de grãos quebrado de arroz adicionado de farinha de linhaça (80:20), pois, além de aumentar a qualidade nutricional da farinha de arroz, proporciona alterações funcionais que são interessantes do ponto de vista tecnológico para .produção de macarrão.

REFERÊNCIAS BIBLIIOGRÁFICAS

AACC. American Association of Cereal Chemists. **Approved Methods of the AACC**. 10. ed. St.Paul: AACC, 2000.

ABIMA – Associação Brasileira das Indústrias de Massas Alimentícias. Disponível em: **http://www.abima.com.br** Acesso em: 24/07/2009.

AHMED, Z. S. Physico-chemical, structural and sensory quality of cornbased flax-snack, **Food/Nahrung**, Weinheim, v. 43, n. 4, p. 253 – 258, 1999.

ALONSO, R.; ORUE, E.; ZABALZA, M. J.; GRANT, G.; MARZO, F. Effect of extrusion cooking on structure and functional properties of pea and kidney bean proteins. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Malden, v. 80, n. 3, p. 397-403, 2000.

ALTAN, A.; MCCARTHY, K. L.; MASKAN, M. Extrusion cooking of barley flour and process parameter optimization by using response surface methodology, **Journal of Science Food Agriculture,** London, v**.** 88 n.2, p.1648–1659, 2008.

ALVIM, I.D.; SGARBIERI, V.C.; CHANG, Y. K. Desenvolvimento de farinhas mistas extrusadas à base de farinha de milho, derivados de levedura e caseína. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.22, n.2, p.170-176, 2002.

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

AOAC INTERNATIONAL ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of AOAC International**. 16. ed. Gaitherburg: AOAC International, 1997.

APRUZZESE, F.; BALKE, S.T.; DIOSADY, L.L., In-line colour and composition monitoring in the extrusion cooking process, **Food Research International**, Barking, v. 33, n.7 , p. 621–628, 2000.

ARAUJO, E. S.; SOUZA, S. R.; MANILO, S. F. Características morfológicas e moleculares e acúmulo de proteína em grãos de variedades de arroz do Maranhão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 11, p. 1281-88, 2003.

ARENDT, E. K.; O'BRIEN, C. M.; SCHOBER, T.; GORMLEY, T. R.; GALLAGHER, E. Development of gluten-free cereal products**. Farm and Food**, v. 12, p.21–27, 2004.

ASCHERI, D. P. R.; ASCHERI, J. L. R; CARVALHO, C. W. P. Caracterização da farinha de bagaço de jabuticaba e propriedades funcionais dos extrusados **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, Campinas, v. 26, n.4, p. 897-905, 2006.

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 CEPPA**, Curitiba, v.24, n.1, p. 115-144, 2006.

ASCHERI, J. L. R.; CIACCO, C. F.; RIAZ, M. N.; LUSAS, E. W. Efecto de la formulación sobre la expansión y viscosidad de snacks (pellets) producidos por extrusión termoplástica. **Alimentaria, Madrid**, v.286, n.12, p.111- 116, 1995.

ASCHERI, J.L.R. **Curso de processo de extrusão de alimentos: aspectos tecnológicos para o desenvolvimento e produção de alimentos para consumo humano e animal.** EMBRAPA, outubro, 2006.

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

ATWATER, W. O.; WOODS, C. D. The chemical composition of American food materials. Washington: Government Printing Office, 1896. 46 p.

BAIANO, A.; LAMACCHIA, C.; FARES, C.; TERRACONE, C.; LA NOTTE, E. Cooking behaviour and acceptability of composite pasta made of semolina and toasted or partially defatted soy flour. **LWT - Food Science and Technology**, London, v. 44, n. 4, p. 1226 – 1232, 2011.

BAO, J. Aaccurate measurement of pasting temperature by the rapid visco-analyser: a case study using rice flour. **Rice Science,** China , v.15, n. 1, p. 69-72, 2008.

BARROS NETO, B.; SCARMÍNIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Planejamento e otimização de experimentos.** Campinas: Unicamp, 2003. 299p.

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

BHATTACHARYA, K.; ZEE, S.Y.; CORKE, H. Physicochemical properties relates to quality of rice noodles. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.76, n. 6, p.861-867, 1999.

BHATTACHARYA, S.; SUDHA, M. L.; RAHIM, A. Pasting characteristics of an extruded blend of potato and wheat fl ours. **Journal of. Food Engineering**, London v. 40, p. 107-111, 1999.

BOMBO, A. J. **Obtenção e caracterização nutricional de *snacks* de milho (*Zea mays* L.) e linhaça (*Linum usitatissimum* L.)**. São Paulo, 2006. 95p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de 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.

BORDERÍAS, A.J.; MONTERO, P. Fundamentos de la funcionalidad de lãs proteínas en alimentos. **Revista Agroquímica y Tecnologia de alimentos**, Valencia, v.28, n.2, p. 159-169, 1998.

BORGES, J. T. S.; PIROZI, M. R.; DELLA LUCIA, S. M.; PEREIRA, P. C.; FIALHO, A. R. M.; CASTRO, V. C. Utilização de farinha mista de aveia e trigo na elaboração de bolos. **Boletim do CEPPA**, Curitiba, v. 24, n. 1. p. 145-162, 2006.

BORTOLATO, D. S.; CASTIGLIONI, G. L.; DORS, G. C.; SILVA, K. A. D. ; KUHN, R. C.; RUIZ, W. A. **Principais características físico-químicas de farinhas de arroz**. In: XVII CONGRESSO REGIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA, 18, 2003, Itajaí. **Anais...** Itajaí: Fundação Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003. 1 *CD-ROM*

BOX, G. E. P.; HUNTER, W. G.; HUNTER, J. S. **Statistics for experimenters**. New York: John Wiley & Sons, 1978. 653p.

BOZAN, B.; TEMELLI, F. Chemical composition and oxidative stability of flax, safflower and poppy seed and seed oils. **Bioresource Technology,** Columbus, v. 99, n. 14, p. 6354-6359, 2008.

BRASIL, Agência Nacional de Vigilância Santiária. **Resolução CNNPA nº 12, de 24 de julho de 1978** – Aprova o regulamento para padrão de identidade e qualidade para os alimentos (e bebidas). Brasília, DF. ANVISA, 1978. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/12_78.pdf>. Acesso em 03 maio 2011.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005**. Aprova o regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. Disponível em: <http://www.elegis.bvs.gov/leisref/public/search.php.> Acesso em 22 de junho de 2008.

BRASIL. Secretaria da Agricultura, do Abastecimento e Reforma Agrária. Portaria nº 554 de 30 de agosto de 1995, **Diário Oficial**, Brasília,1 set. 1995, Seção 1.

BRASIL. Secretária de Vigilância Sanitária, Ministério da Saúde. Portaria nº 27, de 13 de janeiro de 1998. RT referente à Informação Nutricional Complementar. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília**, DF, 16 de janeiro, 1998, Seção I. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/legis/portarias/27_98.htm>. Acesso em 25 maio 2011.

BROECK, H. C. V. D.; HERPEN, T. W. V.; SCHUIT, C.; SALENTIJN, E. M.J; DEKKING, L.; BOSCH, D.; HAMER, R.J.; SMULDERS, M. J.M.; GILISSEN, L.J.W.J.; MEER, I. M. V. D. Removing celiac disease-related gluten proteins from bread wheat while retaining technological properties: a study with Chinese Spring deletion lines, **BMC Plant Biology**, London, v. 9, n. 41, p 1-12, 2009.

BRYANT, R. J.; KADAN, R.S.; CHAMAPAGNE, E.T.; VINYARD, B.T.; BOYKIN, D. Functional and digestive characteristics of extruded rice flour. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 78, n. 2, p.131-137, 2001.

CARDOSO, M. B. **Características tecnológicas e funcionais de farinhas mistas de arroz e trigo para elaboração de sopas**. 2003. 88f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2003.

CARTER, J. **Flaxseed as functional food for people... and as feed for other animals**. North Dakota State University Disponível no site: <ttp://www.ag.ndsu.nodak.edu/plantsci/flaxseed.htm>. Acessado em: 14 abr. 2011.

CARVALHO, M. R. B.; KIRSCHNIK, P. G.; PAIVA, K. C.; AIURA, F. S. Avaliação da atividade dos inibidores de tripsina apos digestão enzimática em grãos de soja tratados termicamente. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 15, p. 267-272, 2002.

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

CASTILHO, F.; FONTANARI, G. G.; BATISTUTI, J. P. Avaliação de algumas propriedades funcionais das farinhas de tremoço doce (*Lupinus albus*) e feijão guandu (*Cajanus cajan* (L) *Millsp*) e sua utilização na produção de fiambre. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, Campinas, v. 30, n.1, p.68-75, 2010.

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.

CEREDA, M.P. **Propriedades gerais do amido**. Campinas: Fundação Cargill, 2001, v.1, 224p. (Série Culturas Tuberosas Amiláceas Latino Americanas).

CHAIYAKUL, S.; JANGCHUD K.; JANGCHUD, A.; WUTTIJUMNONG, P.; WINGER, R. Effect of extrusion conditions on physical and chemical properties of high protein glutinous rice-based snack. **Food Science and Technology**, London, v. 42, n. 3, p. 781-787, 2009.

CHANG, Y. K.; MARTINEZ-BUSTOS, F.; PARK, T. S.; KOKINI, J. L. The influence of specific mechanical energy on cornmeal viscosity measured by an on-line system during twin-screw extrusion. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, Campinas, v.16, n. 3, p.285–295, 1999.

CHARALAMPOPOULOS, D.; WANG, R.; PANDIELLA, S. S.; WEBB, C. Application of cereals and cereal components in functional foods: a review. **International Journal of Food Microbiology**, Amsterdam, v. 79, p. 131-141, 2002.

CHARATIGON, C.; JITPUPAKDREE, J.; NAMSREE, P.; RUNGSAEDTHONG, V. Effects of processing condition and use of modified starch and monoglyceride on some proprieties of extruded rice vermicelli. **LWT - Food Science and Technology**, London, v. 41, n. 4, p. 642–651, 2008.

CHEN, H.; XU, S.; WANG, Z. Gelation properties of flaxseed gum. **Journal of Food Engineering**, London, v. 77, n. 2, p. 295-303, 2006.

CHEN, Z. Y.; RATNAYAKE, W. M. N.; CUNNANE, S. C. Stability of flaxseed during baking. **Journal of American Oil Chemists Society**. Chicago, v. 71, p. 629-632, 1994.

CHILLO, S., LAVERSE, J., FALCONE, P.M., DEL NOBILE, M.A. Effect of carboxymethylcellulose and pregelatinized corn starch on the quality of amaranthus spaghetti. **Journal of Food Engineering**, London, v. 83, n.4, p. 492-500, 2007.

CHINNASWAMY, R. Basis of cereal starch expansion. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 21, p.157-167, 1993.

CLERICI, M. T. P. S.; EL-DASH, A. A. Características tecnológicas de farinhas de arroz pré gelatinizadas obtidas por extrusão termoplástica. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1543-1550, 2008.

CLERICI; M. T. P. S.; AIROLDI, C.; EL-DASH, A. A. Production of acidic extruded rice flour and its influence on the qualities of gluten-free bread. **Food Science and Technology**, London, v. 42, n. 2, p. 618-623, 2009.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra:** grãos: safra 2010/2011 nono levantamento, março 2011. Brasília: Conab, 2011. Disponível em: <www.conab.gov.br/.../11_06_08_09_01_36_graos_-_boletim_junho-2011>. Acesso em: 24 maio 2011.

CUI, W.; MAZZA, G. Phvsicochemical characteristics of flaxseed gum**. Food Research International**, Barking, v. 29, n. 3-4, p. 397-402, 1996.

CUNIN, C.; HANDSCHIN, S.; WALTHER, P. ; ESCHER, F. . Structural changes in starch during cooking of durum wheat pasta. **LWT - Food Science and Technology**, London, v. 28, n. 3, p. 323–329. 1995.

CUNIN, C.; HANDSCHIN, S.; WALTHER, P. ; ESCHER, F. . Structural changes in starch during cooking of durum wheat pasta. **LWT - Food Science and Technology**, London, v. 28, n. 3, p. 323–329. 1995.

CUNNAME, S. C.; GANGULIS, S.; MENARD, C.; LEIDE, A.C; HAMADES, M. J.; CHEN, Z.; WOLVE, T. M. S.; JENKINI, D. J.A. Hihg linilenec acid flaxseed (Linun usitatissimun): some nutrition properties in humans. **British Journal of Nutrition**, cidade, v. 69, n. XX, p. 4443-453, 1993.

DAVIDSON, A. The Oxford companoin of food. **Oxford University Press**, Oxford, v. 4, n. 3, p. 454 - 455, 1999.

DE STEFANIS, E.; SGRULETTA, D. Effect of high temperature drying on technological properties of pastas. **Journal of Cereal Science**, London, v.12, n. 1, p. 97-104, 1990.

DENARDIN, C.C.; SILVA, L. P.; HECKTHEUER, L. H. R. Propriedades sensoriais e aceitabilidade de bolos elaborados com substituição parcial de farinha de trigo por farinha de arroz. In: IV CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO; XXVI REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 395-396, 2005, Pelotas. **Anais do IV Congresso Brasileiro do Arroz Irrigado e XXVI Reunião da Cultura do Arroz Irrigado** Pelotas: Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado, 2005. 1 *CD-ROM.*

DENARDINI, C. C.; SILVA, L. P. D. Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.3, p. 945-954, 2009.

DEXTER, J. E.; KILBORN, B. C.; MORGAN, B. C.; MATSUO, R. R. Grain research laboratory compression tester: instrumental measurement of cooked spaghetti stickiness. **Cereal chemistry**, St. Paul, v. 60, n. 2, p.139-142, 1983.

DEXTER, J. E.; MATSUO, R. R.; MORGAN, B. C. High temperature drying: Effect on spaghetti properties. **Journal of Food Science**, Chicago, v.46, n.6, p.1741-1746, 1981.

DILEEP, A.O.; SHAMASUNDAR, B.A.; BINSI , P.K.; HOWELL, N.K., Composition and quality of rice flour–fish mince Based extruded products with emphasis on thermal Properties of rice flour, **Journal of Texture Studies,** Malden, v. 41, p. 190–207, 2010.

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

DING, Q.; AINSWORTH, P.: TUCKER ,G.: MARSON , H. The effect of extrusion conditions on the hysicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks, **Journal of Food Engineering**, London, v. 66, n. 3, p. 283–289, 2005.

DONNELLY, B. J. Pasta products: raw material, technology, evaluation. **The Macaroni Journal**, Minneapolis, v. 61, n. 1, p. 6-7, 10, 12, 14-15, 18, 1979.

DORS, G. C; CASTIGLIONI, G. L.; RUIZ, W. A. Flan sabor chocolate elaborado com farinha de arroz. **Vetor**, Rio Grande, v. 16, n. 1 p. 63-67, 2006.

EL-DASH, A. A. Aplication and control of thermoplastic extrusion of cereals for food and industrial uses. In: POMERANZ, Y.; MUNCH, L.(ORG). **Cereals a renewable resource**: theory and pratice. St. Paul: AACC, 1982. p.165-216.

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

EL-DASH, A.A. Aplication and control of thermoplastic extrusion of cereals for food and industrial uses. In: **Cereals a renewable resurce:** theory and practice. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, p.165-216, 1981.

ELIAS, M. C.; FRANCO, D. F. Pós-colheita e Industrialização de Arroz. In: MAGALHÃES JÚNIOR, A. M.; GOMES, A. S.; SANTOS, A. B. **Sistemas de Cultivo de Arroz Irrigado no Brasil.** 1 ed. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2006, p.229-240.

EL-SAIED, H. M.; EL-ATTAR, W.; AHMED, E. A.; ROUSHDI, M. Gelatinization, pasting characteristics and cooking behaviour of Egyptian rice varieties in relation to amylose and protein contents. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 31, n. 8, p. 270-274, 1979.

FAO – Food and Agriculture Organization. Food Outlook: Global Market Analysis. Disponível: <http://www.fao.org/docrep/011/ai474e/ai474e05.htm.> Acesso em 25 maio 2011.

FARONI, L. R. D.; BERBERT, P. A.; MARTINAZZO, A. P.; COELHO, E. M. Qualidade da farinha obtida de grãos de trigo fumigados com dióxido de carbono e fosfina. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 115-119, 2007.

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., Porto Alegre: Artmed, 2006, 602p.

FENNEMA, O.R. 1996. **Food Chemistry**, 3ª Ed. Marcel Dekker, New York. 1067 p.

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

FERREIRA, T.A.P.C. **Avaliação nutricional do amaranto (*Amaranthus caudatus L.*) extrusado em diferentes condições de umidade**. São Paulo, 1999. 157f. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

FILLI, K. B.; NKAMA, I. Hydratation properties of extruded fura from millet and legumes. **British Food Journal**, Cambridge, v. 109, p. 68-80, 2007.

FRANCO, C. M. L.; DAIUTO, E. R.; DEMIATE, I. M.; CARVALHO, L. J. C. B.; LEONEL, M.; CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. F.; SARMENTO, S. B. S. **Propriedades gerais do amido**: Série Culturas de tuberosas amiláceas latinoamericanas. São Paulo: Fundação Cargill, v.1, 2001. p. 224.

FREITAS, D. Z., SILVA, P. M., GULARTE, M. A. Influência da renda nas preferências de consumo de arroz. In: VI Simpósio de Alimentos para a região sul, 2009, Passo Fundo. **Anais do VI Simpósio de Alimentos para a região sul**. Passo Fundo, 2009, *CD ROON*

FUKUOKA, M.; OHTA, K. I.; WATANABE, H. Determination of the terminal extent of starch gelatinization in a limited water system by DSC. **Journal of Food Engineering**, v. 53, n. 1, p. 39-42, 2002.

GALLAGHER, E., GORMLEY, T. R.; ARENDT, E.K. Recent advances in the formulation of gluten-free cereal based products. **Trends in Food Science and Technology**, London, v.15, n. 3-4, p.143-152, 2004.

GOH**,** K. K. T.; PINDER, D. N.; HALL, C. E.; HEMAR, Y. Rheological and light scattering properties of flexseed polysaccharide aqueous solutions. **Biomacromolecules**, Washington, v. 7, n. 11, p. 3098-3103, 2006.

GOMEZ, M. H.; AGUILERA, J. M. Changes in the starch fraction during extrusion cooking of corn. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 48, n. 2, p. 378-381, 1983.

GUHA, M.; ALI, S. Z.; BHATTACHARYA, S. Effect of barrel temperature and screw speed on rapid viscoanalyser pasting behaviour of rice extrudate, **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 33, p. 259–266, 1998.

GUHA, M; ALI, S. Z; BHATTACHARYA, S. Twin-screw extrusion of rice flour without a die: effect of barrel temperature and screw speed on extrusion and extrudate characteristics. **Journal of Food Engineering**, London, v. 32, n. 3, p. 25l-267, 1997.

GUJRAL, H.S.; ROSELL, C.M. Improvement of the breadmaking quality of rice flour by glucose oxidase. **Food Research International**, India, v. 37, n.1, p. 75-81, 2004.

GUPTA, M.; BAWA, A. S.; SEMWAL, A. D. Morphological, thermal, pasting, and rheological properties of barley starch and their blends. **International Journal of Food Properties**, London, v. 12, n. 3, p.587-604, 2009.

GUTKOSKI, L. C.; EL-DASH, A. A. Effect of extrusion process variables on physical and chemical properties of extruded oat products. **Plant Foods for Human Nutricion**, Hague, v. 54, n. 4, p. 315-325, 1999.

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.

HARRINGTON JUNIOR, E. C. The desirability function. **Industrial Quality Control**, New York, v. 21, n. 10, p. 494-498, 1965.

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

HASLER, C. M. Functional foods: their role in disease prevention and health promotion. **Food Technology**, London, v. 52, n. 11, p. 63-70, 1998.

HEINEMANN, R. J. B.; BEHRENS, J.H.; LANFER-MARQUEZ, U. M. A study on the acceptability and consumer attitude towards parboiles rice. **International Journal of Food and Science Technology**, v.41, n. 6, p. 627-634, 2006.

HERNÁNDEZ-DIÁZ, J. R.; QUINTERO-RAMOS, A.; BARNARD, J.; ALANDRÁN-QUINTANA, R. R. Functional properties of extrudates prepared with blends of wheat flour/pinto bean meal with added wheat bran, **Food Science Technology International**, London, v. 13, n. 4, p. 301-308, 2007.

HIDALGO, J. Functional properties of food proteins from a biophysical point of view: **Biochemical aspects of new protein food**. Copenhaguen, FEBS, n.44, p.89-98, 1977.

HORMDOK , R.; NOOMHORMB, A. Hydrothermal treatments of rice starch for improvement of rice noodle quality. **Food Technology**, London, v. 40, n.10, p.1723-1731, 2007.

HU, P.; ZHAO, H.; DUAN, Z.; LINLIN, Z.; WU. D. Starch digestibility and the estimated glycemic score of different types of rice differing in amylose contents. **Journal of Cereal** Science, St. Paul, v. 40, n 3, p. 231-237, 2004.

HUANG , J.; , KNIGHT, S; GOAD, C. Model prediction for sensory attributes of nongluten pasta. **Journal of Food Quality**, Ames, v. 24, n. 6, p. 495-511, 2001.

HUMMEL, C. **Macaroni products:** manufacture, processing and packing**.** London: Food Trade Press, Ltd., 1966, 287p.

ILO, S.; BERGHOFER, E. Kinetics of colour changes during extrusion cooking of maize grits. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 39, n. 1, p. 73-80, 1999.

ILO, S.; LIU, Y.; BERGHOFER, E. Extrusion Cooking of Rice Flour and Amaranth Blends**, Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie,** cidade, v. 32, n.2 , p. 79-88, 1999.

INGLETT, G. E.; PETERSON, S.C.; CARRIERE, C.J.; MANEEPUN, S. Rheological, textural and sensory properties of Asian noodles contain an oat cereal hydrocolloid. **Food Chemistry**, London, v. 90, n. 1, p. 1-8, 2005.

JULIANO, B. O.; BOULTER, D. B. The rice grain and its gross composition. In: **Rice chemistry and technology**. 2 ed. American Association of Cereal Chemists. St. Paul: AACC, 1985, p.17-57.

JULIANO, B.O. **Rice in human nutrition**. International Rice Research Institute: Philippines, 1993, 164 p.

KADAN, R. S.; BRYANT, R. J.; PEPPERMAN, A. B. Functional properties of extruded rice flours, **Journal of Food Science**, v. 68, n. 5, p.1689-1672, 2003.

KADAN, R. S.; PEPPERMAN, A. B. Physicochemical Properties of Starch in Extruded Rice Flours, **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 79, n. 4, p. 476-480, 2002.

KADAN, R.S., BRYANT, R.J., PEPPERMAN, A.B. Functional Properties of Extruded Rice Flours, **Journal of Food Science**, v. 68, n. 5, p.1689-1672, 2003.

KENNEDY, G.; BURLINGAME, B.; NGUYEN, N. Nutrient impact assessment of rice in major rice-consuming countries. **International Rice Commission Newsletter**, v.51, p.33-42, 2002.

KOCA, A. F.; ANIL, M. Effect of flaxseed and wheat flour blends on dough rheology and bread quality. **Journal of Science Food and Agriculture**, Malden, v. 87, n. 6, p.1172–1175, 2007.

KRUGER, J. E.; MATSUO, R. B.; DICK, J. W. **Pasta and noodle technology**. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1996, 356p.

LAI, H.M. Effects of rice properties and emulsifiers on the quality of rice pasta. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. v. 82, n.2, p.203-216, 2001.

LAMPE, J. W.; MARTIN, M.C; KURZER, M. S.; ADLERCREUTZ, H.; SLAVIN, J. L. Urinary lignin and isoflavonoid excretion in premenopausal women consuming flaxedd power. **American Journal of Clinical Nutrition**, CIDADE?, v. 60, n. XX, p. 122-128, 1994.

LAWTON, B. T.; HENDERSON, G. A; DERLATKA, E. J. The effect of extruder variables on gelatinisation of corn starch. **Canadian Journal of Chemical Engineering**, v. 50, p. 168-172, 1972.

LAZARIDOU, A.; DUTA, D.; PAPAGEORGIOU, M.; BELC, N.; BILIADERIS, C.G. Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations, **Journal of Food Engineering**, v. 79, n. 3, p. 1033-1047, 2007.

LEI, H.; FULCHER, G.; RUAN, R.; LEGERICH, B. SME-Arrhenius model for WSI of rice flour in a twin-screw extruder, **Cereal Chemistry,** St. Paul, v. 82, n.5 , p. 574-581, 2005.

LIPILINA, E.; GANJI, V. Incorporation of ground flaxseed into bakery products and its effect on sensory and nutritional characteristics – a pilot study. **Journal of Food Service**, v.20, n.1, p. 52-59, 2009.

LIU, R. H. Whole grain phytochemicals and health. **Journal of Cereal Science**, London, v. 46, p.207-219, 2007.

LIU, Y., HSIEH, F., HEYMANN, H. & HUFF, H.E. Effect of process conditions on the physical and sensory properties of extruded oatcorn puff, **Journal of Food Science**, Chicago, v.65, p.1253-1259, 2000.

LOBO, A. R.; LEMOS SILVA, G.M. D. Amido resistente e suas propriedades físico-químicas, **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 16, n. 2, p. 219-226, 2003.

LORIMER, N.;ZABIK, M. E.; HARTE, J. B.; STCHIW, N. C.; UEBERSAX, M. A. Effect of Navy bean protein flour and bean globulins on composite four rheology, chemical bonding and microstructure. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.68, n. 3 , p. 213 - 22, 1991.

MAIA, L. H.; WANG, S. H.; ASCHERI, J. L.R.; CABRAL, L. C.; FERNANDES, M. S. Viscosidade de pasta, absorção de água e índice de solubilidade em água dos mingaus desidratados de arroz e soja. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos,** Campinas, v. 19, n.3, p.391-396, 1999.

MANTHEY, F. A.; YALLA, S.; DICK, T. J.; BADARUDDIN, M. Extrusion Properties and Cooking Quality of Spaghetti Containing Buckwheat Bran Flour **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 8, n. 2, p.232–236, 2004.

MANTHEY, F. A.; LEE, R. E.; KEGODE, R. B. Quality of spaghetti containing ground flaxseed. In: PROCEEDINGS OF THE 58TH FLAX INSTITUTE OF THE U.S., (J.F. Carter, ed.), p. 92–99, Fargo, ND. 2000.

MANTHEY, F. A.; SCHORNO, A. L. Physical and cooking quality of spaghetti made from whole what durum. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 79, p. 504-510, 2002.

MARTI, A.; SEETHARAMANM, K.; PAGANI, A Rice-based pasta: A comparison between conventional pasta-making and extrusion-cooking. **Journal of Cereal Science**, St. Paul, v. 52, p. 404-40, 2010.

MARTIN-CABREJAS, M. A.; JAIME, L.; KARANJA, C.; DOWNIE, A. J.; PARKER, M. L.; LOPEZ-ABREU, F. J.; MAINA, G.; ESTEBAM, R. M.; SMITH, A. C.; WALDRON, K. W. Modifications to physicochemical and nutritional properties of hard-to-cook beans (*Phaseolus vulgaris* L.) by extrusion cooking. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 47, n. 3, p. 1174-1182, 1999.

MATSUGUMA, L. S.; LACERDA, L. G.; SCHNITZLER, E.; CARVALHO FILHO, M. A. D. S.; FRANCO, C. M. L.; DEMIATE, I. M. Characterization of native and oxidized starches of two varieties of peruvian carrot (*Arracacia xanthorrhiza* B.) from two production áreas of Paraná state, Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Paraná, v. 52, n. 3, p. 701-713, 2009.

MATSUO, R. R.; BRADLEY, J. W.; IRVINE, G. Effects of protein content on the cooking quality of spaguetti. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 49, n. 6, p.707-711, 1972.

MAZZA, G. **Alimentos Funcionales:** Aspectos Bioquímicos y de Procesado. Zaragoza: Editora Acribia, S. A. 2000. 480p.

MAZZA, G.; BILIADERIS, C. G. Functional properties of flaxseed mucilage. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 54, n. 5, p.1302-1305, 1989.

MENEGASSI, B. LEONEL, M.; MISCHAN, M. M.; PINHO, S. Z.. Efeito de parâmetros de extrusão na cor e propriedades de pasta da farinha de mandioquinha-salsa

(*Arracacia xanthorrhiza*). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1780-1792, 2007.

MENEGASSI, B.; LEONEL, M. Análises de qualidade de uma massa alimentícia mista de mandioquinha-salsa. **Revista Raízes e Amidos Tropicais.** Botucatu, v. 2, p.27-36, 2006.

MENEGASSI, B.; LEONEL, M.; MISCHAN, M. M.; PINHO, S. Z. Efeito de parâmetros de extrusão na cor e propriedades de pasta da farinha de mandioquinha-salsa (*Arracacia xanthorrhiza*). **Ciência e Agrotecnologia**., Lavras, v. 31, n. 6, p. 1780-1792, 2007.

MERCIER, C.; FEILLET, P. Modification of carbohydrate component by extrusion cooking of cereal product. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 52, n. 3, p. 283–297, 1975.

MONEGO, M. A. **Goma da linhaça (Linum usitatissimum L.) para uso como hidrocolóide na indústria alimentícia**. 2009. 130f. Dissertação – (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

MOSKOWITZ, H.R.; DRAKE, B. Psychophysical measurement of texture. **Journal of Texture Studies**, v. 3, n. 2, p. 135-145, 1972.

MOURA, N. C. **Características físico-químicas, nutricionais e sensoriais de pão de forma com adição de grãos de linhaça (*Linum usitatissimun*)**. 2008. 95 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

NABESHIMA, E. H.; EL-DASH, A. A. Modificação química da farinha de arroz como alternativa para o aproveitamento dos subprodutos do beneficiamento do arroz. **Boletim do CEPPA**, Curitiba, v. 22, n. 1, p. 107-120, 2004.

NABESHIMA, E.H.; HASHIMOTO, J.M.; EL-DASH, A.A. Efeito da adição de emulsificantes em massas alimentícias sem glúten produzidas com extrusora termoplástica. **Boletim CEPPA**, Curitiba, v. 21, n. 2, p. 223-238, 2003.

NOBRE, S. R.; SILVA, T.; CABRAL, J.E. P. Doença celíaca revisitada, **Jornal Português de Gastrenterologia**, Lisboa, v.14, n. 4, p. 184-193, 2007.

OLIVEIRA, T. M. D; PIROZI, M. R.; BORGES, J. T. D S. Elaboração de pão de sal utilizando farinha mista de trigo e linhaça. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 18, n. 2, p. 141-150, 2007.

ONG, M.H.; BLANSHARD, J.M.V. Texture determinants in cooked, parboiled rice I: rice starch amylose and the fine structure of amylopectin. **Journal of Cereal Science**, London, v.21, p.251-260, 1995.

OOMAH, B D.; MAZZA, G. Effect of dehulling on chemical composition and physical properties of flaxseed. **Lebensmittel-Wissenschaftund-Technologie**, London, v. 30, n. 2, p. 135-140, 1997.

OOMAH, B. D. Flaxseed as a functional food source. **Journal of Science Food and Agriculture**, Malden, v. 81, n.9, p. 889-894, 2001**.**

OOMAH, B. D.; DER, T. J.; GODFREY, D.V. Thermal characteristics of flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) proteins, **Food Chemistry,** London, v. 98, n. 4, p. 733–741, 2006.

OOMAH, B.D.; MAZZA, G. Flaxseed products for disease prevention. In: MAZZA, G. (org) **Functional Foods** – Biochemical & Processing Aspects. London: Technomic. 1998. p. 91- 138.
OOMAH, B.D.; MAZZA, G. Flaxseed proteins – a review. **Food Chemistry,** London, v. 48, p.109- 114, 1993.

OOMAH, B.D.; MAZZA, G.; KENASCHUK, E.O. Cyanogenic Compounds in Flaxseed. **Journal of Agriculture Food and Chemistry**, Malden, v. 40, p.1346-1348, 1992

ORMENESE, R. C. S. C., LEITÃO, R. F. F., SILVEIRA, N. F. A., BALDINI, V. L. S. Influência da secagem à alta temperatura nas características das massas com ovos. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, Campinas, v. 18, n. 1, p. 7-12, 1998.

ORMENESE, R. D. C. S. C.; CHANG, Y. K. Macarrão de arroz: características de cozimento e textura em comparação com o macarrão convencional e aceitação pelo consumidor. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 1, n 6. p. 91-97, 2003.

ORMENESE, R. D. C. S. C.; CHANG, Y. K. Massas alimentícias de arroz: uma revisão. **Boletim do CEPPA**, Curitiba, v. 20, n. 2, p. 175-190, 2002.

ORMENESE, R. D. C. S. C.; GOMES, C. R.; YOTSUYANAGI, K.; FARIA, E. V. D. Massas alimentícias não-convencionais à base de arroz - perfil sensorial e aceitação pelo consumidor. **Brazilian. Journal of Food Technology**, Campinas, v. 4, p. 67-74, 2001.

OWUSU-ANSAH, J.; VAN DE VOORT, F.R.; STANLEY, D.W., Physico-chemical changes in cornstarch as a function of extrusion variables. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 60, n. 4, p. 319–324, 1983.

PAGANI, M. A. Pasta products from non conventional raw materials. In: MERCIER, C.; CANTARELLI, C. **Pasta and extrusion cooked foods some technological and nutricional aspects**. London: Elsevier Applied Science Publishers, 1986, p. 52-68.

PAN, A.; YU, D.; DEMARK-WAHNEFRIED, W.; FRANCO, O. H; LIN, XU. Meta-analysis of the effects of flaxseed interventions on blood lipids. **American Journal of Clinical Nutrition**, Bethesda, v. 90, n. 2, p. 288-297, 2009.

PARADA, J. A.; AGUILERA, J. M.; BRENNAN, C. Effect of guar gum content on some physical and nutritional properties of extruded products. **Journal of Food Engineering**, London, v. 103, n.3, p. 324–332, 2011.

PAUCAR-MENACHO, L. M.; SILVA, L. H. D.; BARRETTO , P. A. D. 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.

PAYNE, T.J. Promoting Better Health with Flaxseed in Bread. **Cereal Foods World**, St. Paul, v. 45, n. 3, p.102-104, 2000.

RAINA , C. S.; SINGH, S.; BAWA, A. S.; SAXENA, D. C. Textural characteristics of pasta made from rice flour supplemented with proteins and hydrocolloids **Journal of Texture Studies,** v. 36, n 4, p. 402-420, 2005.

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

RIBOTTA, P. D.; ARNULPHI, S.; LEÓN, A. E.; AÑÓN, M. C. Effect of soybean addition on the rheological properties and breadmaking quality of wheat flour. **Journal of the Science Food and Agriculture**, Malden, v. 85, p. 1889-1896, 2005.

SACHS, L. G. SACHS, L. G.; PRUDENCIO-FERREIRA, S. H.; PORTUGAL, A. P.; FELINTO, A. S.; SACHS, J. D. D. Leitura de imagem pixel a pixel: I. Uso no controle de qualidade de alimentos. In: IV SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIAS DE ALIMENTOS, 4., 2001, Campinas, **Resumos**... Campinas, Universidade Estadual de Campinas, 2001. p.258.

SCHORNO, A. L.; MANTHEY, F. A.; HALLB, C., Effect of seed moisture content on flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) milling and milled product characteristics, **Journal of Science Food and Agriculture,** Malden; v. 89, n. 13, p. 2317-2322, 2009.

SEBIO, L. **Efeito de alguns parâmetros operacionais de extrusão nas propriedades físicoquímicas da farinha de inhame (*Dioscorea rofundata*).** Campinas, 1996. 106f. Dissertação (Mestrado em tecnologia de alimentos) Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1996.

SHEARER, A. E. H.; DAVIES, C. G. A. Physicochemical properties of freshly baked and stored whole-wheat muffins with and without flaxseed meal. **Journal of food quality**, Wastport, v. 28, n. 2, p. 137-153, 2005.

SHUEY, W. C.; TIPPLES, K. H. **The amylograph handbook**. Saint. Paul: AACC, 1980. 37p.

SILVA, E. M. M. **Produção de macarrão pré-cozido à base de farinha mista de arroz integral e milho para celíacos utilizando o processo de extrusão**. 2007. 118f. Dissertação (Mestrado em Ciência) – Instituto de Tecnologia, Universidade Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

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; R. F. D.; 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.

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

SIMBALISTA, R.L.; CAPRILLES, V.D.; ARÊAS, J.A.G. Caracterização da semente de linhaça (*Linum usitatissimim*). In: Anais do 7º Congresso da Sociedade Brasileira de Alimentação e Nutrição, Belo Horizonte, p 27, 2003. **Anais ...** Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Alimentação e Nutrição, 2003, *CD ROM*.

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

SINGH, N.; SINGH, J.; KAUR, L.; SODHI, N. S.; GILL, B. S. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. **Food Chemistry**, London, v. 81, n. 2, p. 219-231, 2003.

SINHA, S.; MANTHEY, F. A. Semolina and hydration level during extrusion affect quality of fresh pasta containing flaxseed flour. **Journal of Food Processing and Preservation,** Westport, v. 32, n. 4, p. 546-559, 2008.

SINHA, S; YALLA, S; MANTHEY, F. A. **Extrusion properties and cooking qualities of fresh pasta containing ground flaxseed**, In: PROCEEDINGS OF 60TH FLAX INSTITUTE, ed. by CARTER, J. F. North Dakota State University, Fargo, ND, p. 24–30, 2004.

SIVARAMAKRISHNAN, H.P., SENGE, B., CHATTOPADHYAY, P.K. Rheological properties of rice dough for making rice bread. **Journal Food Engineering**, London, v. 62, n.1, p. 37-45, 2004.

SMEWING, J. Analyzing the texture of pasta for quality control. **Cereal Foods World**, St. Paul, v. 42, n. 1, p.8-12, 1997.

SOZER, N. Rheological properties of rice pasta dough supplemented with proteins and gums, **Food Hydrocolloids**, London, v. 23, n. 3, p. 849-855, 2009.

SOZER, N.; DALGIÇ, A.C.; KAYA, A. Thermal, textural and cooking properties of spaghetti enriched with resistant starch. **Journal of Food Engineering**, London, v. 81, n.2, p.476‑484, 2007.

STASOFT. **STATISTICA 7.0 for Windows** – Computar program manual. Tulsa: Statsoft, Inc., 2007. CD Room.

STOJCESKA V.; AINSWORTH, P.; PLUNKET, A.; IBANOGLU, S. The advantage of using extrusion processing for increasing dietary fiber level in gluten-free products, **Food Chemistry**, St. Paul, v. 121, n. 2, p. 156–164, 2010.

SUKSOMBOON, A.; LIMROONGREUNGRA,K. T.; SANGNARK, A.; THITITUMJARIYA, K.; NOOMHORM, A. Effect of extrusion conditions on the physicochemical properties of a snack made from purple rice (Hom Nil) and soybean flour blend, **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 46, n. 1 , p. 201-208, 2011.

SUNDERLAND, R. Continuous breading production by extrusion cooking. **Cereal Foods World**, St. Paul, v.38, n.9, p.685-688, 1993.

SYMONS, L.J.; BRENNAN, C.S. The effect of barley β-Glucan Fiber Fractions on starch gelatinization and pasting Ccaracteristics. **Journal of Food Science** , v. 69, n. 4, p.257-261, 2004.

SZCZESNIAK, A. S. Texture is a sensory property. **Food Quality and Preference**, London, v.13, n. 4, p. 215-225, 2002.

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.

THIRÉ, R. M. S. M.; SIMÃO, R. A.; ANDRADE, C. T. High resolution imaging of the microstructure of maize starch films. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 54, n. 2, p. 149-158, 2003.

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. **Boletin CEPPA**, Curitiba, v.23, n.2, p. 273-290, 2005.

TORRES, R.L; GONZÁLES, R. J.; SÁNCHEZ, H. D.; OSELLA, C.A, TORRES, M. A. G. Comportamiento de variedades de arroz em la eleboracion de pan sin glúten. **Arch Latin Nutri**, Riberão Preto v. 9, n. 2, p. 162-165, 1999.

TRAUTWEIN, E.A. Fatty acids–physiological and technical aspects for their use in food. **European Journal of Lipid Science and Technology**, London, v. 103, n.1**,** p. 45-55, 2001.

TRUCOM, C. **A importância da linhaça na saúde.** São Paulo: Editora Alaúde. **2006**. 151p.

TSAI, M. L.; LI, C. F,; LII, C. Y. Effects of granular structures on the pasting behaviors of starches, **Cereal Chemistry**, St. Paul, v, 74, n. 6, p. 750-757, 1997.

VERARDO, V., BENDINI, A., CERRETANI, L., MALAGUTI, D., COZZOLINO, E., CABONI, M.F. Capillary gas chromatography analysis of lipid composition and evaluation of phenolic compounds by micellar electrokinetic chromatography in Italian walnut (Juglans regia l.): irrigation and fertilization influence. **Journal of Food Quality**, Malden, v.32, n.2, p. 262-281, 2009.

VIJAYAGOPAL, K.; BALAGOPALAN, C.; MOORTHY, S. N. Gelatinization and liquefaction of cassava flour: effects of temperature, substrate and enzyme concentrations. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 40, n. 8, p. 300-302, 1988.

WALSH, D. E.; GILLES, K. A. Macaroni production. In: INGLETT, G. (Ed.). **Wheat:** production and utilization. Westport: AVI, 1974. p.333-354.

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

WALTER, M.; SILVA, L. P.; DENARDIN, C. C. Rice and resistant starch: different content depending on chosen methodology. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 18, p. 279-285, 2005.

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, p. 475-481, 2006.

WANG, Y. J.; WANG, L.; SHEPHARD, D.; WANG, F.; PATINDOL, J. Properties and structures of flours and starches from whole, broken and yellowed rice kernels in model study. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 79, n. 3, p. 383-386, 2002.

WANG; S. H.; CABRAL, L. C.; MAIA, L. H.; ARAUJO, F. B. Mingau de arroz e soja pronto para consumo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.5, p.855-860, 1999.

WASZCZYNSKYJ, N.; RAO, C. S.; SILVA, R. S. F. Extraction of proteins from wheatbran: application of carbohydrates. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 58, n. 4, p. 264-266, 1981.

WHALEN, P. J.; BASON, M. L.; BOOTH, R. I.; WALKER, C. E.; WILLIAMS, P. J. Measurement of extrusion effects by viscosity profile using rapid viscoanalyser. **Cereal Foods World,** Minneapolis, v. 42, n. 6, p. 469-475, 1997.

WHO/FAO. **Carbohydrates in human nutrition**. Rome: FAO, 1998, (FAO food and nutrition paper no. 66).

WU, W.; HUFF, H. E; HSIEH, F. Processing and properties of extruded flaxseed-corn puff, **Journal of Food Processing and Preservation,** Westport, v. 31, n.2 , p.211–226, 2007.

YALCIN, S., BASMAN, A. Effects of gelatinisation level, gum and transglutaminase on the quality characteristics of rice noodle. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v .43, n. 9, p. 1637 – 1644, 2008.

YALLA, S. R.; MANTHEY, F. A. Effect of semolina and absorption level on extrusion spaghetti containing non-traditional ingredients. **Journal of the Science Food and Agriculture**, Malden, v. 86, p. 841–848, 2006.

ZHENG, H.; YANG, X.; TANG, C.; LI, L.; AHMAD, I. Preparation of soluble soybean protein aggregates (SSPA) from insoluble soybean protein concentrates (SPC) and its functional properties. **Food Research International**, Barking, v. 41, p.154-164, 2008

ZHENG, Z.; SINGH, A.; SINDHU, A.; MURAI, N. The bean seed storage protein β-phaseolin is synthesized, processed, and accumulated in the vacuolar type- II protein bodies of transgenic rice endosperm. **Plant Physiology**, Washington, v.109, p.777-786, 1995.

APENDICE A: Índice de solubilidade em água (ISA), índice de absorção de água (IAA), capacidade de absorção de óleo (CAO), luminosidade (L^*), coordenadas de cromaticidade a^* e b^* das farinhas pré-gelatinizadas de arroz e linhaça em função da umidade da matéria-prima (x_1) e temperatura de extrusão (x_2).

Experimentos	Variáveis independentes				Variáveis dependentes					
	Valores codificados		Valores reais		Características físcas e tecnológicas			Cor		
	X_1	X_2	X_1	X_2	ISA	IAA	CAO	L*	a*	b*
1	-1	-1	13,2	68,3	15,85	8,4522	2,8005	58,0100	4,0533	10,0933
2	1	-1	18,8	68,3	21,64	10,8704	2,1817	56,2167	4,2367	9,8633
3	-1	1	13,2	111,3	15,15	7,7022	3,1283	60,7267	3,6233	10,1267
4	1	1	18,8	111,3	14,7	9,1088	2,1797	55,8533	4,1733	9,6533
5	-1,41	0	12	90	17,37	8,1114	3,0127	61,7000	3,7533	10,2300
6	1,41	0	20	90	16,83	10,2310	2,2480	55,5400	3,8967	8,4733
7	0	-1,41	16	60	21,36	8,8936	2,2297	55,7067	4,3967	9,7200
8	0	1,41	16	120	15,3	8,5273	3,2100	57,7367	3,9500	9,6667
9	0	0	16	90	14,82	8,5665	2,5617	56,7233	3,9833	9,3700
10	0	0	16	90	14,16	8,5005	2,6550	56,9133	4,0667	9,4367
11	0	0	16	90	14,92	8,3252	2,5653	57,7033	4,0433	9,2500

x_1: g/(100g^{-1}); x_2: ^oC); ISA: g (100g^{-1}); IAA: g de gel/ g de matéria seca; CAO: g de gel/ g de matéria seca.

APÊNDICE B: Pico de viscosidade a frio (PVF), pico de viscosidade a quente (PVQ), quebra de viscosidade (QV), viscosidade final (VF), tendência à retrogradação (TR) das farinhas pré-gelatinizadas de arroz e linhaça em função da umidade da matéria-prima (x_1) e temperatura de extrusão (x_2).

Experimentos	**Variáveis independentes**				**Variáveis dependentes**				
	Valores codificados		**Valores reais**		**Características Viscoamilográgicas (RVU)**				
	X_1	**X_2**	**X_1**	**X_2**	**PVF**	**PVQ**	**QV**	**VF**	**TR**
1	-1	-1	13,2	68,3	52,00	70,33	51,00	63,25	43,92
2	1	-1	18,8	68,3	56,17	56,25	47,00	46,17	36,92
3	-1	1	13,2	111,3	29,75	51,50	36,42	54,75	39,67
4	1	1	18,8	111,3	40,83	55,92	37,58	70,42	52,08
5	-1,41	0	12	90	39,75	57,25	41,75	55,92	40,42
6	1,41	0	20	90	43,58	45,00	33,33	55,92	44,25
7	0	-1,41	16	60	60,00	60,83	49,25	52,33	40,75
8	0	1,41	16	120	47,58	45,92	30,08	57,25	41,42
9	0	0	16	90	56,92	57,33	38,58	66,17	47,42
10	0	0	16	90	47,50	56,67	41,00	64,17	48,50
11	0	0	16	90	46,25	52,83	36,17	64,42	47,75

APÊNDICE C: Tempo ótimo de cozimento (TOC), aumento de massa (AM), perda de sólidos (PS), firmeza (FIR) e pegajosidade (PEG) de macarrões tipo talharim com diferentes proporções de farinha pré-gelatinizada de arroz e linhaça (80:20) (FPG), farinha e arroz (FA) e farinha de linhaça (FL) obtidas por meio do delineamento de misturas.

	Proporção dos ingredientes na mistura ternária						**Variáveis dependentes**				
	Em concentrações reais			**Em pseudocomponentes**			**Características de cozimento**			**Textura**	
Experimento	**FPG (c_1)**	**FA (c_2)**	**FL (c_3)**	**FPG (X_1)**	**FA (X_2)**	**FL (X_3)**	**Tempo ótimo de cozimento (min)**	**Aumento de massa g (100g)$^{-1}$**	**Perda de sólidos g (100g)$^{-1}$**	**Firmeza (N)**	**Pegajosidade (N)**
1	0,5	0,4	0,1	0,75	0	0,25	10	113,36	4,99	541,54	742,06
2	0,35	0,6	0,05	0	1	0	6	107,71	3,61	416,58	597,05
3	0,5	0,45	0,05	0,75	0,25	0	8	109,88	3,91	433,27	590,87
4	0,45	0,4	0,15	0,5	0	0,5	8	108,28	4,56	470,78	731,22
5	0,35	0,5	0,15	0	0,5	0,5	8	125,24	4,66	305,83	1075,13
6	0,43	0,47	0,10	0,4	0,35	0,25	8	101,11	4,78	355,44	574,68
7	0,43	0,47	0,10	0,4	0,35	0,25	8	102,93	4,41	386,94	645,34
8	0,43	0,47	0,10	0,4	0,35	0,25	8	99,28	4,6	323,95	611,60

X_1: Farinha pré-gelatinizada (FPG); X_2: Farinha de arroz (FA); X_3: Farinha de linhaça (FL)