

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

DISSERTAÇÃO

**Produção de Macarrão Pré-Cozido à Base de Farinha Mista de Arroz
Integral e Milho para Celíacos Utilizando o Processo de Extrusão**

Erika Madeira Moreira da Silva

2007



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

PRODUÇÃO DE MACARRÃO PRÉ-COZIDO À BASE DE FARINHA
MISTA DE ARROZ INTEGRAL E MILHO PARA CELÍACOS
UTILIZANDO O PROCESSO DE EXTRUSÃO

ERIKA MADEIRA MOREIRA DA SILVA

Sob a Orientação do Professor Doutor
José Luis Ramirez Ascheri

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

Seropédica, RJ
Outubro de 2007

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

ERIKA MADEIRA MOREIRA DA SILVA

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

DISSERTAÇÃO APROVADA EM/...../.....

José Luis Ramirez Ascheri. (D.Sc.) Embrapa-CTAA
(Orientador)

Carlos Wanderlei Piler de Carvalho. (PhD) Embrapa-CTAA
(Membro)

Diego Palmiro Ramirez Ascheri. (D.Sc.) UEG-Goiânia
(Membro)

Ronoel Luiz de Oliveira Godoy. (D.Sc.) Embrapa-CTAA
(Suplente)

DEDICATÓRIA

Sem palavras bonitas ou textos copiados, por todo trabalho, por todo sucesso, por todas as conquistas dedico à minha “Grande Família” que sempre me perguntavam se esse macarrão era gostoso. Sem esquecer que Deus, nosso pai, me abençoou com uma família grande, divertida, complicada às vezes, mas sempre unida.

Dedico em especial a minha avó, pelos almoços gostosos e pela frase de todos os dias: “Está pronto o pilão”.

Ao meu avô (1923-2004), que se estivesse entre nós ficaria muito orgulhoso, mas que lá de cima ilumina cada conquista e me garante a fé sempre e sempre.

A minha mãe, que depois que percebeu que eu levava jeito para ser professora passou a me apoiar e me mata se eu não fizer o doutorado.

A minha tia Denise, que sempre como uma mãe, me apoiou em todas as decisões e apostou sempre todas as fichas em mim. Espero que estejam sendo bem gastas...

A uma nova família que ganhei. Minha sogra quase doutora Dona Célia e seu filho Sr. Leitão, o amor da minha vida, pois só este homem mesmo para compreender todas as horas que passei em frente ao computador, todas as noites mal dormidas e todo o stress, sempre com muito amor e carinho.

À todos vocês,

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus, por ter me concedido a saúde que precisava, a fé para continuar acreditando na minha capacidade e acima de tudo, por iluminar essa minha trajetória com pessoas abençoadas.

À Embrapa Agroindústria de Alimentos e a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, pela oportunidade concedida para realização do curso e pelas instalações cedidas para a execução deste trabalho.

Ao Dr. José Luis Ramirez Ascheri pela orientação na dissertação, amizade, atenção, paciência e o profissionalismo singular.

À Dra. Lucia Maria Jaeger de Carvalho da Universidade Federal do Rio de Janeiro, onde tudo começou, por ter me acolhido no momento em que eu mais precisava, por ter lutado ao meu favor, pela amizade e o sentimento materno quando sem ela, eu não teria chegado aonde cheguei.

Aos pesquisadores Marília Regini Nutti e José Luiz Viana de Carvalho pela ajuda durante os experimentos, pela bolsa de estudos e a oportunidade e confiança no meu trabalho exercido nos programas de biofortificação HarvestPlus e AgroSalud.

Ao Dr. Diego Palmiro Ramirez Ascheri, pela orientação e realização das análises estatísticas, assim como amizade, carisma e muita paciência.

Ao Dr. Carlos Wanderlei Piler de Carvalho, pela orientação nas análises de textura e pela fabulosa contribuição na banca de defesa.

Ao Dr. Ronoel Luiz de Oliveira Godoy, pelas aulas de metodologia da pesquisa científica, simpatia, amizade e contribuição na banca de defesa para tornar este trabalho “muito melhor”.

À todos os pesquisadores e técnicos da Embrapa, que contribuíram de forma direta ou indireta na execução deste trabalho, em especial ao Sr. Francisco e Tatiana pela linda amizade e pelo incentivo a cada dia de trabalho.

Ao agora Doutor Reginaldo Ferreira da Silva, da Embrapa Acre, pela amizade que se iniciou durante os experimentos de laboratório, pelas incessantes risadas que fizeram com que o dia-a-dia se tornasse muito mais divertido e pelos trabalhos que desenvolveremos juntos, mesmo a distância.

Ao professor Marcos do curso de Zootecnia da UFRRJ, pelas análises de fibras e por ter cedido seu laboratório para as análises microscópicas.

Ao meu grande amigo Francisco Carlos Donatti, pela cumplicidade, pelas conversas de mais de meia hora ao celular, amizade e por todo seu carisma até mesmo nos momentos mais difíceis de nossas vidas.

Sem esquecer é claro, daqueles que tornaram mais alegre todos os dias durante a execução deste trabalho. À todos os meus amigos de turma, em especial Carolina Rangel (Carol Rangel como nome de guerra), Simone Mathias, Elga Batista, Daniel Couto e Kamila Nascimento.

À professora Sin-Huei Wang por ter me ensinado a comer arroz todos os dias, pelo interesse em todos os meus questionamentos e pelas aulas de química e bioquímica de alimentos.

À uma grande amiga que ganhei durante o curso, Cirlene Angélica, pelos momentos hilários, pelas confidências e pela forma mágica e interessante de como nos tornamos amigas.

Às estagiárias Regiane e Camila do curso de Engenharia de Alimentos da UFRRJ e à mestranda Carla Teba pela ajuda nos experimentos práticos de laboratório.

RESUMO

SILVA, Erika Madeira Moreira da. **Produção de macarrão pré-cozido à base de farinha mista de arroz integral e milho para celíacos utilizando o processo de extrusão**. 2007. 137p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Instituto de Tecnologia, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2007.

A alta produtividade e a praticidade no preparo de massas justificam seu elevado consumo pela população, em especial as instantâneas. Porém, o consumo deste alimento é limitado para aqueles que apresentam a doença celíaca. Neste sentido, o presente trabalho objetivou a produção de massas pré-cozidas a base de farinha mista de arroz integral e milho, através do processo de extrusão. Utilizou-se a metodologia de superfície de resposta, pela qual foram obtidos os modelos matemáticos preditivos para as propriedades estudadas. O delineamento experimental central composto rotacional foi elaborado a fim de estudar o efeito dos diferentes níveis de temperatura (70, 80 e 90°C); umidade (30, 35 e 40%) e percentual de farinha de milho (20, 30 e 40%). As variáveis respostas foram índice de solubilidade em água (ISA), índice de absorção em água (IAA), viscosidade inicial a 25°C, viscosidade máxima, viscosidade final, tempo de cozimento, sólidos solúveis e acidez alcoólica. As matérias-primas assim como as massas pré-cozidas foram caracterizadas quanto à granulometria, microscopia óptica, composição centesimal, minerais, aminoácidos e vitaminas B1 e B2. Os melhores tratamentos foram avaliados quanto à firmeza em texturômetro. A preferência entre os melhores tratamentos foi avaliada sensorialmente e à metade dos provadores foram fornecidas informações nutricionais a respeito das massas. Os resultados da caracterização química indicaram que, a farinha de arroz integral possui vantagens nutricionais perante a farinha de milho, tais como maior teor de fibras, proteínas, lipídios, minerais e vitamina B1. Todavia, o acréscimo de farinha de milho às massas foi fundamental na qualidade de cozimento e avaliação sensorial. De acordo com a análise de variância, nenhuma variável independente contribuiu para os valores do IAA. Apenas o percentual de farinha de milho contribuiu significativamente para a variável resposta ISA. Nenhuma das variáveis independentes contribuiu significativamente para os valores de viscosidade inicial a 25°C, porém a umidade e o percentual de farinha de milho contribuíram de forma significativa para os valores de viscosidade máxima, sendo que, a umidade linear apresentou maior magnitude e foi inversamente proporcional. A temperatura foi a variável que exerceu maior influência na viscosidade final, seguida da umidade e do percentual de farinha de milho, inversamente proporcionais. O teste de cozimento foi fundamental para a escolha dos melhores tratamentos. Dentre as 20 amostras do delineamento, T5 (70°C; 30% umidade e 40% farinha de milho) e T19 (80°C; 35% umidade; 13,2% farinha de milho) obtiveram melhores comportamentos durante a cocção, resistência à quebra, menores perdas de sólidos na água de cozimento e bom rendimento. O parâmetro firmeza indicou que a amostra T5 assemelhou-se às massas comerciais de semolina e a amostra T19, às massas comerciais de trigo. A análise sensorial indicou que, dentre os provadores desprovidos de informação, a amostra T5 obteve maior preferência (80%). Dentre os provadores dotados de informações a amostra T19, obteve maior preferência (70%). Concluiu-se que a amostra T5, contendo 40% de farinha de milho e produzida com 30% de umidade a 70°C, aproximou-se das características de qualidade de massas comerciais, sendo viável a sua produção para pacientes celíacos.

Palavras-chave: Fibra alimentar, Material farináceo, Glúten.

ABSTRACT

SILVA, Erika Madeira Moreira da. **Precooked pasta with brown rice and maize flour for celiacs by extrusion cooking**. 2007. 137p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Instituto de Tecnologia, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2007.

The high production and the practice to make pastas justify their consumption by the population, especially the instantaneous. However, your consumption is limited by people who have celiac disease. The aim of this study was to produce pre cooked pastas using mix flour of brown rice and maize by extrusion cook. The surface methodology was used and the central composite design was made to study the effect of the different levels of temperature (70, 80 and 90°C), moisture (30, 35 e 40%) and maize flour (20, 30 and 40%). The response variables were water solubility index (WSI), water absorption index (WAI), initial viscosity 25°C, maximum viscosity, final viscosity, cooking time, solids losses and acidity. The raw materials and the pre cooked pastas were characterized by particle size, optical microscopy, centesimal composition, minerals, aminoacids and B1 and B2 vitamins. The textures of the best results were valued. The preference between the best results were valued and any nutritional information was given to half of the consumers. The chemical characterization indicate that the brown rice flour has nutritional advantages than the maize flour, like high value of fibers, proteins, fat, minerals and B1 vitamin. However, the increase of maize flour in the mixture was very important on the cooking quality and sensorial evaluation. The variance analysis showed that none independent variable contributed to the WAI values. Only the maize flour contributed significantly to the WSI variable. None of the independent variables contributed to the initial viscosity values, but moisture and maize flour contributed to the maximum viscosity values, although linear moisture had the highest contribution (inversely proportional). Temperature was the variable that had the highest contribution on the final viscosity. The second one was moisture followed by maize flour (inversely proportional). Among the 20 samples, T5 (70°C; 30% moisture and 40% maize flour) and T19 (80°C; 35% moisture; 13,2% maize flour) have the best behaviors during the cooking time, the resistance, less solids losses in the water cooking and good weight gain. The values of firmness showed that T5 sample was similar to commercial pastas and the T19 sample was very similar to pastas made with wheat. The sensorial evaluation indicated that, among the consumers (devoid of nutritional information), the T5 sample had the highest preference (80%). Among the consumers (with nutritional information), the T19 sample had the highest preference (70%). It was concluded that the T5 sample (40% maize flour; 30% moisture and 70°C), showed very good quality characteristics, possible to be produced for celiac people.

Keywords: Alimentary fiber, Flour material, Gluten.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Composição do grão de arroz (em 100 g)	11
Tabela 2	Médias de composição química e valor energético do milho analisado no Laboratório de Análises Físico Químicas da Embrapa Suínos e Aves no período de 1979 a 1997. Valores expressos em base natural (continua)	12
Tabela 3	Informação nutricional em 100 g de macarrão de arroz	14
Tabela 4	Níveis das variáveis independentes a serem estudadas no processo de extrusão	24
Tabela 5	Delineamento completo do desenho experimental	25
Tabela 6	Caracterização química aproximada (% base seca) da farinha crua de arroz integral, farinha de milho e macarrões pré-cozidos (T5 e T19)	41
Tabela 7	Composição em minerais (mg/100 g, base seca) da farinha crua de arroz integral, farinha de milho e macarrões pré-cozidos (T5 e T19)	43
Tabela 8	Composição em aminoácidos (g/100 g de amostra), em base seca, das farinhas de arroz integral, de milho e recomendações da FAO/WHO (mg/100g proteína), para crianças de 2 a 5 anos, 10 a 12 anos e adultos	46
Tabela 9	Escore de aminoácidos, das farinhas de arroz integral e de milho, segundo as recomendações da FAO/WHO (1985) para crianças de 2 a 5 anos de idade	47
Tabela 10	Escore de aminoácidos, das farinhas de arroz integral e de milho, segundo as recomendações da FAO/WHO (1985) para crianças de 10 a 12 anos de idade	47
Tabela 11	Escore de aminoácidos, das farinhas de arroz integral e de milho, segundo as recomendações da FAO/WHO (1985) para adultos	48
Tabela 12	Valores de vitamina B1 (tiamina) e vitamina B2 (riboflavina) em farinhas de arroz integral e milho	49
Tabela 13	Resultados da caracterização dos macarrões pré-cozidos	50
Tabela 14	Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicado ao índice de solubilidade em água (%) dos macarrões pré-cozidos de farinha mista de arroz integral e de milho, em função da temperatura (X_1), umidade (X_2) e % de farinha de milho (X_3)	51
Tabela 15	Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática	

	aplicado ao índice de absorção de água (g gel/ matéria seca) dos macarrões pré-cozidos de farinha mista de arroz integral e de milho, em função da temperatura (X_1), umidade (X_2) e % de farinha de milho (X_3)	54
Tabela 16	Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada a Viscosidade Inicial a 25 °C (cP) dos macarrões pré-cozidos de farinha mista de arroz integral e de milho, em função da temperatura (X_1), umidade (X_2) e % de farinha de milho (X_3)	56
Tabela 17	Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada a Viscosidade Máxima (cP) dos macarrões pré-cozidos de farinha mista de arroz integral e de milho, em função da temperatura (X_1), umidade (X_2) e % de farinha de milho (X_3)	58
Tabela 18	Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada a Viscosidade Final (cP) dos macarrões pré-cozidos de farinha mista de arroz integral e de milho, em função da temperatura (X_1), umidade (X_2) e % de farinha de milho (X_3)	61
Tabela 19	Resultados da caracterização de qualidade dos macarrões pré-cozidos a base de farinha mista de arroz integral e milho	66
Tabela 20	Teste F da análise de variância, coeficientes de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicado ao tempo de cozimento do macarrão de farinha mista de arroz integral e milho, obtidos por análise de superfície de resposta, em função da temperatura (X_1), Umidade (X_2) e % de farinha de milho (X_3)	68
Tabela 21	Teste F da análise de variância, coeficientes de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicado ao teor de sólidos solúveis (%) do macarrão de farinha de arroz integral e farinha de milho, obtidos por análise de superfície de resposta, em função da temperatura (X_1), Umidade (X_2) e % de farinha de milho (X_3)	71
Tabela 22	Teste F da análise de variância, coeficientes de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicado ao grau de acidez alcoólico do macarrão de farinha de arroz integral e farinha de milho, obtidos por análise de superfície de resposta, em função da temperatura (X_1), Umidade (X_2) e % de farinha de milho (X_3)	75
Tabela 23	Média representativa da análise de textura instrumental para a avaliação do parâmetro firmeza, nas amostras (T5 e T19), dos macarrões pré-cozidos de farinha mista de arroz integral e milho	77

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Segmentação de consumo de massas, ano 2004	7
Figura 2	Produção de massas alimentícias	7
Figura 3	Produção mundial de massas alimentícias	8
Figura 4	Zonas de alimentação, compressão e cocção	15
Figura 5	Exemplos de roscas (parafusos) inseridos no interior do extrusor, responsáveis pela taxa de cisalhamento	15
Figura 6	Esquema simplificado de um extrusor mono-roscas	16
Figura 7	Massa pré-cozida sendo recolhida após passar pela matriz laminar (zona 3)	27
Figura 8	Extrusor Brabender mono-roscas utilizado para a produção das massas pré-cozidas	28
Figura 9	Formato das massas pré-cozidas	28
Figura 10	Fluxograma de obtenção dos macarrões pré-cozidos à base de farinha de arroz e farinha de milho	30
Figura 11	Amostras cruas e extrusadas do tratamento 5 com 40 % de farinha de milho. A) Amostra crua do T5. B) Amostra extrusada do T5	36
Figura 12	Amostras cruas e extrusadas do tratamento 19 com 13,2 % de farinha de milho. A) Amostra crua do T19. B) Amostra extrusada do T19	37
Figura 13	Aparência microscópica dos grânulos de amido de macarrão comercial à base de trigo	37
Figura 14	Classificação granulométrica da farinha crua de arroz integral	38
Figura 15	Classificação granulométrica da farinha crua de milho	39
Figura 16	Classificação granulométrica da farinha mista extrusada de arroz integral e 40 % de milho (T5)	39
Figura 17	Classificação granulométrica da farinha mista extrusada de arroz integral e 13,2 % de milho (T19)	40
Figura 18	Análise de regressão para o modelo quadrático aplicado para o índice de solubilidade em água em função do percentual de farinha de milho	52

Figura 19	Efeito das variáveis quantitativas Farinha de milho (%) e Umidade (%), na viscosidade máxima (cP), dos macarrões pré-cozidos a base de farinha mista de arroz integral e milho	59
Figura 20	Efeito das variáveis quantitativas Umidade (%) e Temperatura (°C), na viscosidade final (cP), dos macarrões pré-cozidos a base de farinha mista de arroz integral e milho	62
Figura 21	Efeito das variáveis quantitativas Farinha de milho (%) e Umidade (%), na viscosidade final (cP), dos macarrões pré-cozidos a base de farinha mista de arroz integral e milho	63
Figura 22	Efeito das variáveis quantitativas Farinha de milho (%) e Temperatura (°C), na viscosidade final (cP), dos macarrões pré-cozidos a base de farinha mista de arroz integral e milho	64
Figura 23	Efeito das variáveis quantitativas Temperatura (%) e Umidade (°C), no tempo de cozimento, dos macarrões pré-cozidos a base de farinha mista de arroz integral e milho	69
Figura 24	Efeito das variáveis quantitativas Temperatura (%) e Farinha de milho (%), no tempo de cozimento, dos macarrões pré-cozidos a base de farinha mista de arroz integral e milho	69
Figura 25	Efeito das variáveis quantitativas Farinha de milho (%) e Umidade (%), no tempo de cozimento, dos macarrões pré-cozidos a base de farinha mista de arroz integral e milho	70
Figura 26	Efeito das variáveis quantitativas Umidade (%) e Temperatura (°C), na perda de sólidos solúveis (%), dos macarrões pré-cozidos a base de farinha mista de arroz integral e milho	72
Figura 27	Efeito das variáveis quantitativas Umidade (%) e Temperatura (°C), no grau acidez alcoólica, dos macarrões pré-cozidos a base de farinha mista de arroz integral e milho	75
Figura 28	Resultados do teste de preferência geral, dos macarrões pré-cozidos T5 e T19. Provadores sem informação a respeito do produto	79
Figura 29	Resultados do teste de preferência geral, dos macarrões pré-cozidos T5 e T19. Provadores com informação a respeito do produto	79
Figura 30	Resultados do teste de preferência, referente ao sabor dos macarrões pré-cozidos T5 e T19. Provadores sem informação a respeito do produto	80
Figura 31	Resultados do teste de preferência, referente ao sabor dos macarrões pré-cozidos T5 e T19. Provadores com informação a respeito do produto	81
Figura 32	Resultados do teste de preferência, referente a textura dos macarrões pré-cozidos T5 e T19. Provadores sem informação a respeito do produto	82

Figura 33	Resultados do teste de preferência, referente a textura dos macarrões pré-cozidos T5 e T19. Provadores com informação a respeito do produto	82
Figura 34	Resultados do teste de preferência, referente a intenção de compra dos macarrões pré-cozidos T5 e T19. Provadores sem informação a respeito do produto	83
Figura 35	Resultados do teste de preferência, referente a intenção de compra dos macarrões pré-cozidos T5 e T19. Provadores com informação a respeito do produto	84

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Objetivo Geral	2
1.2	Objetivos Específicos	2
2	REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1	O Glúten	3
2.1.1	Epidemiologia	4
2.1.2	Etiopatogenia	4
2.1.3	Fatores genéticos	4
2.1.4	Fatores imunológicos	4
2.1.5	Manifestações clínicas	5
2.1.6	Formas de apresentação da doença	5
2.1.7	Diagnóstico	5
2.1.8	Tratamento	6
2.2	Consumo de Massa Alimentícia	6
2.3	Arroz (<i>Oryza sativae</i> , L.)	8
2.3.1	Características do arroz	9
2.3.2	Valor nutritivo do arroz	10
2.4	Milho (<i>Zea mays</i> L.)	11
2.4.1	Composição química do milho	11
2.4.2	A produção e utilização do milho	13
2.5	Fibra Alimentar	13
2.6	Produção do Macarrão de Arroz	13
2.7	Extrusão	14
2.7.1	Descrição do processo de extrusão termoplástica	15
2.8	Configuração do Extrusor	17
2.8.1	Pré-condicionamento	17
2.8.2	Configuração do(s) parafuso(s)	17
2.8.3	Velocidade do(s) parafuso(s)	17
2.8.4	Temperatura do cilindro	17
2.8.5	Configuração da matriz	18
2.8.6	Secagem	18
2.9	Propriedades Funcionais e Parâmetros de Produtos Extrusados	18
2.9.1	Índice de absorção de água (IAA)	18
2.9.2	Índice de solubilidade em água (ISA)	19
2.9.3	O amido	19
2.9.4	Viscosidade de pasta	20
3	MATERIAIS E MÉTODOS	21
3.1	Testes Preliminares	21
3.2	Matéria – Prima	21
3.3	Equipamentos	22

3.4	Delineamento Experimental	22
3.5	Classificação Granulométrica	26
3.6	Condicionamento da Matéria-Prima	26
3.7	Processo de Extrusão	27
3.7.1	Condições de processo	27
3.8	Extrusão	28
3.9	Caracterização Química das Farinhas de Arroz Integral, de Milho e Macarrões Pré-Cozidos	31
3.9.1	Composição centesimal	31
3.9.2	Composição em minerais	31
3.9.3	Composição em aminoácidos	31
3.9.4	Composição em vitaminas (B1 e B2)	32
3.10	Caracterização Física dos Macarrões Pré-Cozidos	32
3.10.1	Caracterização microscópica das amostras cruas e extrusadas	32
3.10.2	Índice de solubilidade em água (ISA) e índice de absorção de água (IAA)	32
3.10.3	Viscosidade de pasta	33
3.11	Qualidade dos Macarrões Pré-Cozidos à Base de Farinha de Arroz Integral e Farinha de Milho	33
3.12	Análise de Textura Instrumental	34
3.13	Avaliação Sensorial dos Macarrões Pré-Cozidos à Base de Farinha de Arroz Integral e Farinha de Milho T5 (40 % milho a 70 °C) e T19 (13,2 % de milho a 80 °C)	34
3.14	Análises Estatísticas	35
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
4.1	Aparência Microscópica da Estrutura dos Materiais Crus e Extrusados	36
4.2	Classificação Granulométrica	38
4.3	Caracterização Química das Farinhas Cruas de Arroz Integral, de Milho e dos Macarrões Pré-Cozidos (T5 e T19)	41
4.4	Composição em Minerais	42
4.5	Composição em Aminoácidos	45
4.6	Composição em Vitaminas B1 e B2	48
4.7	Caracterização Física dos Macarrões Pré-Cozidos	49
4.7.1	Índice de solubilidade em água (ISA)	51
4.7.2	Índice de absorção em água (IAA)	53
4.7.3	Viscosidade de pasta	55
4.7.3.1	Viscosidade inicial a 25 °C (VI 25)	56
4.7.3.2	Viscosidade máxima (VM)	57
4.7.3.3	Viscosidade final (VF)	60
4.8	Qualidade de Cozimento dos Macarrões Pré-Cozidos à Base de Farinha Mista de Arroz Integral e Milho	64
4.8.1	Resultados da análise de tempo de cozimento dos macarrões em segundos	67

4.8.2	Teor de sólidos solúveis (SS %)	70
4.8.3	Resultados da análise de grau de acidez alcoólico (GAA) dos macarrões	73
4.8.4	Outros parâmetros de qualidade: aumento de peso (%) e aumento de volume (%)	76
4.9	Textura Instrumental	77
4.10	Análise Sensorial dos Macarrões Pré-Cozidos de Farinha Mista de Arroz Integral e Milho (T5 e T19)	78
5	CONCLUSÕES	85
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86
	ANEXOS	97

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, grande parte da população mundial consome massas, em especial as instantâneas, devido a sua praticidade no rápido preparo e sabores agradáveis e diferenciados.

No ano de 2004, a produção de massas alimentícias no Brasil, atingiu cerca de 1 milhão de toneladas, justificando o elevado consumo da população e a preferência por este gênero alimentício.

A maior parcela da população depende de alimentos de origem vegetal como principal fonte nutricional, embora sua qualidade protéica seja inferior aos alimentos de origem animal.

O arroz é um dos cerealíferos mais consumidos mundialmente, apresentando, dentre os cereais, o maior coeficiente de digestibilidade (CD), maior valor biológico (VB), e elevada relação de eficiência protéica (PER), apesar de sua deficiência em lisina. O milho é o segundo maior cereal consumido no Brasil, provavelmente pelo seu baixo custo de produção e de aquisição. Apresenta quantidade significativa de proteínas, apesar de sua deficiência em lisina e triptofano.

Apesar da deficiência encontrada no arroz e no milho, estes apresentam uma vantagem no que diz respeito à fração protéica. Estes cereais apresentam uma fração protéica constituída por prolaminas e glutelinas, semelhantes ao glúten do trigo, porém não apresentam a característica alergênica. Diferentemente destes cereais, o trigo apresenta as frações glutenina (glutelina) e gliadina (prolamina que provoca alergia). Sendo assim, tanto o arroz (incluindo arroz integral) quanto o milho são considerados um dos alimentos mais indicados para portadores de enteropatia induzida pelo glúten (doença celíaca). Esta é uma enfermidade conhecida pela intolerância alimentar associada especificamente com produtos oriundos de grãos de trigo, centeio, cevada e aveia. Os sintomas mais comuns são diarreia e desnutrição, decorrentes da má absorção de nutrientes, devido à atrofia da mucosa intestinal. Como consequência o paciente celíaco perde peso e pode sofrer diversos sintomas associados com deficiência de vitaminas e minerais.

Atualmente, no mercado nacional e internacional, podemos encontrar massas produzidas a partir de arroz. Porém, apesar da isenção do glúten, este cereal apresenta elevada concentração de carboidratos, baixo valor protéico, de fibras, vitaminas e minerais. O arroz é um alimento essencialmente energético, mas pobre em substâncias nutritivas, pois perde maior parte delas ao ser polido.

Sendo assim, o arroz integral é uma forma de agregar valor nutricional, com a qualidade do cereal, a digestibilidade, sem comprometer àqueles que não toleram a ingestão de glúten (celíacos). Além de poder ser consumido por celíacos, possui maiores quantidades de fibras, proteínas e preserva boa parte de suas vitaminas e minerais após o processamento, sendo uma ótima opção nutricional para elaboração de massas.

O milho, rico em carboidratos, apresenta pigmentos criptoxantina e zeaxantina que além de serem precursores da vitamina A, atuam como corantes naturais promovendo pigmentação sensorialmente atraente às massas. Sendo assim, ambas as fontes são benéficas em comparação ao trigo, deficiente além de lisina, em treonina, leucina e aminoácidos sulfurados.

O macarrão pré-cozido elaborado a partir da mistura de arroz integral e milho, além de atender às necessidades gastronômicas e nutricionais de indivíduos celíacos, poderá ser consumido por todos aqueles que, estiverem em dietas especiais, desejarem um produto de maior digestibilidade e, ainda assim, com melhor valor nutricional, no que diz respeito a fibras, vitaminas e seus precursores, minerais e lipídios.

Portanto, com o fato estabelecido, pode-se explicar a importância da elaboração de massa pré-cozida, utilizando-se como matéria-prima principal, o arroz integral e o milho, a fim de reduzir custos com a elaboração do produto, por serem materiais de baixo valor financeiro no mercado e elevado consumo por parte da população.

Com isso, o processo de extrusão utilizando temperaturas mais elevadas (termoplástica), por ser um aliado na produção de massas pré-cozidas, vem ganhando destaque e expansão na indústria alimentícia, aumentando a variedade de alimentos processados e a mistura de diferentes tipos de farinhas, apresentando muitas vantagens quando comparado a outros sistemas tradicionais de processamento. É uma tecnologia alternativa no aproveitamento de uma grande quantidade de produtos e subprodutos, favorecendo a alimentação humana e animal no que diz respeito a misturas enriquecidas, além de contribuir para a melhoria do valor nutricional dos alimentos, como é o caso da produção de macarrão.

Desta forma, esta tecnologia é de grande interesse em programas de alimentação suplementar em países em desenvolvimento que buscam tecnologia para produção de alimentos nutritivos de baixo custo, destinado às populações mal-nutridas, pessoas em dietas especiais e com patologias que exigem uma alimentação diferenciada.

Com a intenção de minimizar as dificuldades para seguir uma dieta isenta de glúten, pelo crescimento do número de celíacos no Brasil e no mundo, pela carência de produtos isentos de glúten no mercado que forneça nutrientes adequados para a manutenção da saúde e prevenção de co-morbidades associadas, assim como promover a tecnologia alimentar e revolucionar a indústria alimentícia com a produção de macarrão pré-cozido isento de glúten a partir da mistura de farinha de arroz integral e farinha de milho, o presente trabalho possui como objetivos:

1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho consistiu na produção de macarrão pré-cozido utilizando-se a mistura de farinha de arroz integral e farinha de milho.

1.2 Objetivos Específicos

- Determinar e adequar parâmetros de extrusão (temperatura, umidade, taxa de alimentação, velocidade do parafuso) na produção do macarrão pré-cozido, produzido a partir da mistura de farinha de arroz integral e milho;

- Determinar e avaliar composição química do produto, parâmetros tecnológicos, qualidade de cozimento, índice de absorção de água (IAA), índice de solubilidade em água (ISA), viscosidade de pasta, textura instrumental e preferência sensorial;

- Disponibilizar uma alternativa alimentar para a população de celíacos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS/WHO, 2001), cerca de 1 entre cada 300 a 3000 indivíduos são afetados pela doença celíaca mundialmente, dependendo da região geográfica específica.

A doença celíaca é uma intolerância permanente ao glúten, caracterizada por atrofia total ou subtotal da mucosa do intestino delgado proximal e conseqüente má absorção de alimentos, em indivíduos geneticamente susceptíveis. (WALKER-SMITH, 1996.)

Esta doença foi descrita pela primeira vez por Areteus, no primeiro século da era de Cristo, quando descreveu o caráter crônico da doença e aspecto esteatorréico (gorduroso) característico das fezes (FUGESP, 2005). No entanto, a definição científica da doença foi feita há mais de 100 anos por Samuel Gee, em 1888, sob a denominação de “afecção celíaca”, relatando as seguintes características: indigestão crônica encontrada em pessoas de todas as idades, especialmente em crianças entre 1 e 5 anos de idade (AURICCHIO e TRONCONE, 1996).

Foi somente durante a Segunda Guerra Mundial que foram associados os efeitos deletérios de certos tipos de cereais à doença celíaca. Dicke, um pediatra holandês, observou que, durante o período de racionamento de trigo, a incidência da doença havia reduzido, porém, após o reabastecimento de alimentos fontes deste cereal, indivíduos portadores da doença voltaram rapidamente a apresentar sintomas, confirmando a importância do trigo na gênese da doença (BERGE-HENEGOUWEN e MULDER, 1993).

Em virtude das dificuldades para garantir a prática da dieta isenta de glúten, em 1992, foi promulgada, a Lei Federal número 8543, que determina a impressão da advertência *contém glúten* nos rótulos e embalagens de alimentos industrializados que apresentarem em sua composição, derivados do trigo, centeio, cevada e aveia. A Lei nº 10674 e a Resolução RDC nº 40, também são consideradas como, medidas preventivas e de controle da doença celíaca pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária.

De acordo com a ACELBRA (Associação dos Celíacos do Brasil), foi constatado um aumento do número de portadores de doença celíaca cadastrados na associação. Na Europa e nos Estados Unidos, os produtos industrializados que não contém glúten, ou contém uma quantidade mínima (<10 mg de prolamina/100g), permitida segundo o *Codex Alimentarius* da FAO/WHO (1995) para consumo por portadores da doença celíaca, apresentam em sua embalagem o símbolo internacional representado por um trigo “cortado”, caracterizando-o como alimento isento de glúten.

2.1 O Glúten

O glúten é uma proteína insolúvel presente no trigo, aveia, cevada e centeio. O glúten úmido se apresenta como uma massa elástica e coesa, que se expande quando assado, sendo que, grande parte dos lipídios da farinha está ligada ao glúten por forças eletrostáticas. Quanto à natureza química, o glúten é dividido em duas proteínas: a gliadina, solúvel em álcool etílico e a glutenina, solúvel em ácido ou base diluídos (AUGUSTO et al., 2002).

O prejudicial e tóxico ao intestino do paciente celíaco são “partes do glúten” que recebem denominações diferentes para cada cereal: gliadina (trigo), hordeína (cevada), avenina (aveia) e secalina (centeio). O malte é um produto da fermentação da cevada, portanto apresenta uma fração de glúten. Xarope de malte ou extrato de malte, derivados do malte não devem ser consumidos pelos portadores da doença celíaca (ACELBRA, 2004).

2.1.1 Epidemiologia

A possibilidade atual de realização de rastreamento sorológico com os anticorpos anti gliadina e anti endomísio permitiu a identificação de outras formas de manifestação clínica da doença, além da digestiva. Sendo assim, estudos de rastreamento têm demonstrado alta prevalência em crianças (CATASSI et al., 1994 e 1995) e adultos aparentemente saudáveis (GRODZINSKY et al., 1992).

Um grande estudo promovido pela Sociedade Européia de Gastroenterologia e Nutrição (ESPGAN) envolvendo 36 centros de 22 países, forneceu importante informação epidemiológica: a incidência média encontrada foi de 1 caso para cada 1000 nascidos vivos (TRONCONE et al., 1996). Incidência comparável foi verificada na América do Sul, porém, ainda não se sabe com certeza a razão da baixa incidência da doença celíaca nos Estados Unidos, mesmo nas populações caucasianas, com ancestrais comuns aos indivíduos que vivem na Europa (POLANCO et al., 1992). Sendo assim, apresenta uma incidência maior na raça branca, principalmente em países europeus como a Irlanda e Suécia, onde possuem uma prevalência de 1:300 e 1:400 respectivamente (FUGESP, 2005 ; FARREL & KELLY, 2002 ; NELSEN, 2002).

2.1.2 Etiopatogenia

A expressão da doença celíaca inicia-se a partir da ingestão do glúten. Os cereais que pertencem à família *Gramineae* podem ser divididos em quatro subfamílias, a saber: *Bambusoidea*, *Pooideae*, *Panicoideae* e *Chloridiodeae*. A subfamília *Pooideae* compreende dois subgrupos: *Triticeae* que contém a maioria dos cereais: trigo (*triticum*), centeio (*secale*), cevada (*hordeum*) e *Aveneae* que contém a aveia (*avena*).

2.1.3 Fatores genéticos

A doença celíaca é precipitada em indivíduos geneticamente susceptíveis. A explicação para tal fato se deve a análise de amostras de intestino delgado de parentes de primeiro grau que, corroboraram a evidência de que, fatores genéticos podem influenciar na susceptibilidade da doença. A prevalência de doença celíaca em parentes de primeiro grau varia de 2 % a 20 % com média de 8 % a 12 %, sendo igual a 70 % em gêmeos monozigóticos (SOLLID, 1996).

2.1.4 Fatores imunológicos

O mecanismo pelo qual o glúten exerce sua ação tóxica ainda permanece obscuro. A presença de células T produtoras de citocina na lesão celíaca e a estreita associação com o antígeno de histocompatibilidade (HLA) sugerem que, o sistema imunológico celular tenha papel importante no desenvolvimento da doença (SOLLID e THORSBY, 1993; TRIER, 1991; UTIYAMA et al., 2004). Especula-se sobre a possibilidade de que os linfócitos T, portadores de receptores gama/delta, presentes em grande número a nível intraepitelial – linfócitos intraepiteliais (LIE) - em pacientes celíacos (tanto em atividade, como em remissão com dieta isenta de glúten) poderiam constituir um marcador precoce da doença, o que permitiria identificar inclusive as formas latentes (POLANCO, 1995).

2.1.5 Manifestações clínicas

Existe uma grande variabilidade de apresentação clínica, assim como a idade em que se iniciam os sintomas, porém, existe um período de latência variável entre o início da ingestão do glúten e o surgimento dos sintomas. Com isso, os sinais e sintomas clássicos da má absorção consistem em: diarreia crônica com fezes esteatorréicas (gordurosas), desnutrição, edema de membros inferiores, palidez cutâneo-mucosa, abdome volumoso e perda de peso acentuada em alguns casos (FUGESP, 2005 ; ACELBRA, 2004).

Alguns sintomas extraintestinais incluem anemia, redução da densidade mineral óssea, infertilidade, síndromes psiquiátricas e desordens neurológicas (SIQUEIRA NETO et al., 2004).

2.1.6 Formas de apresentação da doença

A doença celíaca pode ter as seguintes formas clínicas de apresentação: clássica, não-clássica, latente e assintomática (POLANCO, 1995). A mais freqüente é a forma clássica que se inicia nos primeiros anos de vida, manifestando-se com quadro de diarreia crônica, vômitos, irritabilidade, falta de apetite, déficit de crescimento, distensão abdominal, diminuição do tecido celular subcutâneo e atrofia da musculatura glútea. Após semanas ou meses da introdução de glúten na dieta, as fezes tornam-se fétidas, gordurosas e volumosas, e o abdome distendido, sendo que, poucos pacientes apresentam-se gravemente enfermos com diarreia levando à desidratação e choque, chamado de “crise celíaca” (SDEPANIAN et al., 1999).

As formas não-clássicas caracterizam-se por quadro nos quais as manifestações digestivas estão ausentes ou, quando presentes, ocupam um segundo plano. Esta forma apresenta-se mais tardiamente na infância e, os pacientes deste grupo, podem apresentar manifestações isoladas como, por exemplo: baixa estatura, anemia por deficiência de ferro refratária à ferroterapia oral, artralgia ou artrite, constipação intestinal, hipoplasia do esmalte dentário, osteoporose e esterilidade (SDEPANIAN et al., 1999).

A doença celíaca assintomática, comprovada fundamentalmente entre familiares de primeiro grau de pacientes celíacos, vem sendo reconhecida com maior freqüência após o desenvolvimento de marcadores séricos específicos, especialmente, os anticorpos anti gliadina, antiendomísio e antireticulina (CATALDO et al., 1995).

Sendo assim, pacientes com doença celíaca ativa, quer seja com manifestações da forma clássica, quer seja não-clássica, assim como os portadores da forma assintomática caracterizam-se por apresentar mucosa jejunal com alterações características, com atrofia subtotal das vilosidades intestinais, que revertem à normalidade com a introdução de dieta isenta de glúten (SDEPANIAN et al., 1999).

Apesar da maioria dos pacientes apresentarem recorrência das anormalidades histopatológicas, no período de dois anos após a reintrodução do glúten, o diagnóstico da mesma não deve ser descartado se, dentro deste período de tempo, o indivíduo continuar apresentando mucosa intestinal normal (SDEPANIAN et al., 1999).

2.1.7 Diagnóstico

Anamnese detalhada associada a exame físico cuidadoso permitem estabelecer o diagnóstico de suspeita naqueles casos que cursam com sintomatologia clássica. Sua investigação pode ser dividida nos seguintes estudos: função digestivo/absortiva, sorológico e histopatológico do intestino delgado (biópsia na junção duodeno-jejunal) (POLANCO, 1996).

2.1.8 Tratamento

O tratamento da doença celíaca é basicamente dietético, devendo-se excluir o glúten da dieta durante toda a vida, tanto nos indivíduos sintomáticos, quanto assintomáticos (POLANCO et al., 1996).

É de fundamental importância o cumprimento efetivo da dieta a fim de assegurar desenvolvimento pondero-estatural e puberal adequados, densidade mineral óssea (CARVALHO et al., 2003), fertilidade, redução de risco de deficiência de macro e micronutrientes, assim como diminuir o risco do surgimento de doenças malignas, particularmente do sistema digestivo (WALKER-SMITH e MURCH, 1999; SDEPANIAN et al., 2001).

A dieta destes indivíduos deverá atender às necessidades nutricionais, de acordo com a idade. São considerados alimentos permitidos: arroz, grãos (feijão, lentilha, soja, ervilha, grão de bico), gorduras, óleos e azeites, legumes, hortaliças, frutas, ovos, carnes (de vaca, porco e peixe) e leite. O glúten poderá ser substituído pelo milho (farinha de milho, amido de milho, fubá), arroz (farinha de arroz), batata (fécula de batata) e mandioca (farinha de mandioca e polvilho) (AUGUSTO et al., 2002).

Embora seguir uma dieta estritamente isenta de glúten a princípio possa parecer simples, na prática evidencia-se uma série de dificuldades na manutenção desta dieta, não somente por parte do paciente, como também de seus familiares, pois consiste em uma mudança radical do hábito alimentar, principalmente no mundo ocidental (SDEPANIAN et al., 1999).

Segundo o *Codex Alimentarius* FAO/WHO (1995), o limite máximo diário permitido ao consumo pelos indivíduos celíacos é igual a 10 mg de gliadina (fração protéica tóxica do trigo, considerada uma prolamina), sendo que ainda não há referências aos valores tóxicos para a hordeína (cevada), secalina (centeio) e avenina (aveia).

Um estudo realizado na Eslováquia, com análises de DNA, por Olexová et al. (2004), foi detectado que, em duas amostras de farinhas de milho e soja e em uma amostra de biscoito produzido com farinha de milho, havia traços de glúten.

Todo cuidado no momento da escolha de alimentos isentos de glúten é pouco. O consumidor deve verificar atentamente todos os ingredientes utilizados na elaboração do produto, para que não haja outro ingrediente que possua mínimas quantidades de glúten.

A adesão à dieta isenta de glúten é variável e difícil, especialmente durante a adolescência (FABIANI et al., 1996) e, observa-se que há uma maior proporção de obediência à dieta quando há conhecimento da doença, da própria dieta e de suas manifestações clínicas (SDEPANIAN et al., 2001).

2.2 Consumo de Massa Alimentícia

O consumo de massa alimentícia vem se expandindo no Brasil devido ao crescimento da demanda e conseqüente maior produção industrial pelo custo relativamente baixo do produto e sua facilidade de preparo (LEITÃO et al., 1989).

A massa produzida a partir da farinha de trigo possui, além do glúten, alto valor calórico e baixa qualidade protéica devido a deficiência em lisina (CABALLERO-CÓRDOBA et al., 1994).

A Associação Brasileira de Indústrias de Massas Alimentícias (ABIMA) aponta que, a segmentação do consumo de massas no ano de 2004, foi prevalente nas regiões Norte e Nordeste, totalizando 26,5 % do total de massa consumida no Brasil, de acordo com a Figura 1 (ABIMA, 2005). Estes dados podem ser justificados pelo baixo custo da matéria-prima e do produto final, largamente consumido por regiões de menor poder aquisitivo.

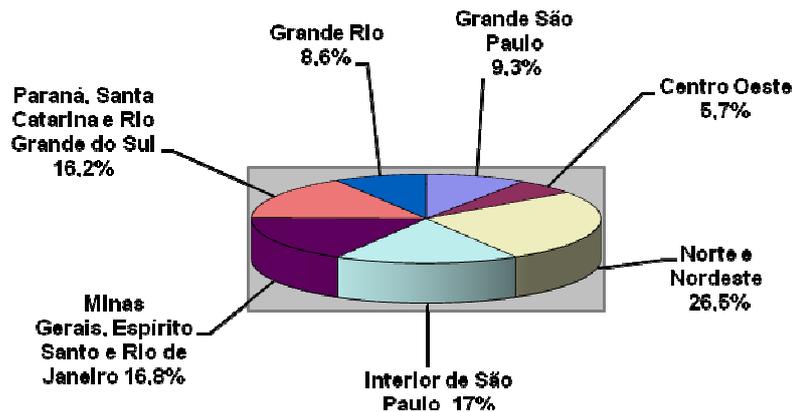


Figura 1. Segmentação de consumo de massas, ano 2004 (ABIMA, 2005)

Os dados abaixo, demonstrados na Figura 2, apontam um crescimento na produção de massas alimentícias, até o ano de 2004. Se o consumo for acelerado, a produção tenderá a aumentar, para os próximos anos.

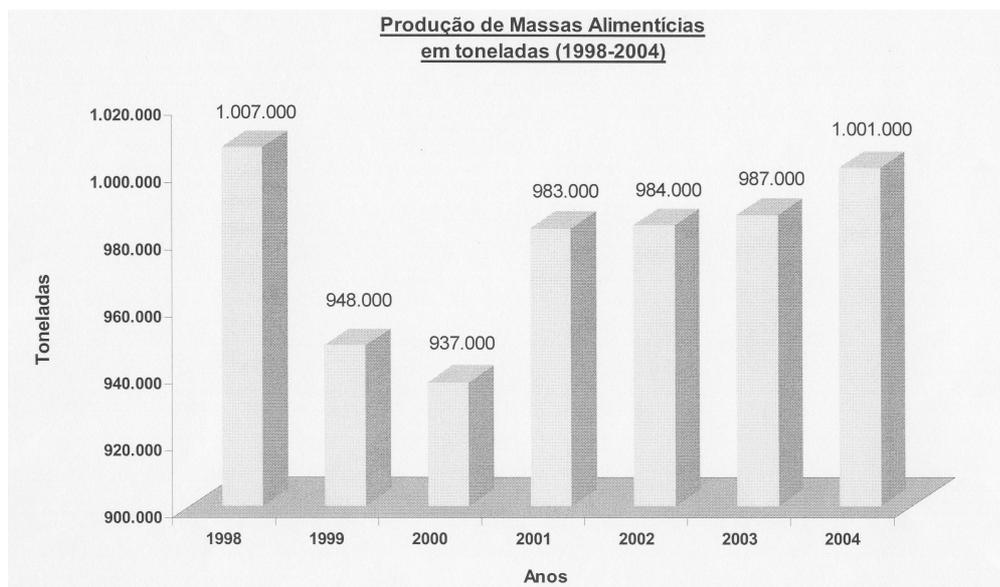


Figura 2. Produção de massas alimentícias (ABIMA, 2005)

A produção mundial de massas alimentícias, no ano de 2003, pode ser verificada na Figura 3. Nota-se que, a Itália, maior produtor atual de massas, Estados Unidos e Brasil, ocupam o lugar de maior produção de massas, em toneladas, justificando o elevado consumo por parte da população nestes países. No Japão, há um maior consumo de arroz, mesmo como matéria-prima para a fabricação de massas.

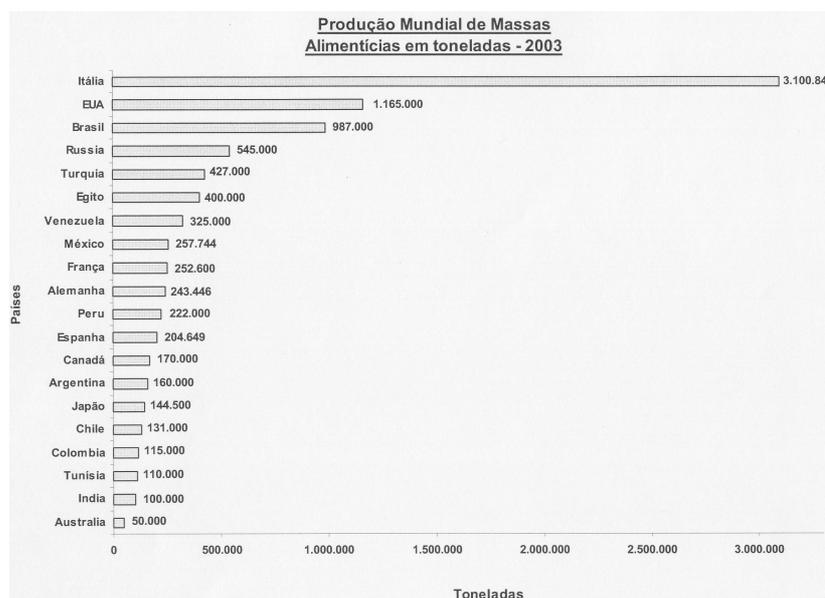


Figura 3. Produção mundial de massas alimentícias (ABIMA, 2005)

2.3 Arroz (*Oryza sativae*, L.)

O arroz é um cereal que faz parte do hábito alimentar do brasileiro, o que se confirma pelo consumo *per capita* superior a 70 kg/habitante/ano, considerando suas diferentes formas (AGRIANUAL, 1999; NUNES et al., 2003).

É o cereal mais produzido no mundo, com uma produção de 597.155 mil toneladas, correspondente a safra de 1999/2000 (FAO, 2001 a), o que representa na economia mundial cerca de US\$ 8,2 bilhões (FAO, 2001 b).

A produção nacional concentra-se nos Estados da região Sul e o cultivo é feito principalmente sob a forma irrigada (COELHO et al., 1999) ou em sequeiros (ARAÚJO et al., 2003).

Do valor total produzido, entre arroz sequeiro e irrigado, o Brasil participa com aproximadamente 1,9 % (EMBRAPA, 2005).

Ascheri (2000) relata que, aproximadamente 20 % da produção total/ano de arroz é perdida como subproduto durante o beneficiamento, o que corresponde a 2 milhões de toneladas/ano. Como principais causas destas perdas, incluem-se os sistemas de cultivo, variedade e classificação do arroz, além de ajustes e tipos de máquinas utilizadas durante o beneficiamento.

Os grãos quebrados e a quirera possuem um baixo valor de mercado, além da pouca aceitação e, uma pequena parcela deles é transformada em produtos de alto valor agregado. Entretanto, 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.

Dependendo das etapas do beneficiamento a que foi submetido, o arroz pode ser ordenado em subgrupos: integral, parboilizado, parboilizado integral e polido. Dentre eles, o presente trabalho visa a produção de macarrão utilizando o arroz na forma integral.

Arroz integral ou esbramado é obtido do arroz em casca natural ou parboilizado, onde é retirada somente a casca durante o beneficiamento, mantendo-se intacto o germe e as manchas internas e externas do grão (BRASIL, 1988).

Diferentemente, o arroz polido é o grão descascado e polido, inteiro ou quebrado que não foi submetido ao processo de parboilização. O grau de polimento do arroz expressa a maior ou menor intensidade de remoção do germe e das camadas externas e internas do grão (BRASIL, 1988). Sendo assim, a utilização do arroz integral traz mais benefícios nutricionais, quando comparado ao arroz polido, devido a sua integridade de estrutura mantida durante o beneficiamento.

2.3.1 Características do arroz

O arroz é um dos cereais que apresentam menor teor protéico, entretanto, seus grãos possuem uma proteína de melhor qualidade, a glutelina (ARAÚJO et al., 2003). Sendo assim, o aumento do teor de proteína bruta em arroz é acompanhado por um aumento na fração glutelina, ou seja, aumentos no teor de proteína são acompanhados por aumentos na qualidade nutricional do grão (SOUZA et al., 1993).

O farelo de arroz integral é um subproduto disponível no mercado brasileiro e que, pode ser utilizado nas dietas visando diminuir os custos com a produção. Porém, a presença de polissacarídeos não amiláceos no farelo de arroz integral formam, em contato com o intestino, um gel que pode influenciar na absorção de certos nutrientes como o cálcio e fósforo (SANTOS et al., 2004). Apesar do menor custo, a farinha de arroz não conta com volume de produção expressiva por não apresentar aplicação competitiva em relação ao trigo. Entretanto, suas características especiais deveriam ser mais bem exploradas. Por exemplo, não é alergênico, existem variedades com ampla faixa de teor de amilose, 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 amidos facilmente digeríveis (NABESHIMA e EL-DASH, 2004).

O arroz é basicamente um produto amiláceo, sendo o amido o maior constituinte do arroz beneficiado, podendo chegar até a 90 % de seu peso seco. Para Sgarbieri (1996), o amido é constituído por duas formas poliméricas de glicose, uma fração de amilose com ligações α 1-4, essencialmente linear, e outra fração denominada amilopectina com ligações α 1-4 e com pontos de ramificações de ligações α 1-6. O conteúdo de amilose pode variar de 7 a 33 % em relação ao conteúdo de amido, porém o componente majoritário é formado de amilopectina. A proporção de amilose e amilopectina determinam muitas das propriedades do arroz cozido (CARVALHO, 2000; JULIANO et al., 1994).

Para Juliano (1985), a amilopectina é a maior fração no amido do arroz, sendo que no arroz ceroso o conteúdo de amilose varia de 1 a 2 % apenas. O conteúdo de amilose no arroz não ceroso é classificado como baixo (10 a 20 %), intermediário (20 a 25 %) e alto (25 a 33 %), sendo a razão amilose: amilopectina um fator determinante na qualidade do cozimento do arroz.

Segundo Dziezak (1991), a proporção de amilose: amilopectina no grão determina a textura do arroz quando cozido. Altos teores de amilopectina elevam a capacidade de retenção de água do grânulo do amido, reduzindo desta forma a temperatura de gelatinização, o que torna o produto mais úmido, macio e pegajoso, quando cozido.

Al-Bayate e Lorenz (1975) verificaram que as variedades de arroz com maiores conteúdos de amilose apresentaram normalmente um maior aumento na viscosidade de pasta resfriada a 50 °C. Houve uma correlação altamente significativa entre amilose e os valores de solubilidade do amido de todas as variedades de arroz pesquisadas.

Maia (2000) menciona que, a temperatura de gelatinização e a viscosidade máxima, foram independentes do conteúdo de amilose e de proteína das diferentes variedades de arroz estudadas. Por outro lado, o decréscimo da viscosidade a 95 °C foi negativamente correlacionado com o conteúdo de proteína e, positivamente correlacionado com o conteúdo de amilose.

2.3.2 Valor nutritivo do arroz

O arroz branco (polido) é um alimento fornecedor de calorias, tendo a seguinte composição química, aproximadamente: 80 % de carboidratos; 8 % de proteínas; 0,69 % de lipídios; 13,6 % de umidade; 0,41 % de cinzas; 0,36 % de fibra bruta e 0,25 % por outros componentes (ENSMINGER et al., 1994).

A composição química dos produtos da moagem é muito diversificada, dependendo não somente da variedade do arroz, condições de cultivo e, como também, do tipo de moagem e do seu grau de polimento. O arroz polido é principalmente uma fonte de calorias e seu aporte à dieta protéica é importante, considerando que este cereal é o alimento básico da dieta humana (GÓMEZ, 1997).

Fonseca et al. (1985) descreve que, a qualidade protéica do arroz, com base no balanço adequado dos aminoácidos essenciais corresponde a : lisina 2,10g; treonina 2,38g; valina 3,09g; metionina 1,47g; isoleucina 1,94g; fenilalanina 3,42g e triptofano 1,59g, verificando sua superioridade em relação ao trigo que, contém pequenas quantidades de aminoácidos essenciais como a treonina, metionina e lisina.

Segundo Sgarbieri (1996), em relação às vitaminas, destacam-se as do complexo B: tiamina, riboflavina, niacina, ácido pantotênico, ácido fólico e biotina.

O arroz é uma fonte importante de vitaminas e minerais, contendo apenas traços de gordura. Além disso, é um alimento com baixo teor de sódio, não alérgico e isento de glúten (DZIEZAK, 1991).

Do ponto de vista nutritivo, os grãos integrais não polidos são melhores por terem os teores de vitaminas e minerais mais elevados.

O grão de arroz é formado de: pericarpo (primeira camada depois da casca), com função de proteger o grão, sendo constituído de celulose, hemicelulose e proteína; tegumento, onde se encontra a matéria graxa, hemicelulose e celulose; embrião, estrutura reprodutiva, rica também em proteína e gordura; e finalmente o endosperma amiláceo que compreende a maior porção do grão, rico em amido (JULIANO & BOULTER, 1985).

Vianna (1985), afirma que o arroz integral contém maior parte de pericarpo, tegumento, aleurona e embrião; enquanto que o arroz branco polido, é constituído, na maior parte pelo endosperma amiláceo, explicando-se assim as vantagens nutricionais do arroz integral.

De acordo com a tabela abaixo, observa-se que o arroz integral possui maiores teores de vitaminas, tais como a tiamina (B1); minerais como o cálcio, fósforo e potássio; gorduras; fibras e proteínas, sendo então sua utilização na produção de massas, mais vantajosa nutricionalmente, quando comparada com o arroz polido.

Tabela 1. Composição do grão de arroz (em 100 g)

Componente	Integral	Polido
Água (%)	12,0	12,0
Proteína (%)	7,5	6,7
Gordura (%)	1,9	0,4
Carboidrato (g)	77,4	80,4
Fibra (g)	0,9	0,3
Cinza (%)	1,2	0,5
Cálcio (mg)	32,0	24,0
Fósforo (mg)	221,0	94,0
Potássio (mg)	214,0	92,0
Tiamina (mg)	0,34	0,07
Riboflavina (mg)	0,05	0,03
Niacina (mg)	4,7	1,6

Fonte: Castro et al., (1999).

Durante o beneficiamento do arroz, a tiamina (vitamina B1) e outros componentes solúveis em água, que estavam no gérmen e nas camadas mais externas, difundem-se através do grão.

Sendo assim, o arroz integral, contém fibras e vitaminas em proporções maiores que o polido, possuindo maior quantidade de gordura, sendo esta, benéfica à saúde (FANUT, 2005).

2.4 Milho (*Zea mays* L.)

O milho é uma planta herbácea da família das gramíneas, utilizado tanto para a alimentação humana, quanto na alimentação animal. O consumo do milho em países com predomínio de grupos de baixa renda está relacionado também a fatores econômicos, provavelmente devido às facilidades de plantio, armazenamento, transporte e produtividade a baixo custo (PEREIRA et al., 1998).

O milho é um alimento essencialmente energético, uma vez que seus grãos são constituídos principalmente de carboidratos. A porção amilácea do grão (endosperma) é constituída de amido e apenas traços de minerais e gordura. Já o tegumento e a ponta são constituídos de apenas carboidratos, embora apresentem menos amido e cerca de 15 % de fibra bruta. Logo abaixo do tegumento, há cerca de 22 % de proteína bruta. No gérmen, podemos encontrar até 35 % de gordura (SBRT, 2007)

Sabe-se, no entanto, que alimentos de origem vegetal apresentam limitações quanto ao seu valor nutricional, principalmente relacionado às proteínas. O milho, apesar de ter um percentual de proteínas relativamente elevado (cerca de 10 % do grão), possui baixa qualidade protéica, pois a zeína, proteína que representa a maior fração das proteínas no grão (50 a 60 %) contém teores reduzidos de lisina e triptofano, enquanto que a fração glutelina (em menor proporção) detém maior quantidade destes aminoácidos (PEREIRA et al., 1998). Sendo assim, confere um valor biológico de 50 % à sua proteína, em relação a uma proteína de referência (NAVES et al., 2004).

2.4.1 Composição química do milho

Ainda são escassas as informações publicadas sobre a composição química do milho brasileiro, baseada em um número representativo de amostras. A tabela abaixo publicada pela Embrapa Suínos e Aves, na década de 90, ainda é a fonte de dados com maior detalhamento

nas informações. Nota-se a grande variação nos resultados encontrados, possivelmente devido a alguns fatores ambientais, diferenças entre cultivares, fatores genéticos, dentre outros.

Tabela 2. Médias de composição química e valor energético do milho analisado no Laboratório de Análises Físico Químicas da Embrapa Suínos e Aves no período de 1979 a 1997. Valores expressos em base natural (continua)

Parâmetro	N (amostras)	Média	Mediana	Moda	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	Erro Padrão
Proteína bruta, %	637	8.49	8.39	8.34	6.43	10.99	0.81	0.03
Extrato etéreo, %	356	3.67	3.66	3.49	1.41	6.09	0.87	0.05
Cinza, %	305	1.15	1.16	1.04	0.24	2.00	0.31	0.02
Fibra bruta, %	362	2.25	2.15	2.13	1.10	3.48	0.43	0.02
Ca, %	273	0.04	0.03	0.05	0.01	1.05	0.08	0.00
P, %	281	0.26	0.25	0.23	0.11	0.88	0.07	0.00
Mg, %	23	0.10	0.10	0.10	0.08	0.12	0.01	0.00
K, %	10	0.35	0.35	0.30	0.30	0.41	0.03	0.01
Na, %	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cu, mg/kg	47	4.65	3.66	1.73	0.91	19.39	3.72	0.54
Fe, mg/kg	43	58.67	48.51	34.30	22.48	182.30	32.19	4.91
Mn, mg/kg	44	7.34	6.93	1.10	1.10	20.00	3.27	0.49
Zn, mg/kg	47	27.39	21.75	21.45	13.93	151.88	20.21	2.95
F, mg/kg	1	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	-	-
Alanina, %	95	0.63	0.61	0.55	0.48	0.78	0.08	0.01
Arginina, %	92	0.37	0.36	0.31	0.27	0.55	0.07	0.01
Cistina, %	75	0.28	0.27	0.26	0.18	0.37	0.04	0.01
Fenilalanina, %	90	0.40	0.38	0.34	0.24	0.56	0.07	0.01
Fenilalanina + tirosina, %	92	0.66	0.65	0.68	0.40	0.96	0.13	0.01
Glicina, %	88	0.32	0.31	0.31	0.25	0.40	0.03	0.00
Glicina + serina, %	93	0.71	0.72	0.76	0.57	0.85	0.07	0.01
Histidina, %	88	0.24	0.24	0.24	0.18	0.40	0.05	0.01
Isoleucina, %	93	0.28	0.27	0.26	0.17	0.37	0.05	0.01
Leucina, %	93	1.00	1.00	1.20	0.72	1.32	0.15	0.02

Tabela 2. Continuação

Lisina, %	95	0.24	0.24	0.24	0.19	0.31	0.03	0.00
Metionina, %	74	0.21	0.20	0.18	0.14	0.27	0.04	0.00
Metionina + cistina, %	75	0.48	0.48	0.45	0.32	0.62	0.08	0.01
Prolina, %	93	0.81	0.78	0.70	0.54	1.13	0.13	0.01
Serina, %	92	0.39	0.39	0.38	0.30	0.48	0.04	0.00
Tirosina, %	91	0.27	0.26	0.20	0.16	0.43	0.07	0.01
Treonina, %	92	0.27	0.27	0.30	0.22	0.33	0.03	0.00
Triptofano, %	119	0.05	0.06	0.03	0.02	0.14	0.02	0.00
Valina, %	92	0.37	0.36	0.36	0.23	0.49	0.07	0.01
Energia bruta (Kcal)	347	3944	3950	3950	3430	4427	113	6

Fonte: Lima (2007).

2.4.2 A produção e utilização do milho

Os maiores produtores de milho são os Estados Unidos, China e Brasil, que, em 2005, produziram: 280,2; 131,1 e 35,9 milhões de toneladas, respectivamente. Na cadeia produtiva de suínos e aves, são consumidos aproximadamente 80 % do milho produzido no Brasil, sendo que apenas 5 % são destinados ao consumo humano (DUARTE et al., 2007).

2.5 Fibra Alimentar

Segundo recomendações adaptadas à população brasileira, adultos devem consumir pelo menos 20 g/dia, correspondendo a ingestão mínima de 8 a 10 g de fibras/1000 Kcal (INAN, 1995). De acordo com Ferreira (1999), estes níveis podem ser alcançados pela ingestão diária de porções de extrusados, pois na sua maioria são boas fontes de fibra alimentar.

Ferreira (1999) aponta que a solubilização da fibra alimentar é observada em condições severas de extrusão (alta temperatura, alta velocidade do parafuso e baixo teor de umidade), porém em condições brandas ou moderadamente severas de processamento, não há mudanças no teor de fibra total de forma significativa.

Em condições mais severas de extrusão o conteúdo da fibra tende a aumentar, principalmente devido à fração amido-resistente (CHAMP, 1994).

2.6 Produção do Macarrão de Arroz

O processo convencional de produção de macarrão de arroz envolve as seguintes etapas: embebição do arroz em grão durante várias horas, cozimento da massa formada em vapor, amassamento, extrusão e cozimento do produto obtido em vapor ou água em ebulição. Esta última etapa visa promover a gelatinização superficial do amido e melhorar a textura do macarrão (ORMENESE, 2003).

Existem no mercado, algumas marcas de macarrão de arroz. Dentre elas, podemos avaliar, segundo a Tabela 3, o valor nutricional em 100 g de macarrão produzido com farinha de arroz e ovos.

Tabela 3. Informação nutricional em 100 g de macarrão de arroz

Valor energético (Kcal)	358,0
Proteínas (g)	7,3
Carboidratos (g)	82,0
Gorduras totais (g)	0,1
Fibras totais (g)	1,1
Sódio (mg)	19,4

Fonte: Beiker (2005).

2.7 Extrusão

A elaboração de produtos por meio do processo de extrusão tem crescido notavelmente nos últimos anos (FERNANDES et al., 2002). Em geral, o processo de extrusão é um procedimento rápido e oferece as possibilidades de modificar estruturas do amido e proteínas, tais como: gelatinização e fragmentação do amido, desnaturação das proteínas e interações entre seus produtos (HORVATH et al., 1989).

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 (FELLOWS, 2006). Porém, tanto os alimentos extrusados pelo calor ou pelo frio se conservam principalmente devido sua baixa atividade de água (FELLOWS, 2006).

A extrusão é uma operação unitária que ganha vantagens, dentre elas:

- *Versatilidade:* Trocando apenas poucos ingredientes e suas proporções podemos obter uma grande variedade de produtos. O processo é extremamente flexível e dificilmente poderíamos obter produtos extrusados por outros métodos.
- *Menores gastos:* A extrusão é um processo barato e produtivo comparado a outros processos que utilizam calor. Afirma-se que, a extrusão de cereais matinais comparados com o processo tradicional de elaboração, utiliza 19 % da matéria-prima, 40 % da mão-de-obra e 44 % com gastos de instalação.
- *Processo automático com grande capacidade de produção:* É capaz de produzir 315 Kg/hora de snacks, 1.200 Kg de cereais de baixa densidade e 9.000 Kg para rações animais (FELLOWS, 2006).

Os fatores ligados à matéria-prima tais como teor de umidade, proporção de amilose e amilopectina (FAUBION e HOSENEY, 1982), conteúdo de proteína, lipídios e fibra, fontes de amido utilizadas, exercem grande influência no produto acabado (ASCHERI et al., 1995). Porém, na extrusão, parâmetros como temperatura, umidade, rotação do parafuso, velocidade de alimentação, diâmetros da matriz, tempo e temperatura de secagem, entre outros fatores são aspectos importantes que devem ser monitorados cuidadosamente para se obter produtos de alta qualidade (ASCHERI, 2006).

2.7.1 Descrição do processo de extrusão termoplástica

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, localizado horizontalmente ou verticalmente. Para permitir um 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).

O extrusor é constituído por um ou dois parafusos ou roscas, que podem ser mono ou dupla rosca, giratórios, firmemente encaixados dentro de um cilindro para alimentar, coccionar e pressionar o material. 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 4.

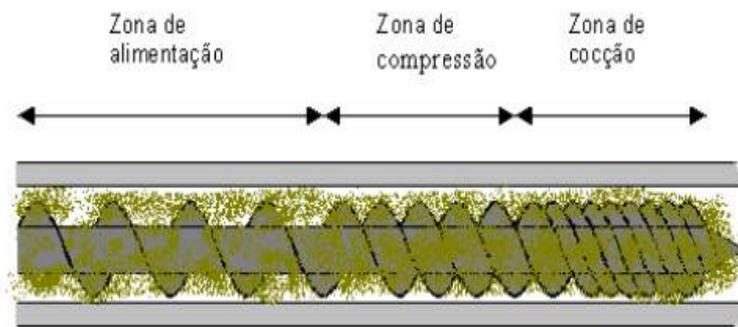


Figura 4. Zonas de alimentação, compressão e cocção

Na Figura 5 estão caracterizados os tipos de roscas (mono e duplas).

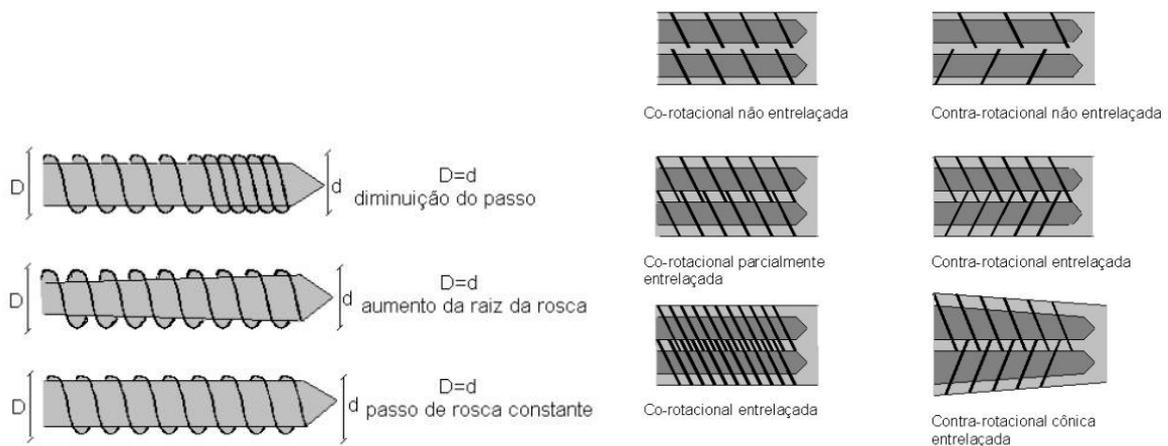


Figura 5. Exemplos de roscas (parafusos) inseridos no interior do extrusor, responsáveis pela taxa de cisalhamento

Na Figura 6, está esquematizado um exemplo simples de extrusor.

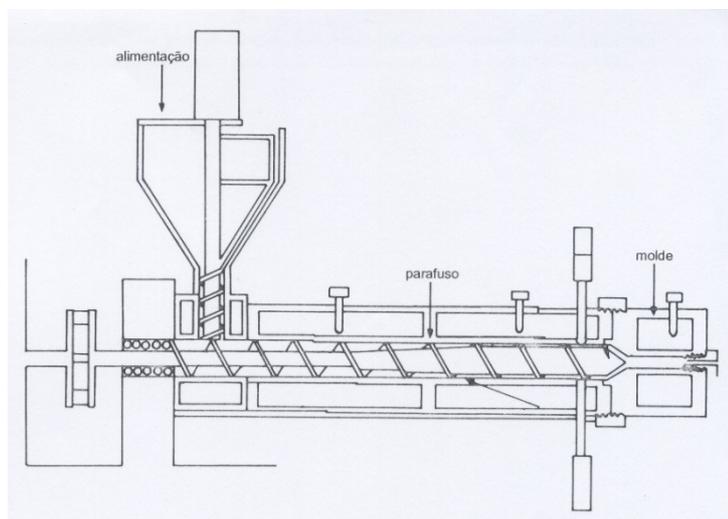


Figura 6. Esquema simplificado de um extrusor mono-rosca (BARUFFALDI e OLIVEIRA, 1998)

Ao girar, o parafuso conduz o material em direção à matriz, revirando e pressionando-o contra as paredes do cilindro, promovendo o cisalhamento e transformação em uma massa uniforme. O alimento absorve calor por dissipação de energia mecânica aplicada ao parafuso. O calor pode ser adicionado também através de uma camisa de vapor ao redor do cilindro ou por aquecimento elétrico.

O cilindro de um extrusor pode ser constituído de seções, afim de que a desmontagem seja facilitada, ou de uma única peça. O controle da temperatura em cada uma das zonas do extrusor pode ser feito por meio de serpentinas de ar comprimido ou camisas de água fria. Muitos cilindros são equipados com sensores de pressão e temperatura para controle do processo.

O final do cilindro é equipado com um sistema de peças que, geralmente possui vários orifícios, conhecida como matriz, cuja função é de moldar o produto no formato desejado e trabalhar como um redutor de fluxo, aumentando a pressão na zona de cozimento do extrusor. Devido ao papel crítico de sua geometria na determinação do formato e características do extrusado, inúmeras matrizes têm sido desenvolvidas (BORGES, 2002).

Conforme sugere El-Dash (1981), um mecanismo para cortar o produto extrusado pode ser instalado logo após a matriz. O motor do cortador deve ser de velocidade variável para permitir a obtenção de extrusados de comprimento uniforme. O tempo de residência do alimento no extrusor é função do desenho do parafuso e de sua velocidade de rotação, sendo que a duração é de poucos segundos e a temperatura de descarga pode exceder a 200 °C. A ebulição ou vaporização da umidade não ocorre, dentro do extrusor, mesmo a altas temperaturas, pois a pressão é bastante alta; 40-60 atm (atmosferas), sendo liberada quando o produto passa através da matriz. A rápida liberação da pressão causa a evaporação instantânea da água superaquecida, ocorrendo a expansão do produto. A rápida perda de umidade após a matriz resulta em um resfriamento do produto a uma temperatura próxima de 80 °C em questão de segundos, ocorrendo simultaneamente a sua solidificação (MOURA, 2000).

2.8 Configuração do Extrusor

O critério mais importante para extrusar uma grande variedade de matérias-primas é a seleção apropriada da configuração do extrusor. Alguns itens são importantes para avaliar o tipo de configuração. São eles: o pré-condicionamento, configuração dos parafusos, velocidade dos parafusos, temperatura do cilindro, adição de água, configuração da matriz e secagem (ASCHERI, 2006).

2.8.1 Pré-condicionamento

Pré-condicionamento pode ser definido como um requerimento do processo que permite a adição de um material em determinada condição (ASCHERI, 2006). 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 até 50 % do total de água de condicionamento; o qual depende da quantidade de material amiláceo da formulação, desde que se considere que uma excessiva quantidade de vapor pode provocar pré-gelatinização e gomosidade no material.

2.8.2 Configuração do(s) parafuso(s)

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

2.8.3 Velocidade do(s) parafuso(s)

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 de uma maior velocidade, o tempo de resistência diminui devendo-se observar os níveis ótimos destes parâmetros a fim de se conseguir qualidade no produto final.

2.8.4 Temperatura do cilindro

O excesso de calor junto a outros fatores degrada a matéria-prima a compostos de menor peso molecular, esse composto inclui 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 conseqüentemente do produto final.

2.8.5 Configuração da matriz

A configuração e desenho da matriz são fundamentais na qualidade do produto final (ASCHERI, 2006). 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 foi maior quanto menor é o número e diâmetros de abertura da matriz.

2.8.6 Secagem

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.

2.9 Propriedades Funcionais e Parâmetros de Produtos Extrusados

Segundo Hidalgo (1977); Borderias e Montero (1988), a 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 protéica. 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.

2.9.1 Índice de absorção de água (IAA)

O Índice de Absorção de Água (IAA) indica a quantidade de água absorvida pelos grânulos de amidos de uma determinada amostra submetida a um tratamento térmico (ANDERSON et al., 1969). Correlaciona-se com a viscosidade de pasta a frio, pois apenas os grânulos de amido danificados absorvem água à temperatura ambiente, resultando no aumento da viscosidade. Após atingir um máximo, com relação ao grau de amido danificado, o IAA diminui com o início da dextrinização (ASCHERI, 1997).

A proteína de arroz por ter ligações dissulfídicas e algumas interações não covalentes entre cadeias polipeptídicas mostra uma baixa solubilidade, sendo que esta solubilidade não é afetada pelo processo de extrusão. Produtos extrusados produzidos com farinha de arroz fortificada com isolado protéico de soja apresentaram uma ligeira diminuição na capacidade de absorção de água, quando comparados com aqueles extrusados apenas à base de farinha de arroz (NOGUCHI et al, 1981).

2.9.2 Índice de solubilidade em água (ISA)

O Índice de Solubilidade em Água (ISA) indica a intensidade do tratamento térmico e conseqüente desramificação da estrutura amilácea (ANDERSON et al., 1969). Expressa a porcentagem da matéria-prima seca recuperada após evaporação do sobrenadante da determinação de absorção de água e está relacionado com a quantidade de moléculas solúveis na amostra seca e mede a dextrinização (ASCHERI, 1997).

Ascheri (1997) afirma que o ISA está relacionado com a quantidade de moléculas solúveis no produto extrusado, servindo desta forma, para medir o grau de dextrinização durante o processo de extrusão.

Chinnaswamy e Hanna (1988) constataram que, a solubilidade em água diminuiu com o aumento no conteúdo de umidade, quando o amido de milho contendo 25 % de amilose é extrusado a diferentes umidades (10-30 °C) e temperaturas (110-200 °C). O aumento no conteúdo de umidade favorece a um aumento na viscosidade de pasta do amido extrusado.

Mercier e Feillet (1975) estudaram a influência dos diferentes parâmetros envolvidos no processo de extrusão termoplástica (temperatura, conteúdo de umidade e amilose) de diferentes cereais tais como: milho com diferentes conteúdos de amilose, trigo e arroz, e constataram que sob temperaturas de 170 e 200 °C ocorre solubilização do amido e maltodextrina. Sob estas condições, o amido de milho ceroso (rico em amilopectina) apresentou maior solubilidade, seguido do milho normal, trigo e arroz. A quantidade de amido solúvel aumentou com o aumento da temperatura de extrusão e com a redução do conteúdo de umidade do produto antes da extrusão. Porém, inversamente, diminuiu com o aumento do conteúdo de amilose do amido.

2.9.3 O amido

O conteúdo de amilose e amilopectina afeta grandemente as propriedades funcionais do amido. A amilopectina é o maior componente de muitos amidos e sua estrutura tem um papel importante nas características do amido. A amilopectina apresenta cadeia ramificada que está relacionada com a estrutura cristalina do amido. As cadeias ramificadas afetam a gelatinização, retrogradação e propriedades funcionais da pasta de amido (JANE et al., 1999; JANE & CHEN, 1992).

O amido nativo não absorve água à temperatura ambiente, entretanto o amido extrusado absorve água rapidamente, formando uma pasta à temperatura ambiente, a qual é formada por macromoléculas solubilizadas, incluindo partículas intumescidas por água. Sendo assim, há uma relação indireta entre a umidade de processamento e grau de degradação e/ou conversão do material extrusado (MERCIER e FEILLET, 1975; EL-DASH et al., 1983; GOMEZ e AGUILERA, 1983).

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 de extrusão do amido (CARVALHO et al., 2002).

2.9.4 Viscosidade de pasta

A viscosidade inicial a 25 °C, também chamada de viscosidade de pasta a frio, indica a capacidade das farinhas de absorver água a temperatura ambiente e formar uma pasta, gel ou líquido viscoso, sendo expressa em Unidades Amilográficas (UA), em Unidades Brabender (UB), unidades RVA ou ainda em cP (centipoise), quando é utilizado o Rapid Visco Analyzer.

A viscosidade de pasta a 95 °C é um parâmetro que mede a resistência do grânulo de amido ao colapso resultante da ação da temperatura e do atrito mecânico no viscoamilógrafo (CARVALHO et al., 2002).

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

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

El-Dash et al. (1983) verificou que, extrusados com menor teor de amilose sob alta temperatura resulta em um extrusado caracterizado pelo menor grau de retrogradação, enquanto amido extrusado com um moderado aumento no teor de umidade (19-26 %), extrusado a uma temperatura moderada (125-190 °C), produziram um extrusado com alto grau de retrogradação, implicando em um aumento na viscosidade final.

Levine (1983) verificou que a uma rotação e umidade constante, um aumento na temperatura reduz a viscosidade. A viscosidade da pasta de farinha de arroz é também afetada pela extensão da gelatinização. A uma baixa temperatura e/ou curto tempo de residência no extrusor, a gelatinização é incompleta e apresenta baixa viscosidade. O início da gelatinização com aumento da temperatura de extrusão aumenta a viscosidade aparente. Depois de completa a gelatinização, a viscosidade aparente reduz com o aumento da temperatura.

Chinnaswamy et al., (1985) avaliaram as propriedades reológicas do arroz expandido e do floco de arroz, preparados com arroz parboilizado e constataram que, o comportamento do arroz e de seus produtos refletiu largamente o comportamento de seu amido. Estes produtos que durante o processamento sofreram um alto grau de tratamento térmico e/ou mecânico, mostraram um alto grau de gelatinização, indicando propriedades semelhantes àquelas do amido pré-gelatinizado. O arroz expandido e o floco de arroz tiveram alta capacidade de absorção de água e boas propriedades de intumescimento a frio. Sob condições de umidade adequada, estes produtos sofreram retrogradação e apresentaram hidratação e viscosidade reduzidas.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Testes Preliminares

Foram realizados testes preliminares de qualidade (ANEXO A) a fim de determinar quais matérias-primas obteriam melhores comportamentos durante a produção, assim como em quais proporções, insumos a serem acrescentados e parâmetros de extrusão a serem utilizados na elaboração de massas pré-cozidas. Sendo assim, foram elaboradas massas utilizando as seguintes farinhas e misturas: arroz integral (100 %); arroz integral, arroz branco e soja (55:30:15); arroz integral, arroz branco e milho (55:30:15); arroz integral e milho (70:30). Às misturas foram adicionados 1,5 % de emulsificante extraído do arroz da marca *Nu-Rice* (Ribus, Inc., St. Louis, MO, USA) seguindo as indicações do rótulo e sal refinado ITA (2,0 %). Para a extrusão dos materiais foram utilizados os seguintes parâmetros baseados em leituras de trabalhos na área e seguindo a indicação do pesquisador responsável pelo estudo: parafuso com taxa de compressão 2:1, temperatura na zona 3 de 90° C, rotação do parafuso de 100 rpm e umidade inicial de 35 % em todas as misturas. O processo de extrusão e secagem das amostras seguiu a metodologia descrita no item 3.8.

Todas as massas pré-cozidas foram submetidas ao teste de qualidade de cozimento de acordo com a técnica modificada de Ciacco e Chang (1986) e Leitão et al. (1990), de acordo com o item 3.11.

Baseado nos resultados obtidos no teste de qualidade das massas pré-cozidas pôde-se concluir que, a mistura contendo farinha de arroz integral e farinha de milho apresentou melhor comportamento durante a extrusão e o cozimento. Sendo assim, estabeleceu-se o ponto central a ser utilizado na produção de massas e assim, a construção do delineamento experimental.

3.2 Matéria – Prima

Foi obtida farinha de arroz integral a partir da moagem de grãos de arroz integrais não parboilizados, cedidos pela empresa Josapar (“Arroz Tio João”), localizada em Pelotas, Rio Grande do Sul.

Foi obtida farinha de milho, a partir da moagem de grits, obtido no comércio da cidade do Rio de Janeiro.

De acordo com os testes preliminares, determinou-se a quantidade de sal e emulsificante a serem adicionados às misturas. Os macarrões foram formulados com: 2,0 % de sal refinado (ITA) e 1,5 % de emulsificante (monoglicerídeo *Nu-Rice* - Ribus, Inc., St. Louis, MO, USA), em cada tratamento.

3.3 Equipamentos

Nas determinações analíticas, químicas e físicas, além das vidrarias, aparelhos e utensílios indispensáveis a um laboratório, foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Agitador de peneiras RO-TAP modelo RX-29-10, equipado com um conjunto de 7 peneiras arredondadas e vibratórias, com malhas de 850 μ m a 75 μ m;
- Estufa com circulação de ar da marca Fabbe-Primar;
- Centrífuga, marca Hermle modelo Z383;
- Banho-maria marca Eberbach, Shaker Bath, cat n. 6250;
- Moinho granulador de facas e martelos, TREU, 7,5 cv., com peneira de 1 mm;
- Moinho de discos marca Laboratory Mill 3600;
- Moinho de discos marca Perten, tipo 3.600, Hz 60, W 750, RPM 1680;
- Batedeira industrial SIAM-UTIL S/A 10 kg;
- Balança eletrônica Mettler Toledo, modelo SB 12001;
- Balança analítica marca Mettler Toledo, AG 204;
- Cromatógrafo líquido de alta eficiência (CLAE) modelo Alliance, marca Waters 2695 com detector de fluorescência da marca Waters 2475.
- Espectrofotômetro de emissão de plasma ICP Spectroflama flame;
- Extrusor Brabender rosca simples, modelo DSE 20DN, acoplado ao torque DSE 330, equipado com resistências elétricas nas três zonas ao longo do cilindro, sistema de alimentação e velocidade de rosca controlada em rpm (Duisburg, Alemanha);
- Agitador tipo vortex marca Genie 2 Scientific Industries;
- Viscoanalisador rápido (RVA) marca Newport Scientific Pty. Ltd., Warriewood, Austrália;
- Texturômetro TA-XT2, Stable Micro Systems Ltd., Surrey, England.

3.4 Delineamento Experimental

Nas Tabelas 4 e 5 são apresentados os delineamentos experimentais para o estudo dos efeitos de alguns parâmetros de extrusão, definidos através dos testes preliminares (item 3.1), na produção de macarrão de arroz integral e milho.

Foram consideradas as variáveis, temperatura ($^{\circ}$ C), umidade de processamento (%) e farinha de milho (%). Para analisar o efeito combinado dessas variáveis nas características tecnológicas dos extrusados, estabeleceu-se um delineamento do tipo central composto rotacional de 2^a ordem (BOX, HUNTER e HUNTER, 1978). O modelo matemático utilizado foi de superfície de resposta com objetivo de representar graficamente os resultados obtidos das análises estatísticas. Os parâmetros do processo estabelecidos como variáveis independentes foram estudados em três níveis codificados em (-1, 0, +1) calculados de acordo com a equação 1:

$$xi = Xi - Z/\Delta xi \text{ (equação 1)}$$

onde:

xi = valor codificado da variável Xi;

Xi = valor real da variável;

Z = valor real da variável no ponto central;

Δ Xi = valor do intervalo de variação do xi.

Esse delineamento apresenta também dois níveis de variáveis axiais que são codificados como $(-\alpha)$ e $(+\alpha)$. O valor depende do número fatorial ($F = 2^k$) do delineamento e do número de variáveis independentes ($K = 3$) sendo o valor definido pela equação 2:

$$\alpha = (F)^{1/4} = (2^k)^{1/4} = 1,682 \text{ (equação 2)}$$

A escolha do número de ensaios em um experimento central composto baseado em um experimento fatorial completo é $n = 2^k + 2k + m$, onde:

2^k – número de pontos fatoriais

$2k$ – número de pontos axiais (de estrela)

m – número de replicações do ponto central

Os valores máximos e mínimos de cada variável independente foram estabelecidos dentro das possibilidades operacionais do processo de extrusão e com base nos diversos ensaios preliminares. Para a análise de resultados experimentais, a metodologia descreve o comportamento de um sistema no qual estão combinadas as variáveis independentes (X_k) e a variável dependente ou resposta (Y_i). A resposta é uma função dos níveis nos quais estes fatores foram combinados e definidos como segue por Box e Draper (1967) na equação 3:

$$Y_i = F(X_1, X_2, \dots, X_k) \text{ (equação 3)}$$

Por meio de uma análise de regressão, pode ser ajustado para cada resposta (Y) um polinômio de segunda ordem como as variáveis explicativas (X_k). A expressão geral utilizada para prever o comportamento de cada resposta avaliada pode ser escrita da seguinte forma:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{33} X_3^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \epsilon \text{ (equação 4)}$$

onde:

Y_i = função resposta;

X_1, X_2, X_3 = valores das variáveis independentes;

β_0 = coeficiente relativo à interpretação do plano com o eixo resposta;

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$ = coeficientes lineares estimados pelo método dos mínimos quadrados;

$\beta_{11}, \beta_{22}, \beta_{33}$ = coeficientes das variáveis quadráticas;

$\beta_{12}, \beta_{13}, \beta_{23}$ = coeficientes de interação entre as variáveis independentes;

E = erro experimental.

Tanto os níveis codificados (-1, 0, +1) quanto os axiais ($-\alpha$, $+\alpha$) e os fatores têm seus valores reais apresentados na Tabela 3 e delineamento completo na Tabela 4.

Tabela 4. Níveis das variáveis independentes a serem estudadas no processo de extrusão

Variáveis	Níveis				
	$-\alpha=1,682$	-1	0	+1	$+\alpha=1,682$
X ₁	63,18	70	80	90	96,82
X ₂	26,59	30	35	40	43,41
X ₃	13,18	20	30	40	46,82

X₁= Temperatura (°C)

X₂= Umidade de processamento (%)

X₃= Farinha de milho (%)

Tabela 5. Delineamento completo do desenho experimental

Experimento	Níveis codificados das variáveis			Níveis decodificados das variáveis		
	x_1	x_2	x_3	X_1	X_2	X_3
01	-1	-1	-1	70	30	20
02	1	-1	-1	90	30	20
03	-1	1	-1	70	40	20
04	1	1	-1	90	40	20
05	-1	-1	1	70	30	40
06	1	-1	1	90	30	40
07	-1	1	1	70	40	40
08	1	1	1	90	40	40
09	0	0	0	80	35	30
10	0	0	0	80	35	30
11	0	0	0	80	35	30
12	0	0	0	80	35	30
13	0	0	0	80	35	30
14	0	0	0	80	35	30
15	$-\alpha$	0	0	63,2	35	30
16	α	0	0	96,8	35	30
17	0	$-\alpha$	0	80	26,6	30
18	0	α	0	80	43,4	30
19	0	0	$-\alpha$	80	35	13,2
20	0	0	α	80	35	46,8

X_1 e x_1 = Temperatura ($^{\circ}$ C)

X_2 e x_2 = Umidade de processamento (%)

X_3 e x_3 = Farinha de milho (%)

3.5 Classificação Granulométrica

Para a determinação da granulometria foram peneiradas 100 g das farinhas cruas de arroz integral e milho, assim como das farinhas obtidas a partir da moagem dos macarrões pré-cozidos (melhores tratamentos), durante 10 minutos, em um conjunto de sete peneiras arredondadas, vibratórias e com aberturas nas malhas de 420; 300; 250; 180; 150; 105 e 75 µm, da marca RO-TAP modelo RX-29-10. Em seguida, as quantidades retidas em cada peneira, foram pesadas e expressas em porcentagens.

3.6 Condicionamento da Matéria-Prima

As farinhas mistas cruas foram condicionadas para os diferentes níveis de umidade conforme o delineamento experimental (Tabela 5). A porcentagem de umidade a ser adicionada foi obtida de acordo com a equação 5:

$$Y = (U_f - U_i) \times Pa / 100 - U_f \text{ (equação 5)}$$

onde:

Y= quantidade de água a ser adicionada (mL)

U_f= umidade final da amostra (%)

U_i= umidade inicial da amostra (%)

Pa= peso da amostra (g)

A umidade inicial das misturas foi determinada pesando-se 10 g de cada tratamento e colocando em estufa de circulação de ar a 130 °C durante 1 hora, segundo metodologia da AACC método 44-16 (1995). A seguir, estas amostras foram pesadas e seus valores diretamente expressos em umidade (%).

As amostras depois de condicionadas (adicionado água potável) foram homogeneizadas utilizando uma batedeira industrial com agitação durante 5 minutos, colocadas em sacos plásticos e armazenadas sob refrigeração durante tempo médio de 3 horas para se obter distribuição e absorção mais uniformes da água. Após este período, a farinha mista foi submetida ao processo de extrusão.

3.7 Processo de Extrusão

3.7.1 Condições de processo

O processo de extrusão foi realizado em um extrusor de rosca simples Brabender DSE 20DN acoplado ao torque DSE 330 (Duisburg, Alemanha).

Abaixo estão listadas as condições do processo, incluindo parâmetros considerados variáveis e parâmetros constantes durante todo o processamento.

Parâmetros variáveis:

- Umidade: 30, 35 e 40 %
- Temperatura (zona 3): 70, 80 e 90 °C

Parâmetros constantes:

- Taxa de alimentação: 2,5 Kg/h
- Rotação do parafuso: 80 rpm

Além destes, para o processo de extrusão foi utilizado um parafuso com taxa de compressão 2:1 e matriz laminar de 1 mm (Figura 7).

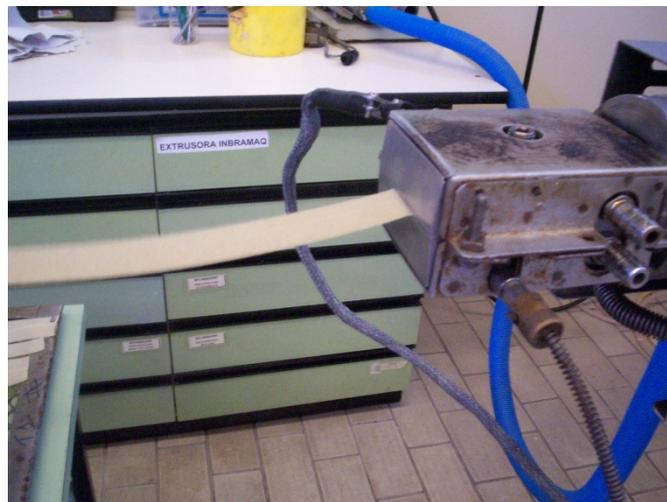


Figura 7. Massa pré-cozida sendo recolhida após passar pela matriz laminar (zona 3)

3.8 Extrusão

A extrusão das amostras foi iniciada após as zonas de alimentação, transição e alta pressão, atingirem as temperaturas desejadas de acordo com o delineamento experimental (Tabela 5). O produto extrusado foi coletado 3 minutos após o início do processamento, quando as zonas encontraram-se em equilíbrio de temperatura e o material homogêneo, isento de bolhas e grânulos na superfície.

A Figura 8 representa o extrusor termoplástico Brabender utilizado na elaboração das massas pré-cozidas.



Figura 8. Extrusor Brabender mono-roscas utilizado para a produção das massas pré-cozidas

Após a extrusão dos tratamentos, estes foram cortados em tiras de 15 a 20 cm (Figura 9), dispostos em bandejas e encaminhados para estufa com circulação de ar a 40 °C durante aproximadamente 1 hora e quinze minutos.



Figura 9. Formato das massas pré-cozidas

Testes preliminares na estufa com circulação de ar foram realizados a fim de avaliar a qualidade da massa após a secagem. Definiu-se então que, a massa mantém sua integridade se, na primeira hora de secagem, este material for encaminhado para a estufa com umidade relativa mais elevada. Sendo assim, colocou-se um recipiente contendo água potável na parte inferior do equipamento. Após uma hora, este recipiente foi retirado e as amostras mantidas dentro da estufa por mais 15 minutos até restabelecer a umidade relativa interna. Decorrido este tempo, a estufa foi desligada e o material mantido no interior até alcançar uma umidade aproximada de 12 %, segundo diversos trabalhos realizados com massas. Sendo assim, estes foram embalados em sacos plásticos, etiquetados e mantidos sob temperatura ambiente.

Para algumas análises (viscosidade de pasta, índice de solubilidade em água, índice de absorção de água, composição centesimal, perfil de aminoácidos, vitaminas, minerais), foi necessário realizar a moagem dos macarrões pré-cozidos em moinhos de disco, um com abertura de peneira equivalente a 1,0 mm, marca Laboratory Mill 3600, e outro com abertura de peneira de 0,8 mm; marca Perten 3600 (1680 rpm), obtendo-se assim a farinha dos extrusados. A Figura 10 apresenta o fluxograma de obtenção dos macarrões pré-cozidos à base de farinha de arroz integral.

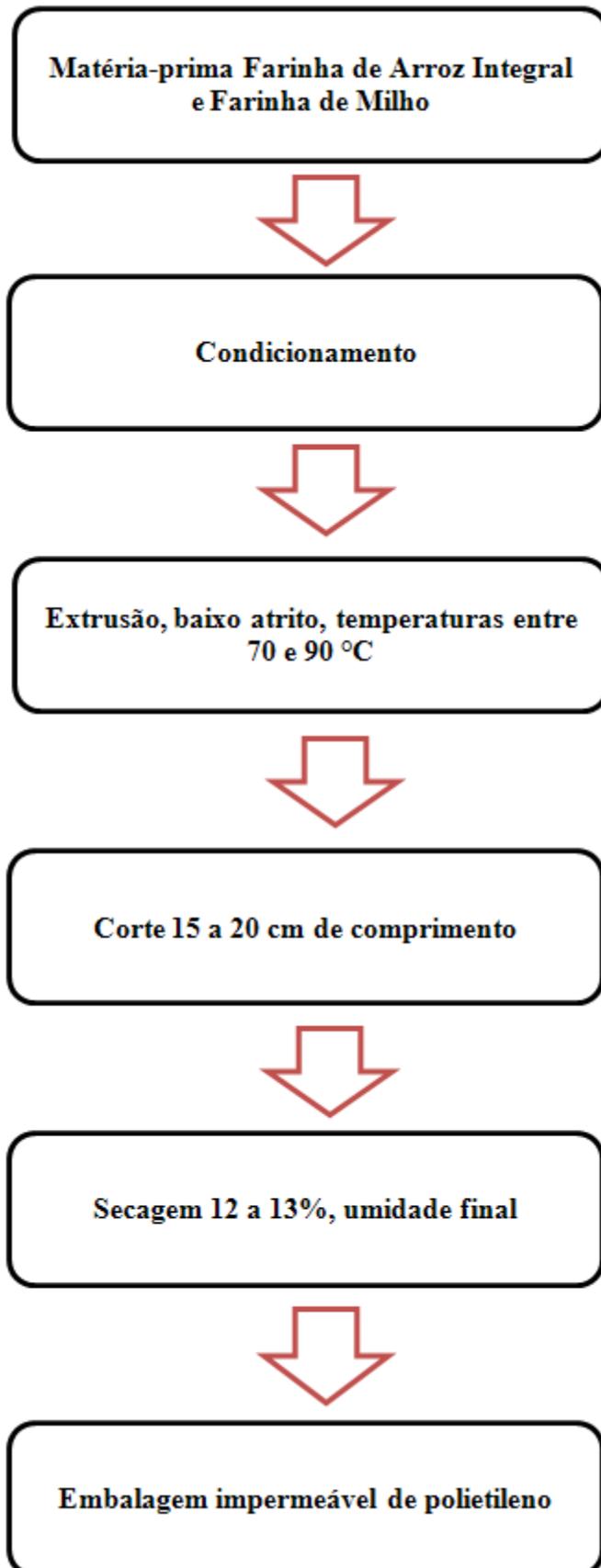


Figura 10. Fluxograma de obtenção dos macarrões pré-cozidos à base de farinha de arroz e farinha de milho

3.9 Caracterização Química das Farinhas de Arroz Integral, de Milho e Macarrões Pré-Cozidos

3.9.1 Composição centesimal

Foram realizadas análises de:

- acidez total (AOAC, 2005, método 942.15), utilizando titulador automático Metter DL70;
- umidade (AOAC, 2005, método 934.01);
- extrato etéreo (AOAC, 2005, método 945.38), utilizando éter de petróleo e extrator Soxhlet.
- nitrogênio total (AACC, 1995, método 46-13), pelo método tradicional Kjeldahl, modificado, utilizando mistura de catalisador Na_2SO_4 , CuSO_4 e Se. Como titulante foi utilizado H_2SO_4 , na concentração de 0,1N;
- cinzas (AOAC, 2005, método 923.03), com incineração em mufla;
- fibra bruta, conforme Silva e Queiroz (2005);
- determinação de amilose da farinha de arroz integral (segundo metodologia ISO 6647, 1987).

3.9.2 Composição em minerais

Foram realizadas análises para a quantificação de alumínio, cálcio, chumbo, cobalto, cobre, cromo, ferro, fósforo, magnésio, manganês, molibdênio, potássio, selênio, sódio e zinco, de acordo com os métodos da AOAC (2005), método 999.11, item 9.1.09. A quantificação dos minerais foi realizada em espectrofotômetro de emissão de plasma ICP Spectroflama flame, segundo a metodologia da AOAC (2005), método 990.08, item 9.2.39, sendo a determinação feita por espectrometria de emissão atômica, após uma digestão completa da amostra com ácido nítrico e ácido perclórico.

3.9.3 Composição em aminoácidos

Foram realizadas as determinações de asparagina, glutamina, serina, histidina, glicina, treonina, alanina, arginina, tirosina, cisteína, valina, metionina, fenilalanina, isoleucina, leucina, lisina e prolina, de acordo com a metodologia da AOAC (2005), método 994.12, sendo a quantificação dos aminoácidos realizada em cromatógrafo líquido de alta eficiência (CLAE), modelo Alliance, marca Waters 2695, com detector de fluorescência modelo Alliance, Waters 2475.

Com base nos teores de aminoácidos, foi calculado o escore dos aminoácidos essenciais (EAAE), tomando-se como referência o padrão recomendado pela FAO/WHO para crianças de 2 a 5 anos, de 10 a 12 anos e adultos (1985). O cálculo do escore e a interpretação dos resultados estão de acordo com a metodologia de Pires et al., (2006), descritos na equação 6.

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

3.9.4 Composição em vitaminas (B1 e B2)

Foi realizada quantificação das vitaminas B1 (tiamina) e B2 (riboflavina) nas farinhas cruas de arroz integral e milho, de acordo com o método European Standard EN14152 (2003), utilizando-se cromatografia líquida de alta eficiência, modelo Alliance, marca Waters 2695, com detector de fluorescência, marca Waters 2475.

3.10 Caracterização Física dos Macarrões Pré-Cozidos

3.10.1 Caracterização microscópica das amostras cruas e extrusadas

As farinhas mistas dos melhores tratamentos (T5 e T19) foram observadas em microscópio óptico com lente de aumento de 40 vezes. Estas amostras foram observadas no seu estado ainda cru (sem tratamento térmico) e pré-cozidas (após o processamento por extrusão). Além disso, uma amostra de farinha obtida a partir da moagem de macarrão comercial produzido com trigo também foi observada, com o intuito de comparar as características físicas de cada tipo de grânulo de amido. Uma alíquota de cada material foi retirada e misturada com água destilada. Após completa homogeneização, foram distribuídas em lâminas, cobertas com lamínulas e dispostas em microscópio óptico.

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

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

Para estas análises foram pesados cerca de 1 g de amostra em base seca, de cada tratamento (com granulometria inferior a 250 µm), em tubos de centrífuga previamente tarados. Assim, foi adicionado 5 mL de água destilada, homogeneizada e em seguida adicionado mais 5mL (pipeta volumétrica) e os tubos foram agitados em agitador mecânico tipo Vortex que permite a homogeneização completa das amostras. Em seguida, as amostras foram colocadas em um agitador horizontal mecânico, da marca Eberback 625 do tipo Shaker Bath, por aproximadamente 30 minutos. Logo após, os tubos foram colocados em uma centrífuga (marca Hermle modelo Z383) durante 15 minutos a 3000 rpm.

Após a centrifugação das amostras, os líquidos sobrenadantes foram colocados em placas de petri, previamente taradas e submetidas ao processo de secagem em estufa com circulação de ar durante 4 horas a 105 °C. As placas foram colocadas em dessecador por 30 minutos até temperatura ambiente e logo após, foram pesadas.

A equação para o cálculo do Índice de solubilidade em água (ISA) foi:

$$\text{ISA} = \frac{\text{Peso do resíduo evaporado (g)}}{\text{Peso da amostra (g)}} \quad (\text{equação 7})$$

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

$$\text{IAA} = \frac{\text{Peso do resíduo centrifugado (g)}}{\text{Peso da amostra (g)}} = \text{g gel/g matéria seca (equação 8)}$$

3.10.3 Viscosidade de pasta

A viscosidade de pasta foi determinada em um “Rapid Visco Analyser (RVA)”, seguindo-se a sua metodologia para materiais extrusados. De acordo com Becker et al., (2001) a diferença no tamanho de partículas entre as amostras pode ocasionar má interpretação dos resultados. Sendo assim, os autores recomendam que o material seja peneirado obtendo-se partículas entre 125 e 250 μm aproximadamente. Seguindo esta metodologia, as amostras extrusadas e secas foram moídas em moinho de disco e peneiradas em agitador de peneiras RO-TAP modelo RX-29-10, sendo que a fração retida entre as peneiras de 210 e 105 μm foi utilizada para esta análise, em duplicata, para cada tratamento.

Para a análise no RVA, 3 g de farinha extrusada com umidade corrigida para 14 % (em base úmida) foi adicionada de água destilada até peso final de 28 g (ASCHERI et al., 2006).

O perfil de análise utilizado foi “extrusion 1 no-alcohol”, caracterizado da seguinte maneira: inicialmente o sistema se manteve a 25 °C durante 2 minutos. O aquecimento deu-se logo em seguida e atingiu a temperatura máxima (95 °C) aos 7 minutos, onde permaneceu durante 3 minutos. Logo após, iniciou-se o resfriamento até a temperatura de 25 °C novamente, totalizando de 20 minutos de análise.

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

- Temperatura da viscosidade máxima: é a temperatura em °C, calculada em base do tempo de funcionamento do viscoamilógrafo, correspondente ao ponto mais alto da curva do amilograma durante o ciclo de aquecimento;
- Viscosidade inicial (ou viscosidade a frio): é o valor da viscosidade em cP (Centipoise), na temperatura de 25 °C;
- Viscosidade máxima: é o valor da viscosidade no ponto máximo da curva, obtido durante o ciclo de aquecimento, expresso em cP;
- Viscosidade final no ciclo de resfriamento (25 °C): é o valor da viscosidade em cP, ao final da análise (a 25 °C).

3.11 Qualidade dos Macarrões Pré-Cozidos à Base de Farinha de Arroz Integral e Farinha de Milho

As amostras de macarrões pré-cozidos foram submetidas ao teste de cozimento, segundo técnica modificada de Ciacco e Chang (1986) e Leitão et al. (1990), sendo caracterizadas quanto ao tempo de cozimento (min), aumento de peso (AP %), aumento de volume (AV %), sólido solúveis (SS %) e grau de acidez alcoólica (GAA).

3.12 Análise de Textura Instrumental

Os macarrões pré-cozidos que apresentaram melhores características de cor, homogeneidade, resistência ao cozimento, aparência global verificada durante e após o cozimento, absorção de água, aumento de peso e menor perda de sólidos solúveis foram submetidos ao teste de textura instrumental (tratamentos T5 e T19). O objetivo desta análise foi avaliar o parâmetro “firmeza” das massas pré-cozidas T5 e T19, comparando com estudos realizados em massas comerciais e tentando estabelecer uma correlação com a textura sensorial (realizada durante a análise sensorial).

As análises foram feitas em um texturômetro TA-XT2 (Stable Micro Systems, Surrey, England), utilizando o corpo de prova (*probe*) A/LKB-F e célula com capacidade de 5Kg.

As amostras foram cozidas, em seus tempos ótimos de cozimento, de acordo com a metodologia estabelecida pela AACC 16-50 (1983) que também define a metodologia de análise de textura para o parâmetro “firmeza”.

A operação do aparelho seguiu as seguintes condições, determinadas pela metodologia oficial (AACC,1983): modelo aplicado (máxima força em compressão); velocidade do pré-teste (0,5 mm/s); velocidade do teste (0,17 mm/s); velocidade do pós-teste (10,0 mm/s); distância (4,5 mm); *trigger type (button*, altura inicial de 5 mm). Foram realizadas cinco leituras para cada tratamento.

3.13 Avaliação Sensorial dos Macarrões Pré-Cozidos à Base de Farinha de Arroz Integral e Farinha de Milho T5 (40 % milho a 70 °C) e T19 (13,2 % de milho a 80 °C)

Os melhores tratamentos (macarrões pré-cozidos T5 e T19) foram submetidos ao teste sensorial de aceitabilidade.

Para este teste, foi utilizada escala hedônica de 9 pontos, variando de 1 (desgostou extremamente) a 9 (gostou extremamente), com 81 provadores, de ambos os sexos. Foram avaliadas além da aceitabilidade geral, o sabor, a textura e a intenção de compra do produto, de acordo com a ficha técnica (ANEXO B).

Os testes foram realizados no laboratório de análise sensorial da Embrapa Agroindústria de Alimentos, em cabines individuais, sob iluminação branca, sendo as amostras servidas em pires codificados. Junto às amostras foi servida água mineral e a ficha técnica, conforme o teste realizado.

A fim de verificar possíveis influências e variações nas respostas obtidas, nenhuma informação a respeito da composição e benefícios do macarrão foi fornecida, aos 40 primeiros provadores no momento do teste. Sendo assim, aos restantes, um folder explicativo foi fornecido previamente ao teste (ANEXO C).

Os macarrões pré-cozidos foram preparados em seus tempos ótimos de cozimento, não sendo acrescentados óleo, nem sal na água de cocção. Estes então, após o cozimento, foram drenados durante 10 minutos e logo após, acrescentados de molho de tomate. O preparo do molho e o material utilizado estão detalhados no ANEXO D.

3.14 Análises Estatísticas

O ajuste dos dados experimentais ao modelo foi testado pela análise de variância (ANOVA) usando o teste de distribuição F a 5 % de probabilidade segundo o qual, um modelo de regressão é significativo quando o valor do teste F calculado é maior ou igual ao do teste F tabelado e, quanto maior o teste F calculado, mais preditivo é o modelo (BOX e WETZ, 1973). Para a interpretação dos dados e a predição do modelo, um coeficiente de regressão (R^2) é considerado bom quando apresenta valores acima de 90% (GOMES, 2000).

O processamento dos dados e a análise estatística foram elaborados com o auxílio do programa computacional “STATÍSTICA” versão 6.0.

De acordo com Janssen (1985), Eerikäinen & Linko (1989), Mulvaney, Hsieh e Onwulata (1988), os modelos matemáticos empregados, em geral, nos processos de extrusão de produtos alimentícios, embora estejam em evolução são uma adaptação feita a partir da extrusão de plásticos. Todavia, estes modelos adaptados tornam-se muito complicados, dado à natureza heterogênea dos alimentos e a complexidade do processo. Para tanto, as similaridades, as diferenças, e às vezes, os equívocos no ajuste do modelo são considerados plausíveis.

A partir da equação de regressão obtida por esta técnica, variando-se duas variáveis, enquanto que, a terceira estudada permanece constante, foi possível elaborar gráficos tridimensionais de superfície de resposta, bem como suas respectivas curvas de nível com o auxílio do programa “Basic Statistics and Tables”.

A estimativa dos efeitos lineares e quadráticos das variáveis independentes foi representada através do diagrama de Pareto, utilizando o teste t a 5 % de probabilidade.

Os resultados da análise sensorial foram expressos por histogramas e a análise estatística feita através do teste t, utilizando o XLSTAT, ao nível de 5 % de probabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Aparência Microscópica da Estrutura dos Materiais Crus e Extrusados

O grânulo do amido de arroz é muito pequeno, quando comparado com os de milho (15 μm) e de trigo (30 μm), variando de 2 a 10 μm . Sua estrutura apresenta formato dodecahedro pentagonal, o qual pode ser devido à compressão do grânulo de amido durante o desenvolvimento do grão (NABESHIMA e EL-DASH, 2004).

As farinhas mistas de arroz integral e milho foram observadas em microscópio óptico com aumento de 40 vezes. Nas figuras abaixo se encontram as farinhas mistas cruas, extrusadas (pré-cozidas) e uma amostra de macarrão comercial de farinha de trigo (sem tratamento térmico). Note a diferença entre a estrutura das amostras. Nas farinhas cruas, a estrutura do material se apresenta pequena e unida, ao contrário das amostras pré-cozidas, que se apresentam inchadas (intumescidas) e espalhadas, características de gelatinização.

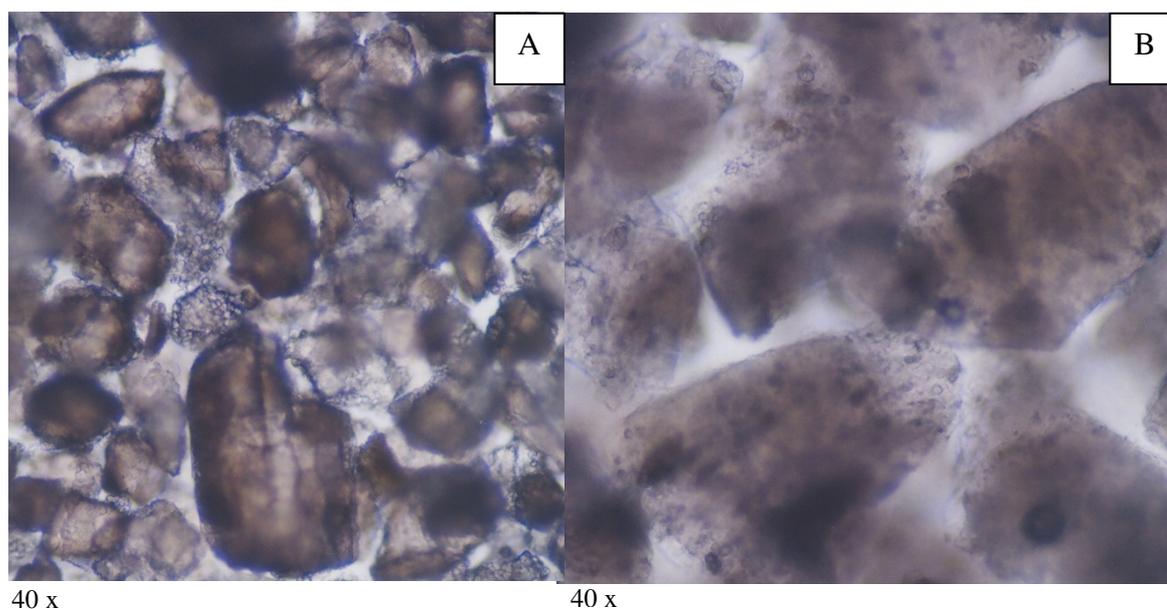


Figura 11. Amostras cruas e extrusadas do tratamento 5 com 40 % de farinha de milho. A) Amostra crua do T5. B) Amostra extrusada do T5

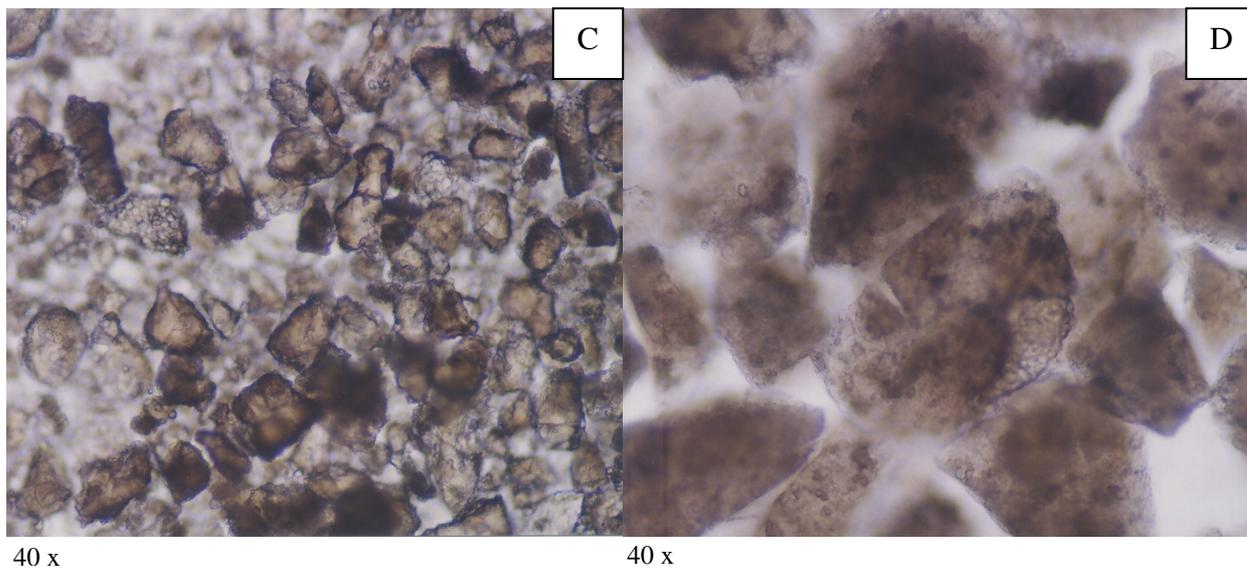


Figura 12. Amostras cruas e extrusadas do tratamento 19 com 13,2 % de farinha de milho. A) Amostra crua do T19. B) Amostra extrusada do T19

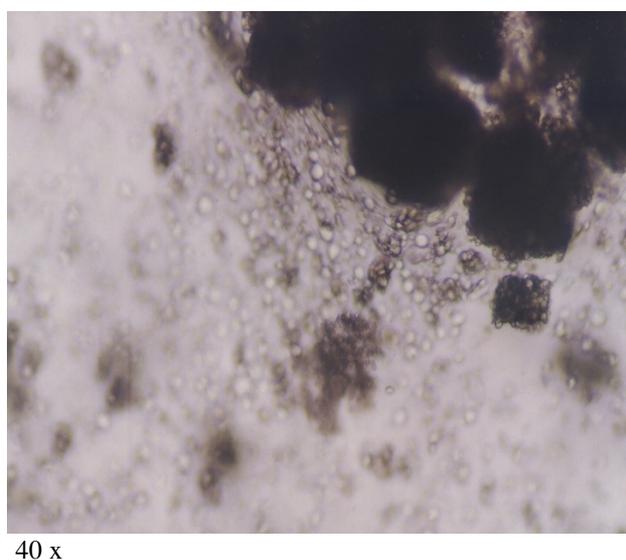


Figura 13. Aparência microscópica dos grânulos de amido de macarrão comercial à base de trigo

4.2 Classificação Granulométrica

O tamanho de partícula das matérias-primas pode afetar notavelmente a textura e a uniformidade do produto final. É desejável que as partículas tenham tamanho e densidade uniforme, para prevenir a segregação durante a mistura e o transporte antes do processo de extrusão. A importância da uniformidade das partículas também está relacionada com a uniformidade no condicionamento das mesmas, isto baseado no princípio da difusividade da água, em que as partículas de menor tamanho serão as que mais rapidamente absorverão água em detrimento das outras (ASCHERI, 2006).

Portanto, a uniformidade no tamanho das partículas dos ingredientes permite um cozimento adequado e uniforme durante o processo de extrusão, prevenindo dureza ou cozimento parcial no produto final. Se o tamanho das partículas da matéria-prima variar de forma significativa, o produto final poderá conter partículas indesejáveis com diferentes graus de cocção, o qual diminui a qualidade tanto na aparência como na palatabilidade (ASCHERI, 2006).

Os resultados encontrados para a distribuição do tamanho de partículas nas amostras de farinha de arroz integral crua, farinha de milho crua e dos macarrões pré-cozidos T5 e T19, são ilustrados abaixo (Figuras 14 a 17).

Observa-se que o maior percentual de farinha de arroz integral (24,1 %) ficou retido em peneira de 150 μm e o maior percentual de farinha de milho (24 %) em peneira de 300 μm . Os demais percentuais estão distribuídos por outras peneiras com diferentes aberturas, que variam de 420 μm a 75 μm .

Nos materiais extrusados, nota-se que, a farinha mista contendo 40 % de milho em sua composição (T5) apresentou maior retenção de partículas (63,5 %) em peneiras de 300 μm e 250 μm , apresentando partículas maiores. Isto pode ser atribuído ao fato da mistura apresentar maior quantidade de milho, registrando perfil granulométrico semelhante à farinha de milho.

A mistura extrusada contendo 13,2 % de farinha de milho (T19) apresentou maior percentual de partículas (52,1 %) retidas nas peneiras de 300 μm e 150 μm , apresentando partículas menores. Perfil semelhante ao da farinha de arroz integral, devido sua maior parcela presente nesta mistura.

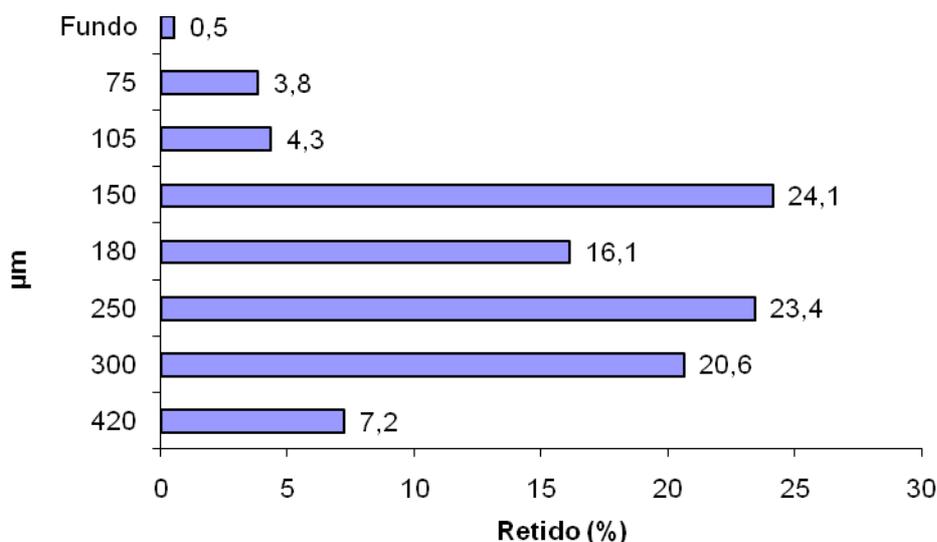


Figura 14. Classificação granulométrica da farinha crua de arroz integral

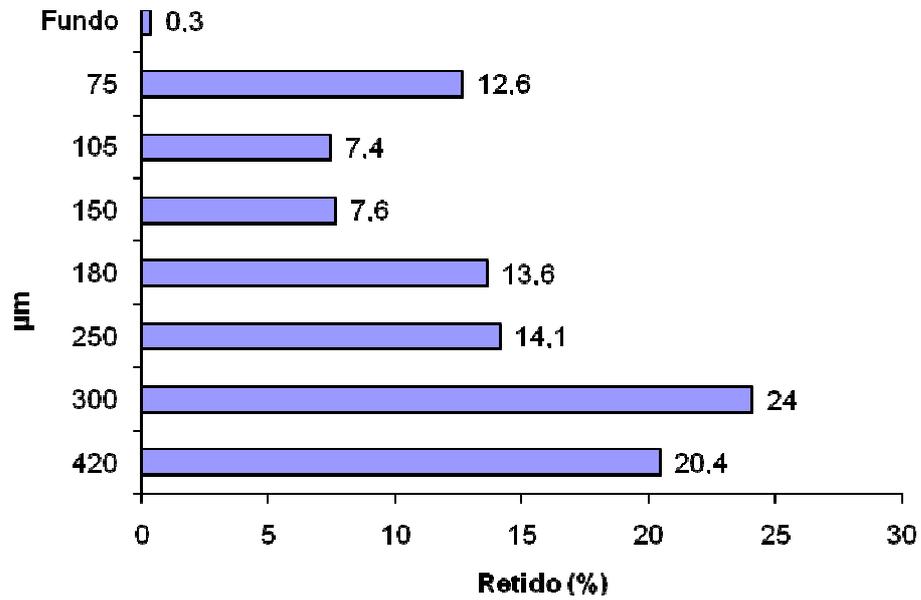


Figura 15. Classificação granulométrica da farinha crua de milho

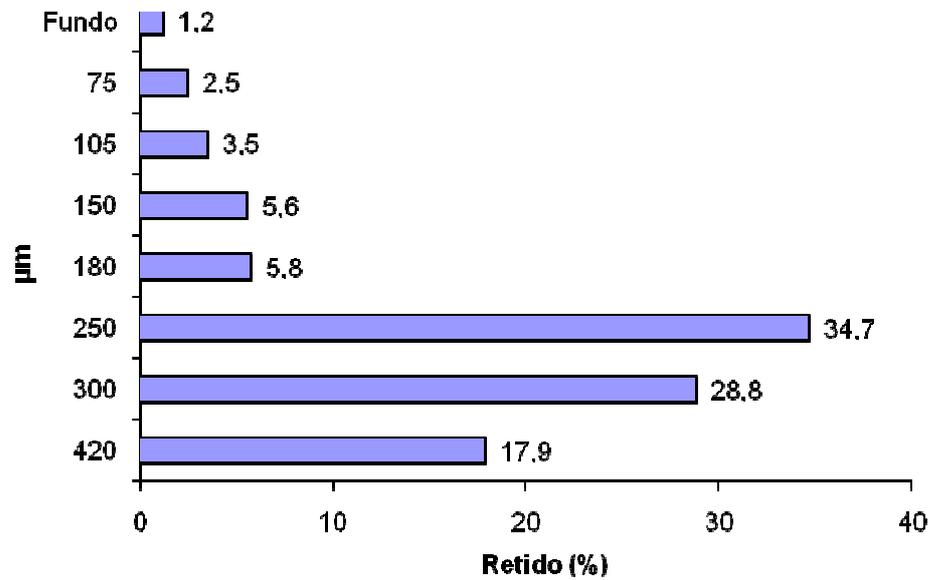


Figura 16. Classificação granulométrica da farinha mista extrusada de arroz integral e 40 % de milho (T5)

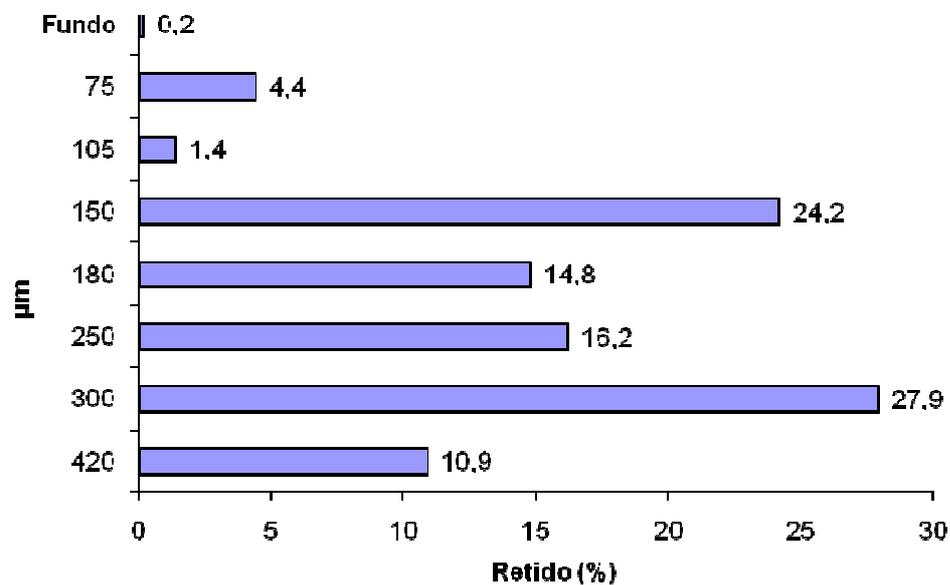


Figura 17. Classificação granulométrica da farinha mista extrusada de arroz integral e 13,2 % de milho (T19)

Borges (2002), trabalhando com farinha de quinoa integral e farinha de arroz polido, encontrou resultados semelhantes, com percentuais de farinhas mistas retidos em sua maioria em peneiras de 297 µm e 249 µm, para materiais não extrusados.

Hemavathy e Bhat (1994) estudando a utilização de farinhas de arroz com diferentes granulometrias para a produção de macarrão tipo *vermicelli* encontraram, como melhores resultados, farinhas de granulometria média entre 138 e 165 µm. As massas apresentaram-se firmes e com superfície lisa. Os produtos obtidos com farinhas muito finas apresentaram-se pegajosos e pouco firmes enquanto que, partículas mais grossas deram origem a massas demasiadamente firmes e com superfície áspera, o que aconteceu com o tratamento T5.

Por outro lado, Borba (2005), ao caracterizar farinha crua de batata-doce, encontrou maior percentual (67 %) retido em peneiras com malhas mais finas (de aberturas menores), entre 150 µm e 74 µm.

Sendo assim, os valores de farinhas retidas em cada peneira dependerão de fatores externos tais como o tipo do moinho, abertura da peneira do equipamento e do tipo da matéria-prima, influenciando assim, na qualidade do produto final.

4.3 Caracterização Química das Farinhas Cruas de Arroz Integral, de Milho e dos Macarrões Pré-Cozidos (T5 e T19)

A Tabela 6 representa os valores da caracterização química das farinhas de arroz integral, de milho e dos macarrões pré-cozidos T5 e T19.

De acordo com os resultados, pode-se avaliar que a farinha de arroz integral apresentou menor quantidade de carboidratos do que a farinha de milho. Isso se deve ao fato de que esta farinha, por ser uma matéria-prima integral, apresenta maior percentual dos demais componentes tais como proteínas, extrato etéreo, cinzas, fibra bruta e umidade. Por outro lado, na farinha de milho, pode-se observar que se trata de um produto basicamente amiláceo.

Tabela 6. Caracterização química aproximada (% base seca) da farinha crua de arroz integral, farinha de milho e macarrões pré-cozidos (T5 e T19)

Composição (%)	Farinha de Arroz Integral	Farinha de Milho	T5	T19
Umidade	11,0	10,6	10,8	10,9
Proteínas**	7,6	7,0	7,4	7,5
Extrato etéreo	2,6	0,5	1,8	2,3
Cinzas	1,4	0,2	0,9	1,2
Fibra bruta	0,6	0,10	0,4	0,5
Carboidratos totais*	77,3	81,6	79,1	78,1
Amilose	16,45	-	-	-
Amilopectina	83,55	-	-	-
Valor calórico (Kcal/100g)	363,0	359,3	361,8	363,1

*Calculado por diferença (100- umidade-proteína-extrato etéreo- cinzas). Carboidratos totais incluem fibra alimentar. De acordo com a TACO – Tabela Brasileira de Composição de Alimentos – 2ª edição, Unicamp, Campinas-SP, 2006.

**Fator: Para arroz e farinha de arroz (5,95), para milho (6,25), de acordo com a metodologia para a tabela da USP (Disponível em <<http://www.fcf.usp.br/tabela/qual.asp>>).

Para Leitão (1990), o melhor teor de umidade em farinhas encontra-se entre 12 e 13 %. Acima de 14 % começa a apresentar problemas quanto ao armazenamento e tendência a formar grumos que não irão fluir uniformemente no início do processo. Segundo este autor, a quantidade ideal de cinzas da massa deverá estar entre 0,5 e 0,7 % em base seca. A farinha de arroz integral apresentou 1,4 % de cinzas, portanto, aumentando o valor final de cinzas do macarrão elaborado com maior percentual desta farinha (Tabela 6). Essa característica está ligada à coloração que a massa apresenta quando se encontra no estado cru, sendo que, quanto maior o teor de cinzas de um material farináceo, mais escura será a coloração da massa quando cozida.

Ascheri e Carvalho (1996), caracterizando quimicamente farinha de milho extrusada, encontraram valores semelhantes ao da farinha de milho crua neste trabalho, para proteínas (8 %), extrato etéreo (0,18 %), cinzas (0,4 %) e carboidratos (81,4 %), demonstrando que, o processo de extrusão não altera significativamente a composição centesimal da matéria-prima.

De acordo com os resultados encontrados para a composição centesimal das massas pré-cozidas (T5 e T19) nota-se que estes não sofreram alterações drásticas, ou seja, apresentam uma média dos valores referentes às proporções de cada farinha presente nas misturas. Em 2002, Ascheri e colaboradores analisaram a composição centesimal de farinhas pré-cozidas por extrusão, de milho e arroz polido. Os autores também encontraram valores semelhantes a este estudo, exceto para lipídios no arroz, pois este macronutriente apresenta-se em maior quantidade no arroz integral. Estas semelhanças indicam que o processo por extrusão termoplástica pouco afeta a composição química das farinhas.

A diferença entre massas produzidas com farinha de arroz integral e milho, daquelas produzidas com farinha de trigo, está principalmente no teor de fibras presente. Chang e Flores (2004) ao caracterizarem massas produzidas com farinha de trigo, encontraram valores semelhantes aos das farinhas de arroz integral, exceto para os valores de fibras totais (0,3 %), lipídios (0,5 %) e carboidratos (86,2 %), justificando mais uma vez a importância da adição de matéria-prima integral à massa.

Heinemann et al., (2005) avaliaram cinco tipos de arroz, dentre eles o arroz integral e, encontraram resultados muito parecidos de umidade (12 %), proteínas (7 %) e cinzas (1,2 %), exceto para os valores de fibras aos quais foram maiores no estudo destes autores (2,6 %), provavelmente devido a uma diferença de cultivar e/ou tratamento dos grãos.

Ormenese e Chang (2003) caracterizaram farinha de arroz e farinha de arroz pré-gelatinizada quanto ao teor de amilose e, os resultados encontrados foram 22,33 % e 23,33 %, respectivamente. Os resultados apresentados por estes autores foram acima do encontrado para farinha de arroz integral (16,45 %). Kohlwey et al., (1995) sugerem que valores acima de 22 % de amilose são considerados intermediários e típicos de variedades de arroz que melhor se adequam à produção de macarrão. O mesmo foi expresso por Pagani (1986), onde afirma que o amido ideal para a produção de massas deve apresentar alto teor de amilose com grande tendência à retrogradação. Tal reação é influenciada pelo tamanho das moléculas e pela quantidade de amilose insolúvel presente no amido.

Provavelmente, alguns valores na composição que são diferentes deste presente estudo, podem ser justificados devido a uma variação no cultivar das matérias-primas, além da presença de outros componentes tais como as fibras.

O valor calórico médio dos tratamentos 5 e 19 foi de 361,8 e 363,1 kcal, respectivamente em 100 g de massa crua. Considerando que, a massa após cocção aumenta duas vezes seu tamanho original, pode-se sugerir que em uma porção de 200g de massa cozida supra e média 18 % das recomendações diárias de energia, segundo a USDA.

4.4 Composição em Minerais

A Tabela 7 apresenta a composição em minerais (mg/100 g, base seca) da farinha de arroz integral, de milho e dos macarrões pré-cozidos T5 e T19.

Dentre os minerais analisados em cada matéria-prima destacam-se o fósforo, magnésio e o potássio, principalmente na farinha de arroz integral. Os demais apresentaram apenas traços ou simplesmente não foram detectados. Cabe ressaltar a importância e o valor nutritivo da farinha de arroz integral, em minerais, devido ao fato de apresentar maiores teores para cromo (0,107 mg/100g), ferro (1,035 mg/100g), manganês (2,704 mg/100g) e zinco (1,829 mg/100g), se comparada à farinha de milho. Além disso, não foi detectado teor de sódio nesta farinha

integral, constituindo um alimento possível de ser consumido por pessoas hipertensas e com restrições deste mineral na dieta.

Tabela 7. Composição em minerais (mg/100 g, base seca) da farinha crua de arroz integral, farinha de milho e macarrões pré-cozidos (T5 e T19)

Minerais (mg/100g)	Farinha de Arroz Integral	Farinha de Milho	T5	T19
Alumínio	0,155	0,310	NQ	NQ
Cádmio	ND	ND	ND	ND
Cálcio	9,759	1,206	5,928	8,436
Cobalto	ND	ND	ND	ND
Cobre	0,238	0,224	0,201	0,248
Cromo	0,107	ND	ND	ND
Ferro	1,035	0,128	1,442	1,948
Fósforo	303,35	25,138	181,027	244,836
Magnésio	128,284	6,589	77,499	107,042
Manganês	2,704	ND	1,581	2,220
Molibdênio	ND	ND	ND	ND
Potássio	237,439	17,330	164,374	200,812
Selênio	ND	ND	ND	ND
Sódio	ND	21,457	ND	ND
Zinco	1,829	0,200	0,789	1,239

ND: abaixo do limite de detecção

NQ: abaixo do limite de quantificação

T5: massa pré-cozida contendo 40 % de farinha de milho e 60 % de farinha de arroz integral

T19: massa pré-cozida contendo 13 % de farinha de milho e 87 % de farinha de arroz integral

Do ponto de vista tecnológico, de acordo com a quantidade de minerais apresentados pela farinha de arroz integral, pode-se indicar o uso de farinhas em sua forma integral para o processamento, pois os benefícios nutricionais podem ser bem mais aproveitados, com maior teor de minerais na dieta.

Nas amostras extrusadas observa-se que, as quantidades de minerais presentes em maiores teores, são aquelas contidas no T19, por possuir maior percentual de farinha de arroz integral em sua composição (aproximadamente 87 %). Observa-se ainda que, o teor de ferro aumentou nas amostras extrusadas. A mistura das duas farinhas, principalmente a de arroz contendo maior teor de ferro, melhorou a qualidade quanto a este componente. Outro ponto importante a ressaltar, está relacionado com a quantificação de sódio presente nas amostras extrusadas. Mesmo após o acréscimo de 2 % de sal na formulação, o mineral sódio apresentou-se abaixo do limite de detecção.

Fernandes et al., (2000), caracterizando quimicamente extratos hidrossolúveis desidratados de arroz e soja, encontraram valores de minerais superiores em amostras de arroz polido. As análises detectaram, na farinha contendo 100 % de arroz polido, valores superiores

para sódio (47,14 mg/100g), ferro (2,17 mg/100g), zinco (3,32 mg/100g) e alumínio (8,14 mg/100g), comparados tanto com a farinha de arroz integral quanto à farinha de milho deste estudo.

Porém, se compararmos a farinha de arroz integral com os teores detectados na farinha de arroz polido, no estudo de Fernandes, pode-se verificar que a farinha integral apresentou quantidades superiores de fósforo, magnésio e manganês.

Entretanto Borges (2002), trabalhando com farinha mista de uma matéria-prima integral (quinoa) e outra refinada (arroz polido), detectou valores mais próximos a este estudo, confirmando mais uma vez que, os teores de minerais encontrados em cada matéria-prima poderão sofrer variações de acordo com o analista e também com a variedade do material. Também, podemos dizer que a farinha integral de quinoa apresentou resultados de minerais semelhantes ao da farinha de arroz integral, justificando o benefício da presença de farinhas integrais em alimentos.

Ascheri et al., (2002), analisando farinhas de arroz polido e de milho, pré-cozidas por extrusão, encontraram valores de alguns minerais que diferem deste estudo. De acordo com os valores apresentados pelos autores, podemos perceber que há certa diferença nos resultados de minerais entre amostras cruas e extrusadas, não descartando, porém a possibilidade de variações quanto aos cultivares de cada matéria-prima. Todavia, cabe ressaltar que os valores apresentados sugerem que pode haver modificações nas concentrações de minerais quando o material sofre influência da temperatura elevada. Porém Killeit (1994) apresenta somente benefícios em relação à extrusão, onde a disponibilidade de minerais aumenta com o aquecimento. Podemos destacar resultados superiores encontrados para alumínio e sódio, nas farinhas pré-cozidas de arroz polido e milho. Entretanto, as concentrações de cobre, zinco, fósforo, cálcio, magnésio, manganês e potássio são maiores na farinha de arroz integral (crua), quando comparadas às farinhas pré-cozidas de arroz polido e de milho, no estudo de Ascheri et al., (2002). Segundo as recomendações nutricionais tanto para crianças quanto para adultos, uma alimentação equilibrada e rica em todos os minerais essenciais é fundamental para o crescimento e manutenção das atividades de equilíbrio corporal.

O fósforo, potássio e o manganês ocupam lugar de privilégio na farinha de arroz integral. Segundo a DRI (Dietary Reference Intakes, 2004), esta farinha supre (em 100 g) 100 % das recomendações de manganês, para adultos saudáveis entre 18 e 50 anos. O manganês é essencial para o metabolismo do colesterol, crescimento corpóreo e reprodução. Sua deficiência pode causar modificações na estrutura óssea, perda de peso e anemia (WAITZBERG, 2002).

O fato de essas farinhas apresentarem baixos teores de cálcio constitui um fator positivo, pois o manganês, assim como outros elementos competem pelo mesmo sítio ativo de absorção do cálcio, não devendo ser ingeridos em uma mesma refeição. Portanto, o cálcio deverá ser adquirido por outras fontes alimentares, tais como as lácteas, em refeições distintas.

A farinha de arroz integral fornece em média 43,3 % das necessidades diárias de fósforo para adultos e 60,6 % para crianças entre 4 e 8 anos (DRI, 2004). O fósforo atua como um tampão, mantendo o equilíbrio ácido-básico plasmático. Além disso, é de grande importância para o processo de mineralização e estruturação óssea, síntese de colágeno e homeostase do cálcio, sendo importante na regulação da utilização de vitaminas do complexo B (WAITZBERG, 2002).

O potássio presente na farinha de arroz integral corresponde a aproximadamente dezoito vezes o valor encontrado na farinha de milho. Este mineral constitui o principal cátion intracelular participando da síntese de proteínas e do metabolismo de carboidratos, assim como na transmissão nervosa, contração da musculatura cardíaca e da função renal (WAITZBERG, 2002). Apesar da concentração deste mineral encontrado na farinha integral, este não representa uma boa cobertura das recomendações estabelecidas (4700 mg/dia), de acordo com a DRI para

adultos (2004). Porém a não ingestão adequada deste nutriente pode levar a certas complicações tais como diarreia, vômitos, hipotensão, diurese osmótica, entre outros (WAITZBERG, 2002).

O zinco também merece destaque na farinha de arroz integral. É responsável pela mobilização hepática da vitamina A e exerce funções fisiológicas específicas atuando no crescimento e replicação celular; maturação sexual, fertilidade e reprodução, além do paladar e apetite (WAITZBERG, 2002). As farinhas integrais possuem teores de zinco elevados, devido à manutenção de sua estrutura externa. Em 100 g de farinha de arroz integral suprimos cerca de 20 % das recomendações diárias de zinco para adultos e 36 % para crianças, de acordo com a DRI (2004).

A mesma quantidade de farinha integral consegue fornecer 41,4 % de magnésio para adultos e 98,4 % para crianças, fonte importante para a regulação do metabolismo de carboidratos, lipídios, síntese protéica, além de ser um poderoso mediador das contrações musculares e transmissão de impulsos nervosos (WAITZBERG, 2002).

O Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2004); ao analisar amostra de farinha de arroz integral, detectou alguns valores semelhantes à farinha crua de arroz integral do presente estudo. Tais minerais são o potássio (223 mg), fósforo (333 mg), magnésio (143 mg), zinco (2,02 mg), ferro (1,47 mg) e cobre (0,277 mg). Os demais minerais tais como o cálcio, sódio, manganês e selênio, apresentaram valores superiores, na amostra analisada pelo respectivo departamento.

De uma forma geral, nas misturas extrusadas, a farinha de arroz integral contribuiu de forma significativa para o aumento total de minerais. A utilização de farinhas integrais e sua mistura com farinha de milho fornecem um bom aporte de minerais, inclusive para os celíacos, pois a perda destes nutrientes é significativa devido às diarreias e ao quadro de má absorção, característico da doença. Além das farinhas, outras fontes alimentícias devem ser complementadas na dieta a fim de garantir o aporte completo diário destes minerais.

Apesar da farinha de milho não apresentar valores mais elevados para alguns minerais, esta é acrescentada à farinha de arroz integral sob uma justificativa nutricional (beta-caroteno), sensorial (corante natural) e comportamento durante o cozimento (cor e textura).

4.5 Composição em Aminoácidos

As proteínas de origem animal são formadas por aminoácidos, em proporções e qualidade ótimas para a nutrição humana, enquanto que as de origem vegetal raramente são completas em sua composição (BOBBIO e BOBBIO, 2003). Entretanto, considerando os diferentes tipos de dietas no mundo, tais proteínas são importantes por serem, em muitos casos, a principal ou única fonte de aminoácidos essenciais na alimentação.

A Tabela 8 apresenta os valores de aminoácidos nas farinhas de arroz integral e de milho, em g por 100 gramas de amostra.

Tabela 8. Composição em aminoácidos (g/100 g de amostra), em base seca, das farinhas de arroz integral, de milho e recomendações da FAO/WHO (mg/100g proteína), para crianças de 2 a 5 anos, 10 a 12 anos e adultos

Aminoácidos	Farinha de Arroz Integral	Farinha de Milho	FAO/WHO (2 a 5 anos)	FAO/WHO (10 a 12 anos)	FAO/WHO (Adultos)
Aspartato	0,51	0,40	-	-	-
Serina	0,40	0,21	-	-	-
Glutamato	1,13	0,90	-	-	-
Glicina	0,26	0,12	-	-	-
Histidina	0,25	0,15	19	19	16
Arginina	0,72	0,25	-	-	-
Treonina	0,27	0,15	34	28	9
Alanina	0,37	0,32	-	-	-
Prolina	0,33	0,75	-	-	-
Tirosina	0,36	0,15	-	-	-
Valina	0,40	0,24	35	25	13
Metionina	0,23	0,07	-	-	-
Lisina	0,33	0,14	58	44	16
Isoleucina	0,29	0,22	28	28	13
Leucina	0,56	0,61	66	44	19
Fenilalanina	0,37	0,23	-	-	-
Triptofano	NR	NR	11	9	5
Aromáticos (Fenilalanina+tirosina)	0,73	0,38	63	22	19

NR: não realizado

Os cereais são conhecidos, na literatura, por sua limitação no teor de lisina. Ascheri et al., (2002), analisaram o teor de aminoácidos presentes nas farinhas de arroz polido, de milho e quinoa extrusados. Detectaram valores inferiores de lisina nas amostras de milho e arroz polido (0,141 e 0,194 mg/100g respectivamente). Também detectaram valores inferiores de metionina (0,074 e 0,119 mg/100g) e não detectaram presença significativa de triptofano. Em 1996, Ascheri e Carvalho avaliando o perfil de aminoácidos presentes nas amostras de farinha de milho extrusada, proveniente de “snacks”, também encontraram resultados inferiores de metionina e não detectaram a presença de triptofano. Shogren et al., (2006), pesquisando aminoácidos em espaguete produzido com grano duro, detectaram valores acima para metionina (0,3g/100g) e para lisina (0,41g/100g). Detectaram também um valor de 0,19g/100g para triptofano, observando que, neste trabalho, o trigo *durum* apresentou um melhor perfil de aminoácidos, principalmente lisina, metionina e triptofano.

De acordo com os trabalhos verificados, nota-se uma semelhança no perfil de aminoácidos entre o arroz branco polido e o arroz integral, apresentando este último, valores um pouco superiores aos do arroz polido.

Para o cálculo do escore, foi seguida a metodologia de Pires et al., (2006). Os valores de aminoácidos foram transformados em mg/g de proteína e divididos pelo valor (mg/g de proteína) recomendado pela FAO/WHO (1985) para crianças entre 2 e 5 anos. Uma proteína que apresenta escore maior que o valor 1,0 para todos os aminoácidos é considerada de alto valor nutricional. O aminoácido que apresentar escore menor que 1,0 é chamado de aminoácido limitante.

As Tabelas 9, 10 e 11 representam os resultados do escore de aminoácidos, de acordo com as recomendações da FAO/WHO (1985), para as amostras de farinha de arroz integral e farinha de milho (não extrusadas).

Tabela 9. Escore de aminoácidos, das farinhas de arroz integral e de milho, segundo as recomendações da FAO/WHO (1985) para crianças de 2 a 5 anos de idade

Aminoácidos	Farinha de arroz integral	Farinha de milho
Histidina	1,73	1,13
Treonina	1,04	0,63
Valina	1,50	0,98
Lisina	0,75	0,34
Isoleucina	1,36	1,12
Leucina	1,12	1,32
Aromáticos (Fenilalanina+tirosina)	1,52	0,86

Tabela 10. Escore de aminoácidos, das farinhas de arroz integral e de milho, segundo as recomendações da FAO/WHO (1985) para crianças de 10 a 12 anos de idade

Aminoácidos	Farinha de arroz integral	Farinha de milho
Histidina	1,73	1,13
Treonina	1,27	0,77
Valina	2,11	1,37
Lisina	0,99	0,45
Isoleucina	1,36	1,12
Leucina	1,67	1,98
Aromáticos (Fenilalanina+tirosina)	4,37	2,47

Tabela 11. Escore de aminoácidos, das farinhas de arroz integral e de milho, segundo as recomendações da FAO/WHO (1985) para adultos

Aminoácidos	Farinha de arroz integral	Farinha de milho
Histidina	2,06	1,34
Treonina	3,95	2,38
Valina	4,05	2,64
Lisina	2,71	1,25
Isoleucina	2,94	2,42
Leucina	3,88	4,59
Aromáticos (Fenilalanina+tirosina)	5,06	2,86

De acordo com os resultados do escore, foi detectado que o aminoácido lisina é o aminoácido limitante na farinha de arroz integral (escore<1,0), para crianças de 2 a 5 anos e de 10 a 12 anos (Tabelas 9 e 10). Porém este aminoácido não é considerado limitante para adultos (Tabela 11), devido à recomendação deste pela FAO/WHO (1985).

Na farinha de milho, os aminoácidos treonina, valina, lisina e os aromáticos foram considerados limitantes para crianças de 2 a 5 anos. Porém, na faixa que compreende crianças de 10 a 12 anos, somente os aminoácidos treonina e lisina foram caracterizados como limitantes. Na fase adulta nenhum aminoácido analisado foi considerado limitante.

Portanto, se é considerado somente o perfil de aminoácidos, pode-se sugerir a complementação da dieta com alguma leguminosa (quando somente o aminoácido lisina for limitante) ou fonte animal (quando mais aminoácidos forem limitantes), ricos em aminoácidos essenciais, principalmente para crianças entre 2 e 5 anos e de 10 a 12 anos. Para adultos, as massas pré-cozidas de farinha mista de arroz integral e milho fornecem o aminoácido lisina como alto valor nutricional.

4.6 Composição em Vitaminas B1 e B2

A Tabela 12 apresenta as quantidades encontradas de vitaminas B1 (Tiamina) e B2 (Riboflavina) nas farinhas de arroz integral e de milho.

Nota-se que na farinha de arroz integral foi encontrada uma concentração de tiamina quase três vezes maior do que na farinha de milho, porém, esta última apresentou maior concentração de riboflavina.

Estes valores encontrados são próximos àqueles apresentados na Tabela de Composição de Alimentos da Universidade de São Paulo (PHILIPPI, 2002). De acordo com esta publicação, em 100g de arroz integral cru são fornecidos 0,4 mg de tiamina e 0,09 mg de riboflavina, assim como, na mesma quantidade de farinha de milho, são apresentados 0,2 mg de tiamina e 0,08 mg de riboflavina.

Tabela 12. Valores de vitamina B1 (tiamina) e vitamina B2 (riboflavina) em farinhas de arroz integral e milho

Vitaminas	Farinha de arroz integral	Farinha de milho
B1 (mg/100g)	0,444	0,164
B2 (mg/100g)	0,041	0,046

Método: European Standard EN14152:2003

A tiamina é um nutriente importante para o bom funcionamento do sistema nervoso, dos músculos e do coração. A carência desta vitamina pode levar a uma doença conhecida como “beribéri”. Os sinais de sua falta são a insônia, nervosismo, fadiga, perda de apetite e energia, perda da memória, entre outros (EMBRAPA, 2007).

Além do arroz integral, podemos complementar a alimentação com outros alimentos ricos nesta vitamina tais como ervilhas, feijão, outros cereais integrais, fígado, peixes. Portanto, 100 g de farinha de arroz integral fornece em média 45,4 % das necessidades diárias para adultos e 74 % para crianças entre 4 e 8 anos, segundo a DRI (2004), constituindo assim, ótima fonte deste nutriente.

Os valores de vitaminas encontrados vão depender do cultivar que está sendo submetido à análise. Em testes físico-químicos realizados na Embrapa Arroz e Feijão foram encontrados valores um pouco maiores para tiamina no arroz integral (0,09mg/100g), porém este valor ainda assim é maior se comparado ao arroz polido (0,02mg/100g), perdendo somente para o arroz parboilizado (0,11mg/100g), devido ao seu processamento, o que garante maior retenção das vitaminas no grão.

Porém, as análises realizadas nesses três tipos de arroz encontraram valores inferiores de riboflavina para o arroz integral (0,02mg/100g), para o arroz polido (0,01mg/100g) e nenhum valor encontrado no arroz parboilizado.

A riboflavina é uma vitamina importante para o nosso organismo, pois auxilia e participa no metabolismo das gorduras, açúcares de proteínas. Sua deficiência pode acarretar em rachaduras nos cantos da boca e nariz, estomatite, inflamação das gengivas, língua arroxeadada, depressão, catarata, entre outros (EMBRAPA, 2007). A farinha de milho, em 100 g, supre em média 4 % do recomendado pela DRI (2004), para adultos e 8 % para crianças entre 4 e 8 anos. Sendo assim, outras fontes desta vitamina deverão ser complementadas na dieta tais como leite, ovos, fígado, couve, repolho, agrião ou até mesmo com o arroz integral.

4.7 Caracterização Física dos Macarrões Pré-Cozidos

A Tabela 13 traz os resultados obtidos na caracterização dos macarrões pré-cozidos a base de farinha mista de arroz integral e milho, quanto ao índice de solubilidade em água (ISA), índice de absorção em água (IAA), viscosidade inicial a 25 °C (VI 25), viscosidade máxima e viscosidade final no ciclo de resfriamento.

Tabela 13. Resultados da caracterização dos macarrões pré-cozidos

Tratamentos	X1	X2	X3	ISA (%)	IAA (g/g)	VI 25 (cP)	Visc. Máxima (cP)	Visc. Final (cP)
1	70	30	20	3,85	5,05	30	654,5	1899,5
2	90	30	20	5,54	4,71	22	617	1407
3	70	40	20	3,62	5,32	26	392	1514
4	90	40	20	5,31	3,90	17	394	1103
5	70	30	40	3,24	5,87	33	651	1666
6	90	30	40	4,42	5,21	29	598	1330
7	70	40	40	4,78	4,38	29	358	1418
8	90	40	40	5,46	4,43	16	284	906
9	80	35	30	5,50	4,01	7	403	1339
10	80	35	30	5,03	4,06	16	425	1223
11	80	35	30	6,23	5,55	28	467	1486
12	80	35	30	5,80	5,49	28	512	1487
13	80	35	30	9,79	5,31	33	487	1332
14	80	35	30	7,24	4,09	54	438	1508
15	63,2	35	30	10,71	4,08	25	409	1557
16	96,8	35	30	9,77	6,18	81	309	540
17	80	26,6	30	5,37	5,62	49	646	1542
18	80	43,4	30	5,27	3,25	28	397	1183
19	80	35	13,2	2,02	5,40	56	550	1800
20	80	35	46,8	3,59	5,34	40	395	1365
Controle Trigo*	-	-	-	8,42	2,06	2,2	93,9	211,4
Controle Celíaco**	-	-	-	3,25	3,13	2,5	98,6	293,2

X₁: Temperatura (°C)X₂: Umidade do processamento (%)X₃: Farinha de milho (%)

ISA: Índice de Solubilidade em Água (%)

IAA: Índice de Absorção de Água (g gel/g matéria seca)

VI 25: Viscosidade Inicial a 25 °C (cP)

* massa comercial à base de farinha de trigo

** massa comercial isenta de glúten à base de farinha de arroz polido e farinha de milho

4.7.1 Índice de solubilidade em água (ISA)

Como explicado anteriormente, o ISA está relacionado à quantidade de sólidos solúveis presentes em uma amostra seca, permitindo verificar o grau de intensidade do tratamento térmico, em função da gelatinização, dextrinização e conseqüente solubilização do amido (CARVALHO, 2002). Este índice é bastante utilizado para medir o grau de solubilização do amido extrusado em bebidas, sopas, farinhas para fins de solubilização em meio aquoso (alimentos infantis, por exemplo) e para a caracterização de “snacks”, pois está relacionado com o grau de expansão.

Quando se trabalha com a produção de massas pré-cozidas, deve-se considerar e controlar todos os parâmetros envolvidos durante a extrusão. Portanto, a taxa de cisalhamento provocada pela rotação do parafuso deve ser tal que, a estrutura amilácea permaneça intacta e viável para posterior cocção. O mesmo deve ser realizado na monitoração das temperaturas utilizadas.

O índice de solubilidade em água neste estudo foi realizado com o objetivo de caracterizar a matéria-prima extrusada, podendo ser de grande importância quando se trabalha com massas alimentícias.

A Tabela 14 representa os valores da análise de variância (ANOVA) da variável resposta índice de solubilidade em água (ISA).

Tabela 14. Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicado ao índice de solubilidade em água (%) dos macarrões pré-cozidos de farinha mista de arroz integral e de milho, em função da temperatura (X_1), umidade (X_2) e % de farinha de milho (X_3)

Fator	Teste F	P	Coeficiente de Regressão	Estimativa dos efeitos
Intercepto	--	--	6,6	6,6
X_1	0,3	0,59 ^{n.s.}	0,3	0,5
X_1^2	4,4	0,09 ^{n.s.}	1,0	1,9
X_2	0,1	0,77 ^{n.s.}	0,1	0,3
X_2^2	2,9	0,15 ^{n.s.}	-0,8	-1,6
X_3	0,1	0,74 ^{n.s.}	0,2	0,3
X_3^2	13,4	0,01*	-1,7	-3,3
$X_1 \cdot X_2$	0,0	0,92 ^{n.s.}	-0,1	-0,1
$X_1 \cdot X_3$	0,1	0,77 ^{n.s.}	-0,2	-0,4
$X_2 \cdot X_3$	0,4	0,57 ^{n.s.}	0,4	0,8
Falta de ajuste	0,8	0,60 ^{n.s.}	--	--

R²: 0,71928

X_1 : Temperatura (°C)

X_2 : Umidade (%)

X_3 : Farinha de milho (%)

n.s. = Não significativo ao nível de 5 % de probabilidade

-- = não determinado

A equação do modelo matemático proposto para as variáveis independentes codificadas (equação 9) fica rescrita como:

$$ISA = 6,6 - 1,7 X_3^2$$

O valor do coeficiente de determinação (R^2) para o modelo quadrático foi baixo (0,71928) podendo indicar que este modelo não é preditivo, embora não ter evidenciado falta de ajuste pelo fato de não ter apresentado significância ($P > 0,05$).

Os valores de probabilidade indicaram que somente a variável quadrática percentual de farinha de milho contribuiu para os valores do índice de solubilidade em água (Figura 18).

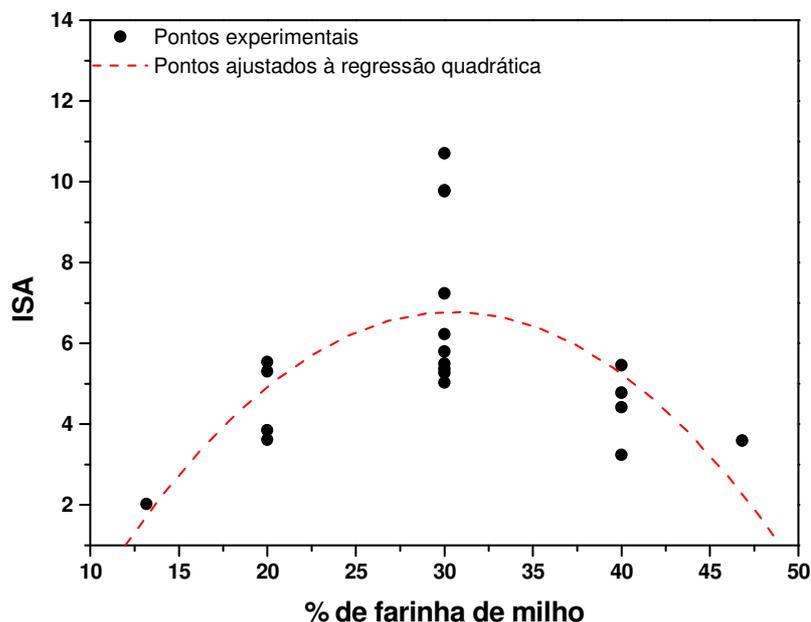


Figura 18. Análise de regressão para o modelo quadrático aplicado para o índice de solubilidade em água em função do percentual de farinha de milho

Alguns trabalhos realizados com massas pré-cozidas caracterizaram seus produtos de acordo com ISA. Borges (2002), ao determinar ISA em macarrão pré-cozido de farinha mista de quinoa e arroz polido, detectou que as variáveis temperatura e formulação foram significativas, porém seu coeficiente de determinação também se mostrou baixo (0,50207).

Através das análises estatísticas realizadas, tudo indica que os parâmetros de processamento aqui utilizados não afetam os valores de ISA, entretanto, apenas como exemplo pode-se observar que o resultado de ISA é maior para os valores intermediários de % de farinha de milho.

4.7.2 Índice de absorção em água (IAA)

O índice de absorção de água está relacionado com a disponibilidade de grupos hidrofílicos (-OH) em se ligar às moléculas de água e à capacidade de formação de gel das moléculas de amido. Somente os grânulos de amido gelatinizados absorvem água em temperatura ambiente e incham (CARVALHO et al., 2002).

A capacidade de absorção de água do material amiláceo cru é geralmente elevada a partir do momento em que se aplica calor, em meio úmido durante o processamento, por meio do processo de gelatinização. Logo após o processo, o material extrusado é encaminhado para estufa e parte da água que está livre é evaporada. Sendo assim, se tem um produto pré-cozido. O amido cru absorve apenas 30 % do seu volume em água em temperatura ambiente e sem tratamento térmico. Esta capacidade de absorção é radicalmente elevada à medida que a temperatura do sistema aumenta, até a temperatura de gelatinização do amido em questão. A partir desta, haverá uma “quebra” na estrutura amilácea, fazendo com que este índice de absorção diminua (ASCHERI, 2006).

Para massas, em especial as pré-cozidas, este índice é de suma importância uma vez que reflete a capacidade de aumento de peso do produto e conseqüentemente, seu rendimento.

Alguns fatores podem afetar os valores de IAA. Além da temperatura, a taxa de cisalhamento também pode provocar ruptura da estrutura amilácea e diminuir os valores de IAA. Essa afirmativa também está presente no estudo de Hagenimana et al., (2006). Além disso, a retrogradação, que pode ocorrer durante a estocagem do macarrão, leva a uma menor quantidade de amido disponível para absorver água, proporcionando menor absorção.

A vantagem a ser considerada em relação às massas pré-cozidas é que deve-se levar em conta que um dos fatores que contribuem para uma boa absorção de água é a pré-gelatinização do amido no processo de secagem, que não ocorre na produção de macarrão tipo massa fresca (CRUZ e SOARES, 2004).

Na Tabela 15 pode-se observar que, apesar das variações encontradas nos valores de IAA, entre alguns tratamentos, este índice não foi significativo ao nível de 5 % de probabilidade. O coeficiente de determinação apresentou em valor baixo (0,43365), explicando mais de 43 % da variação total da variável resposta em torno da média e 57 % atribuída aos resíduos. De acordo com estes valores, podemos sugerir que este modelo não é preditivo; porém, não foi evidenciada falta de ajuste, uma vez que este não apresentou significância ($p > 0,05$). Sendo assim, pode-se sugerir que este modelo fora escolhido corretamente e que nenhuma variável do estudo afetou significativamente os valores de IAA.

Tabela 15. Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicado ao índice de absorção de água (g gel/ matéria seca) dos macarrões pré-cozidos de farinha mista de arroz integral e de milho, em função da temperatura (X_1), umidade (X_2) e % de farinha de milho (X_3)

Fator	Teste F	P	Coefficiente de Regressão	Estimativa dos efeitos
Intercepto	--	--	4,8	4,8
X_1	0,2	0,699017 ^{n.s.}	0,1	0,2
X_1^2	0,3	0,625638 ^{n.s.}	0,1	0,2
X_2	5,7	0,061879 ^{n.s.}	-0,5	-1,0
X_2^2	0,5	0,521769 ^{n.s.}	-0,1	-0,3
X_3	0,1	0,784130 ^{n.s.}	0,1	0,1
X_3^2	0,9	0,390398 ^{n.s.}	0,2	0,4
$X_1.X_2$	0,0	0,880574 ^{n.s.}	0,0	-0,1
$X_1.X_3$	0,3	0,619560 ^{n.s.}	0,1	0,3
$X_2.X_3$	0,6	0,462256 ^{n.s.}	-0,2	-0,4
Falta de ajuste	1,3	0,400188 ^{n.s.}	--	--

R²: 0,43365

X_1 : Temperatura (°C)

X_2 : Umidade (%)

X_3 : Farinha de milho (%)

n.s. = Não significativo ao nível de 5 % de probabilidade

-- = não determinado

O IAA neste estudo tende a ser maior do que o ISA, devido às condições de processamento para “pellets”, são utilizadas temperaturas menores (até 90 °C), menor rotação do parafuso e maior umidade. Os índices de absorção das massas pré-cozidas mostraram uma variação de 3,25 a 6,18 g/g gel (Tabela 13). Estes valores foram superiores aos obtidos para as massas comerciais (não pré-cozidas) que foram de 2,06 e 3,13 g/g gel (massa de trigo e para celíacos, respectivamente).

Apesar das variáveis independentes do processo de extrusão não apresentarem significância quanto ao índice de absorção de água, nota-se que o maior valor apresentado de absorção foi de 6,18 g/ g gel para o tratamento que possuiu maior temperatura de processamento no delineamento (96,8 °C) e umidade no ponto central (35 %). Em contrapartida, o menor valor apresentado de absorção foi para o tratamento que apresentou a maior umidade (43,4 %) e temperatura mantida no ponto central (80 °C).

Os melhores tratamentos escolhidos, no delineamento experimental, T5 e T19, apresentaram um dos maiores valores de IAA (5,87 e 5,40 g gel/g de matéria seca, respectivamente) e estão relacionados com o aumento de peso durante o cozimento. Este índice serviu como um importante parâmetro para a escolha dos melhores tratamentos.

4.7.3 Viscosidade de pasta

O amido quando submetido ao calor, em meio aquoso, tende a romper certas ligações entre as frações amilose e amilopectina, reorganizando sua estrutura de modo a realizar ligações do tipo ponte de hidrogênio com as moléculas da água (grupos hidrofílicos –OH). Esse fenômeno é chamado de “gelatinização”, onde ocorre o intumescimento dos grânulos de amido. Porém, este intumescimento prossegue até um ponto de máxima viscosidade, a partir do qual, qualquer energia extra fornecida (aquecimento) provoca a “quebra” do gel formado, fazendo com que a viscosidade sofra uma redução (dextrinização do amido).

A viscosidade de pasta possui o objetivo de avaliar as condições em que se encontram os grânulos de amido, submetidos ao aquecimento assim como a intensidade e severidade do tratamento térmico e as condições de extrusão.

Os maiores valores de viscosidade estão associados com a alta proporção de amidos não gelatinizados, visto que, resultados mais baixos de viscosidade indicam uma proporção de amido gelatinizado que é atribuído à variação de diferentes graus de despolimerização e desarranjo molecular resultante das condições do processamento térmico.

Hagenimana et al., (2006), avaliando as características de farinha de arroz extrusada, concluíram que, dependendo das condições de processamento, a viscosidade final no ciclo de resfriamento para farinhas de arroz extrusadas podem ser menores do que para farinhas cruas. Alguns estudos também relatam as mesmas características e isso pode ser explicado, pois quando amidos gelatinizados são resfriados a extensão no aumento da viscosidade é governada pela tendência a re-associação do amido. Além disso, estes autores sugerem que, farinhas de arroz extrusadas a baixas temperaturas demonstram maiores valores de viscosidade a 95 °C e viscosidade final do que em amostras extrusadas a temperaturas elevadas (>130 °C). Ainda neste mesmo estudo de Hagenimana et al., (2006); o modelo de regressão aplicado obteve ótimos coeficientes de determinação (0,966) tanto para a viscosidade a 95 °C quanto para viscosidade final, indicando um ajuste do modelo aos dados experimentais. Ambas, foram afetadas pelos efeitos lineares e quadráticos da temperatura. Além do mais, a umidade também teve um efeito significativo na viscosidade a 95 °C, visto que, as interações entre a rotação do parafuso e o conteúdo de umidade tiveram um efeito positivo e elevaram os valores de viscosidade final.

Carvalho et al., (2002), avaliando as características de pasta de “pellets” produzidos a partir da farinha mista de trigo, arroz e banana, observaram que, para os coeficientes lineares, a umidade foi a variável de maior influência (altamente significativa $P < 0,01$). Quanto aos coeficientes quadráticos, houve influência da formulação. Além disso, as interações entre umidade e temperatura foram altamente significativas, na viscosidade inicial a 25 °C.

Na viscosidade a 95 °C, estes autores observaram que a variável umidade foi altamente significativa quanto ao coeficiente linear ($p < 0,01$). Um elevado valor de umidade implicou em um aumento na viscosidade, porém a baixas umidades (27 a 30 %), ocorreu um decréscimo nesta viscosidade 95 °C, e com a temperatura acima de 80 °C leva a um menor valor na viscosidade. Isso ocorre porque a alta temperatura torna a massa plástica menos viscosa, permitindo, assim, que as moléculas tornem-se mais suscetíveis à ação de cisalhamento. Dessa forma, tem-se uma maior ação térmica e mecânica, resultando numa maior degradação do amido e, conseqüentemente, obtendo-se menores valores de viscosidade a 95 °C. Em alguns trabalhos, verificou-se que a temperatura não interferiu muito nos valores de viscosidade máxima, confirmando a hipótese de que mesmo em condições mais brandas de temperatura já tenha ocorrido a gelatinização.

4.7.3.1 Viscosidade inicial a 25 °C (VI 25)

A viscosidade da suspensão de farinha em água a 25 °C é considerada a frio. Essa propriedade é importante na preparação de alimentos instantâneos e indica a capacidade das farinhas em absorver água a temperatura ambiente e formar pasta, gel ou líquido viscoso (CARVALHO et al., 2002).

Para Carvalho et al. (2002), a temperaturas acima de 80 °C e umidade abaixo de 30 %, obtêm-se maiores índices de viscosidade a frio. Porém na mesma faixa de temperatura e umidade maior, por volta de 40 %, ocorre uma diminuição na viscosidade. Sendo assim, eles também concluem que altas viscosidades são típicas de um produto gelatinizado, enquanto que baixas viscosidades, com umidade menor, indicam quebra de polímero.

A análise de variância para a variável resposta Viscosidade Inicial a 25 °C encontra-se na Tabela 16. Nota-se que, tanto nas regressões lineares quanto quadráticas, os valores não foram significativos ($p > 0,05$), indicando que as variáveis independentes temperatura, umidade e % de farinha de milho não contribuíram para os valores de viscosidade inicial a 25 °C. Além disso, apesar do coeficiente de determinação apresentar um valor muito abaixo de 90 % (0,16618), atribuindo em torno de 83,4 % aos resíduos, podemos afirmar que este modelo se aplica aos dados experimentais visto a não significância da sua falta de ajuste.

Tabela 16. Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada a Viscosidade Inicial a 25 °C (cP) dos macarrões pré-cozidos de farinha mista de arroz integral e de milho, em função da temperatura (X_1), umidade (X_2) e % de farinha de milho (X_3)

Fator	Teste F	P	Coefficiente de Regressão	Estimativa dos efeitos
Intercepto	--	--	28,5	28,5
X_1	1,0	0,363773 ^{n.s.}	4,3	8,7
X_1^2	1,0	0,368395 ^{n.s.}	4,2	8,3
X_2	1,0	0,355465 ^{n.s.}	-4,4	-8,8
X_2^2	0,0	0,861725 ^{n.s.}	-0,8	-1,5
X_3	0,1	0,801007 ^{n.s.}	-1,2	-2,3
X_3^2	0,3	0,580369 ^{n.s.}	2,5	5,0
$X_1 \cdot X_2$	0,1	0,818017 ^{n.s.}	-1,4	-2,8
$X_1 \cdot X_3$	0,0	1,000000 ^{n.s.}	0,0	0,0
$X_2 \cdot X_3$	0,0	0,866923 ^{n.s.}	-1,0	-2,0
Falta de ajuste	2,5	0,165030 ^{n.s.}	--	--

R²: 0,16618

X_1 : Temperatura (°C)

X_2 : Umidade (%)

X_3 : Farinha de milho (%)

n.s. = Não significativo ao nível de 5 % de probabilidade

-- = não determinado

Embora a temperatura e a umidade afetem a viscosidade a frio, neste estudo nenhuma dessas variáveis influenciou significativamente os valores de viscosidade inicial a 25 °C, nas amostras de macarrão pré-cozido.

Os resultados de viscosidade podem ser observados na Tabela 13. Nota-se que os valores de viscosidade inicial a 25 °C, para os tratamentos escolhidos T5 e T19, foram maiores do que aqueles encontrados por Borges (2002) para farinha integral de quinoa e farinha de arroz polido. Os tratamentos T5 e T19 apresentaram 33 e 56,5 cP, respectivamente, em comparação a 28,08 e 11,04 cP encontrados por Borges para seus melhores tratamentos. Porém os valores mínimo e máximo de todos os tratamentos são 7 e 81 cP, semelhante ao estudo de Borges (2002).

Valores menores de viscosidade inicial a 25 °C (tratamento 9 = 7cP) podem ser explicados pelas condições aplicadas antes e durante o processo de extrusão, tais como temperatura mais branda (80 °C), menor rotação do parafuso (causando menor cisalhamento) e umidade relativamente elevada (35 %). Por outro lado, o maior valor de viscosidade inicial (tratamento 16 = 81 cP) pode ser explicado pelo aumento da temperatura (96 °C) e umidade relativamente alta (35 %), favorecendo maior proporção de grânulos de amido gelatinizados. Mercier e Feillet (1975) demonstraram que há uma relação entre umidade e grau de degradação do amido de milho extrusado. Foi observado que há um aumento na viscosidade inicial com o incremento dos valores de umidade de até 28,5 %.

Tanto a umidade quanto a temperatura são fatores competitivos nos graus de transformação do material amiláceo, assim, quando são postos juntos, fica difícil a interpretação de qual deles foi o maior responsável pela mudança.

Teores de umidade mais elevados, como é o caso (30 a 40 %), provavelmente exercem um efeito lubrificante no material durante a extrusão, impedindo a alta degradação do amido. Ainda devemos considerar que valores muito baixos de viscosidade inicial de materiais extrusados podem ser explicados pelo conteúdo protéico e pela presença de fibras, como é o caso da farinha de arroz integral. Altas viscosidades são típicas de um produto gelatinizado, enquanto que baixas viscosidades, com umidade menor, indicam quebra de polímero.

4.7.3.2 Viscosidade máxima (VM)

A viscosidade máxima, ou viscosidade a quente, indica as possibilidades de utilização da farinha extrusada. 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 temperaturas acima da ambiente (TORRES et al., 2005).

O aumento da viscosidade com a elevação da temperatura, no ciclo de aquecimento, ocorre pela perda parcial das pontes de hidrogênio que unem as frações presentes no amido. Isso origina sítios hidrofílicos que se ligam a moléculas de água, aumentando a solubilidade do amido e a viscosidade a quente (ASCHERI et al., 2006).

De acordo com os resultados expressos na Tabela 17, para a variável resposta Viscosidade Máxima, nota-se que o intercepto foi significativo ao nível de 5 % de probabilidade, indicando que neste caso, o ponto central foi escolhido corretamente.

Além disso, o coeficiente de determinação expressou um valor ainda considerado baixo (0,88057), explicando 88 % da variação total da variável resposta em torno da média e menos de 15 % atribuídos aos resíduos. Não se evidencia a falta de ajuste do modelo aos dados experimentais, uma vez que, a variação devido à falta de ajuste, não é estatisticamente significativa ($P > 0,05$) (Tabela 17).

Com relação às variáveis, podemos perceber que houve contribuição linear da umidade e da formulação (% farinha de milho) e quadrática da umidade, nos valores de viscosidade máxima. De acordo com os efeitos negativos das variáveis lineares, pode-se dizer

que conforme o aumento da umidade e do percentual de milho há uma tendência a redução dos valores de viscosidade máxima (inversamente proporcionais), sendo que a umidade apresentou maior contribuição na variação dos resultados. Por outro lado, as interações entre as variáveis independentes não foram significativas ao nível de 5 % de probabilidade, não contribuindo para a variável resposta (Tabela 17).

Tabela 17. Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada a Viscosidade Máxima (cP) dos macarrões pré-cozidos de farinha mista de arroz integral e de milho, em função da temperatura (X₁), umidade (X₂) e % de farinha de milho (X₃)

Fator	Teste F	P	Coefficiente de Regressão	Estimativa dos efeitos
Intercepto	--	0,000001 *	454,2	454,2
X ₁	4,8	0,079581 n.s.	-24,2	-48,5
X ₁ ²	5,4	0,067293 n.s.	-25,0	-50,1
X ₂	100,1	0,000170 *	-110,5	-221,0
X ₂ ²	9,1	0,029569 *	32,4	64,8
X ₃	8,0	0,036651 *	-31,3	-62,5
X ₃ ²	2,0	0,219308 n.s.	15,1	30,2
X ₁ .X ₂	0,0	0,875691 n.s.	2,4	4,8
X ₁ .X ₃	0,6	0,466157 n.s.	-11,4	-22,8
X ₂ .X ₃	1,1	0,338868 n.s.	-15,3	-30,5
Falta de ajuste	2,6	0,159099 n.s.	--	--

R²: 0,88057

X₁: Temperatura (°C)

X₂: Umidade (%)

X₃: Farinha de milho (%)

n.s. = Não significativo ao nível de 5 % de probabilidade

* = Significativo ao nível de 5 % de probabilidade

A equação do modelo matemático proposto para as variáveis independentes codificadas (equação 10) fica rescrita como:

$$\text{Viscosidade Máxima} = 454,2 - 110,5 X_2 - 31,3 X_3 + 32,4 X_2^2$$

O gráfico tridimensional de superfície de resposta (Figura 19) representa o efeito das variáveis umidade (%) e farinha de milho (%), na viscosidade máxima.

Como visto em outros estudos, a umidade exerce uma grande influência na viscosidade de pasta. Neste estudo, o maior valor de viscosidade máxima (654,5 cP) foi verificado em tratamento que apresentava menor temperatura de processamento (70 °C), menor umidade (30 %) e menor percentual de farinha de milho (20 %). Ao contrário, o menor

valor de viscosidade máxima (284,5 cP) foi verificado em tratamento que apresentava maior temperatura de processamento (90 °C), maior umidade (40 %) e maior percentual de farinha de milho (40 %) (Tabela 13).

Porém, para os melhores tratamentos nota-se que, o valor de viscosidade máxima aumenta com a redução da umidade e o aumento do % de farinha de milho (Tabela 16).

Os resultados de viscosidade máxima nas amostras comerciais (trigo e celíaco) foram muito menores (93,9 e 98,6 cP, respectivamente) do que aqueles para as amostras pré-cozidas (Tabela 13). Estes valores reduzidos nas amostras comerciais são inesperados. Possivelmente estas amostras comerciais sofreram algum tipo de tratamento térmico.

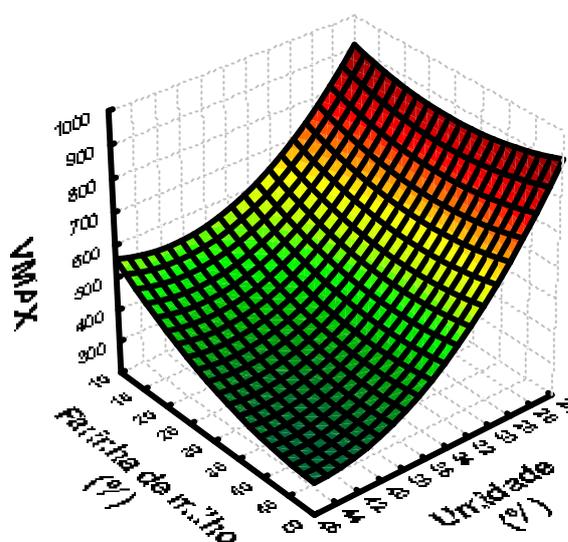


Figura 19. Efeito das variáveis quantitativas Farinha de milho (%) e Umidade (%), na viscosidade máxima (cP), dos macarrões pré-cozidos a base de farinha mista de arroz integral e milho

Esta viscosidade está relacionada com o nível de degradação sofrido pelo grânulo de amido. Quanto maior o valor da viscosidade máxima a 95 °C indica que o tratamento fora menos severo, assim como a umidade mais elevada, portanto, mantendo intacto maior percentual de grânulos de amido. Esse fenômeno é de suma importância para massas, pois indica a maior capacidade de absorção de água.

Torres et al., (2005) avaliando a influência da umidade e temperatura na viscosidade de pasta de extrusados contendo farinha de banana verde expressam também que, altas umidades e baixas temperaturas são indicativas de tratamento térmico menos severo, fornecendo as maiores viscosidades máximas a 95 °C.

Por outro lado Silva et al., (2004) observaram que a degradação dos grânulos de amido aumenta em baixa umidade, pois o atrito mecânico no parafuso é maior. Isto se reflete em menores condições de intumescimento dos grânulos, diminuindo a viscosidade. Da mesma forma, o atrito mecânico diminuiu com a alta umidade havendo menor destruição dos grânulos.

4.7.3.3 Viscosidade final (VF)

A viscosidade final é avaliada durante o ciclo de resfriamento e está relacionada com a retrogradação do amido.

O amido é constituído por duas frações: amilose e amilopectina. Quando soluções amiláceas são resfriadas, ocorre formação de géis ou precipitados microcristalinos, dependendo da concentração das soluções e velocidade de resfriamento. Soluções concentradas e resfriadas rapidamente tendem a formar géis, enquanto que soluções mais diluídas precipitam devido à tendência para formação de ligações intermoleculares da fração amilose, o que não acontece com a amilopectina, devido às ramificações presentes na molécula. Esse reagrupamento entre as frações de amilose é conhecido como retrogradação, e confere na maioria dos casos, um aumento na viscosidade final (BOBBIO e BOBBIO, 2003).

De acordo com a Tabela 18, podemos observar que houve uma contribuição das variáveis linear e quadrática de temperatura, linear de umidade e linear e quadrática do percentual de farinha de milho, na variável resposta. Sendo que, a variável linear temperatura foi aquela que apresentou maior magnitude nos valores de viscosidade final, com efeito negativo. Além disso, não há significância nas interações entre as variáveis independentes, demonstrando que estas não contribuem para os valores de viscosidade final.

O intercepto foi significativo ($p < 0,05$), demonstrando que o ponto central foi escolhido adequadamente.

O coeficiente de determinação apresentou em valor elevado (0,91868), explicando mais de 90 % da variação total da variável resposta em torno da média e menos de 10 % atribuídos aos resíduos, justificando o ajuste do modelo aos dados experimentais.

Tabela 18. Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada a Viscosidade Final (cP) dos macarrões pré-cozidos de farinha mista de arroz integral e de milho, em função da temperatura (X₁), umidade (X₂) e % de farinha de milho (X₃)

Fator	Teste F	P	Coefficiente de Regressão	Estimativa dos efeitos
Intercepto	--	0,000121 *	1393,3	1393,3
X ₁	66,2	0,000455 *	-253,3	-506,6
X ₁ ²	12,3	0,017187 *	-106,2	-212,5
X ₂	21,4	0,005721 *	-143,9	-287,9
X ₂ ²	0,0	0,879112 n.s.	4,9	9,7
X ₃	9,9	0,025696 *	-97,7	-195,5
X ₃ ²	7,4	0,041618 *	82,5	165,0
X ₁ .X ₂	0,1	0,782084 n.s.	-11,9	-23,8
X ₁ .X ₃	0,0	0,872424 n.s.	6,9	13,8
X ₂ .X ₃	0,0	0,960364 n.s.	2,1	4,3
Falta de ajuste	1,1	0,454289 n.s.	--	--

R²: 0,91868

X₁: Temperatura (°C)

X₂: Umidade (%)

X₃: Farinha de milho (%)

n.s. = Não significativo ao nível de 5 % de probabilidade

* = Significativo ao nível de 5 % de probabilidade

A equação do modelo matemático proposto para as variáveis independentes codificadas (equação 11) fica rescrita como:

$$\text{Viscosidade Final} = 1393,3 - 253,3 X_1 - 143,9 X_2 - 97,7 X_3 - 106,2 X_1^2 + 82,5 X_3^2$$

Os gráficos tridimensionais de superfície de resposta nas figuras abaixo representam o efeito das variáveis que contribuíram para os valores de viscosidade final.

A Figura 20 permite verificar o efeito da umidade e temperatura nos valores de viscosidade final. De acordo com os valores negativos dos efeitos (Tabela 18), podemos observar que essa contribuição é inversamente proporcional. Na medida em que as variáveis lineares temperatura e a umidade aumentam, os valores de viscosidade final tendem a diminuir. Isso pode ser verificado de acordo com o valor máximo de viscosidade final apresentado na Tabela 13 (1899,5cP), onde a amostra foi submetida a uma menor temperatura (70 °C) e menor umidade (30 %), no delineamento. Em contrapartida, o menor valor de viscosidade final apresentado na Tabela 13 (540,5cP) está relacionado a uma amostra submetida a uma maior temperatura (96 °C) e maior umidade (35 %).

Porém, observa-se (Tabela 13) que, nos melhores tratamentos (T5 e T19), os valores de viscosidade final aumentam quando elevamos os valores de umidade e temperatura.

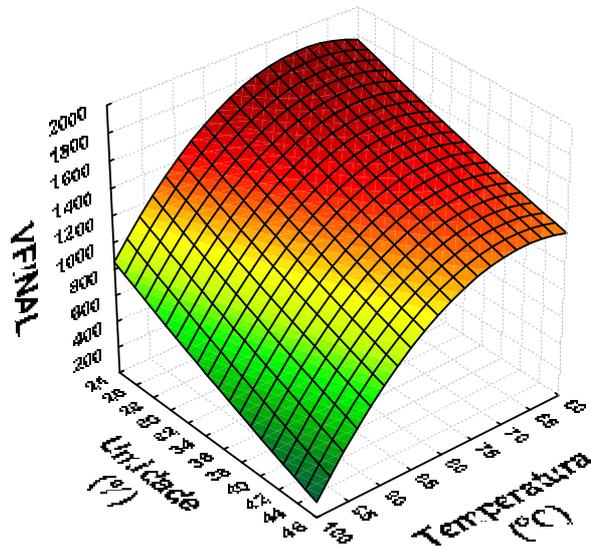


Figura 20. Efeito das variáveis quantitativas Umidade (%) e Temperatura (°C), na viscosidade final (cP), dos macarrões pré-cozidos a base de farinha mista de arroz integral e milho

A Figura 21 permite verificar o efeito das variáveis % de farinha de milho e umidade, na variável resposta. Nota-se, também que, de acordo com os efeitos negativos, essa contribuição é inversamente proporcional, nas variáveis lineares. A partir do momento em que há um aumento no percentual de farinha de milho e na umidade, os valores de viscosidade final tendem a diminuir.

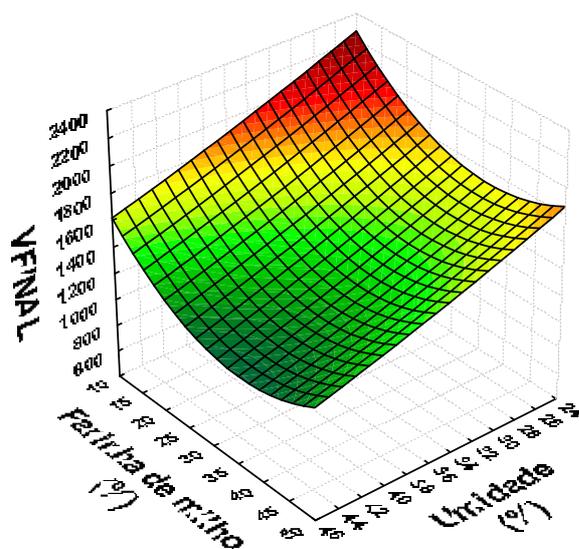


Figura 21. Efeito das variáveis quantitativas Farinha de milho (%) e Umidade (%), na viscosidade final (cP), dos macarrões pré-cozidos a base de farinha mista de arroz integral e milho

Em alguns estudos, o contrário é verificado. Carvalho et al. (2002) estudando a extrusão da mistura de farinha de arroz, banana e trigo, com teores de umidade variando entre 30 e 40 %, relataram que a tendência a retrogradação diminui com a redução da umidade, porém isto estaria relacionado, provavelmente à taxa de cisalhamento conferida no momento da extrusão.

A Figura 22 representa o efeito das variáveis % de farinha de milho e temperatura na variável resposta.

De acordo com os efeitos negativos, essa contribuição também é inversamente proporcional, onde se aumentarmos os valores das variáveis lineares de % de farinha de milho e temperatura, os valores de viscosidade final tenderão a diminuir.

Os menores valores de viscosidade final podem ser obtidos em tratamentos mais severos (com menor umidade e maior temperatura, por exemplo), causando a degradação do amido, e conseqüentemente a perda da capacidade de retrogradação. Além disso, podemos considerar que, a adição de emulsificantes às massas pode também reduzir os valores de viscosidade final, uma vez que, esses aditivos envolvem as cadeias de amilose e dificultam a retrogradação. Este mesmo fenômeno foi citado por Carvalho et al., (2002).

Em muitos tratamentos ocorre o aumento da viscosidade final com a redução do percentual de farinha de milho. Alguns fatores importantes podem ser considerados para explicar o fato ocorrido. Vale destacar que, a composição da farinha de arroz integral é diferente da farinha de milho, contendo maior quantidade de lipídios, fibras e proteínas. Além disso, há uma diferença entre as proporções de amilose (e sua solubilidade; não analisado) e amilopectina entre esses grãos. Outro ponto interessante para reflexão é a diferença no tamanho de partículas (granulometria) entre a farinha de arroz integral e a farinha de milho. Todas essas observações podem contribuir para os valores de viscosidade final.

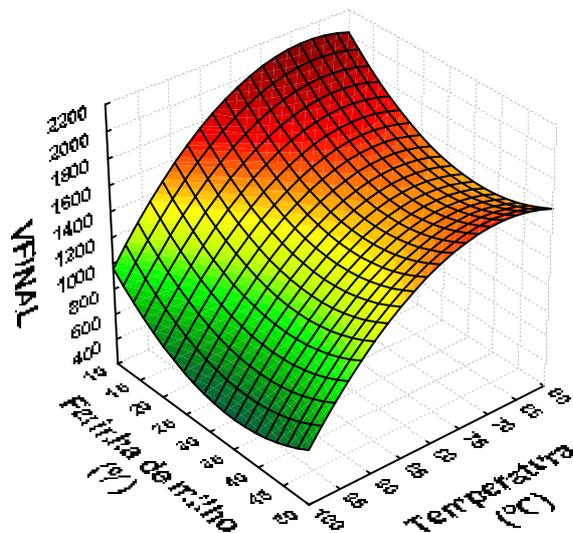


Figura 22. Efeito das variáveis quantitativas Farinha de milho (%) e Temperatura (°C), na viscosidade final (cP), dos macarrões pré-cozidos a base de farinha mista de arroz integral e milho

Ascheri et al., (2006), analisando as características de viscosidade de pasta em farinhas mistas extrusadas de bagaço de jabuticaba e arroz polido, detectou um efeito negativo entre a formulação e a viscosidade final, ou seja, quanto maior o percentual de farinha de bagaço de jabuticaba, menor o valor de viscosidade final. O contrário aconteceu com a temperatura, onde esta apresentou um efeito positivo sobre a viscosidade final.

4.8 Qualidade de Cozimento dos Macarrões Pré-Cozidos à Base de Farinha Mista de Arroz Integral e Milho

Os macarrões, após o processo de extrusão foram encaminhados para estufa até alcançar umidade em torno de 12 %, de acordo com a legislação, que estabelece um teor máximo de 13 % para massas secas (ANVISA, 2000). As massas então foram submetidas aos testes de cozimento e de qualidade. Primeiramente, foram caracterizadas quanto ao tempo de cozimento. Este foi determinado quando a massa apresentava-se opaca, homogênea e com o hilo central macio, determinado pelo teste das placas de vidro, segundo técnica de Ciacco e Chang (1986).

Além disto, foram caracterizadas quanto ao aumento de peso (%), aumento de volume (%), sólidos solúveis (%), aumento de peso (%) e grau de acidez alcoólica.

Para Leitão (1990), as características que mais interessam em uma prova de cozimento são o grau de cozimento, a resistência ao colamento, capacidade de absorção de água e aumento de volume. A prova de cozimento pode ser influenciada pela natureza e

qualidade da matéria-prima empregada, características do formato do produto acabado, sistema de processamento, secagem e o próprio sistema de cozimento.

Alguns defeitos mais comuns durante o teste de cozimento são a deformação e ruptura do formato, assim como a viscosidade do produto. Após o cozimento, as massas apresentaram-se com aspecto liso e coloração amarela homogênea, característico da adição de emulsificante, segundo Nabeshima et al. (2003). De acordo com o autor, produtos extrusados nestas mesmas condições, sem adição de emulsificantes, apresentam bolhas de ar.

Após o teste de cozimento, foram escolhidos, dentre as 20 amostras do delineamento, os dois melhores tratamentos, de acordo com a aparência geral, comportamento e resistência ao cozimento, índice de absorção de água, intensidade da cor, cor da água de cocção (sólidos solúveis) e aumento de peso (calculado como rendimento da massa). Por se tratarem de massas pré-cozidas, o tempo de cozimento da maioria das amostras foi inferior ao tempo de cozimento para massas comerciais (convencionais) (Tabela 19).

Na Tabela 19 observa-se a caracterização de qualidade dos macarrões pré-cozidos, com destaque aos melhores tratamentos (T5 e T19).

Tabela 19. Resultados da caracterização de qualidade dos macarrões pré-cozidos a base de farinha mista de arroz integral e milho

T	X ₁	X ₂	X ₃	Tempo de cozimento (min)	Aumento de peso (%)	Aumento de volume (%)	Sólidos Solúveis (%)	Acidez Alcoólica
1	70	30	20	8	205,65	66,67	5,33	1,75
2	90	30	20	7	216,75	66,67	6,24	2,63
3	70	40	20	5'20"	208,77	66,67	11,27	3,00
4	90	40	20	5'45"	235,17	66,67	22,30	3,06
5	70	30	40	6'30"	206,06	66,67	6,37	1,88
6	90	30	40	6'30"	213,78	66,67	6,40	2,50
7	70	40	40	5'20"	193,78	66,67	22,60	3,44
8	90	40	40	4'24"	219,63	100,00	13,78	3,31
9	80	35	30	5'08"	196,26	66,67	19,04	2,50
10	80	35	30	5	197,67	66,67	14,37	2,50
11	80	35	30	5'20"	215,63	100,00	10,50	2,31
12	80	35	30	5'30"	213,60	25,00	7,85	2,25
13	80	35	30	5'30"	208,89	66,67	8,24	2,13
14	80	35	30	5	188,05	28,57	13,66	2,31
15	63,2	35	30	6'40"	194,85	50,00	16,92	2,00
16	96,8	35	30	7	208,82	25,00	10,44	2,38
17	80	26,6	30	11'30"	221,51	66,67	5,54	1,75
18	80	43,4	30	3'44"	201,80	66,67	11,48	1,69
19	80	35	13,2	6	205,59	33,33	4,97	2,13
20	80	35	46,8	5'50"	205,53	80,00	13,96	2,13
Controle Trigo (TDA)*	-	-	-	7	222,86	100,00	5,35	3,25
Controle Celíaco (TDB)**	-	-	-	8	269,38	66,67	16,07	1,00

* Macarrão talharim a base de trigo

** Macarrão isento de glúten comercial (a base de farinha de arroz polido e farinha de milho)

X₁: Temperatura (°C)

X₂: Umidade (%)

X₃: Farinha de milho (%)

T: tratamentos

4.8.1 Resultados da análise de tempo de cozimento dos macarrões em segundos

O tempo de cozimento é uma função da coesão da massa, pela interação das proteínas dos grupos gliadina e glutenina e do amido presente (CRUZ e SOARES, 2004).

Os valores do teste F e respectivas probabilidades (P) dos parâmetros obtidos através da análise de variância do modelo aplicado estão descritos na Tabela 20. A equação da regressão quadrática aplicada apresentou um valor de R^2 igual a 0,7934 explicando 79,34 % da variação total do tempo de cozimento em torno da média e 20,66 % aos resíduos. Evidencia-se a falta de ajuste do modelo aos dados experimentais, uma vez que, a variação devido à falta de ajuste, é altamente significativa ($P < 0,01$).

Na Tabela 20 também estão os coeficientes e respectivos efeitos do modelo de regressão quadrática ajustada para os tempos de cozimento dos macarrões. Os resultados mostram que o intercepto foi altamente significativo ($P < 0,01$), demonstrando que o ponto central foi escolhido adequadamente. O tempo de cozimento previsto para este tratamento (316,2 seg.) praticamente coincidiu com o valor médio dos valores experimentais que foi de 315 seg. (Tabela 19).

A variável temperatura linear e as interações temperatura *versus* umidade, temperatura *versus* percentual de farinha de milho e umidade *versus* percentual de farinha de milho, não foram significativas ao nível de 5 % de probabilidade. Estes resultados são muito importantes, uma vez que o uso de altas temperaturas gera gastos de energia proporcionando um produto final dispendioso.

Todas as outras variáveis contribuíram intensivamente na variação do ajuste do modelo utilizado aos valores observados. As variáveis lineares de umidade e percentual de farinha de milho apresentaram efeitos negativos, proporcionando um decréscimo no tempo de cozimento. Efeitos positivos foram observados nas variáveis quadráticas de temperatura e umidade. Maior foi a contribuição da umidade para a variação quadrática do tempo de cozimento.

Na Tabela 20 apresentam-se os resultados experimentais assim como os valores reais do planejamento. Nesta tabela se observa que o maior tempo de cozimento foi registrado para o macarrão obtido a uma temperatura de 80°C, 27 % de umidade e 30 % de farinha de milho, alcançando um tempo médio de 690 s (11 min. 30 s.). O menor tempo de cozimento foi do macarrão obtido na temperatura de 80 °C, 43,4 % de umidade e 30 % de farinha de milho, correspondendo a 224 s (3 min. e 44 s).

Pelas considerações feitas através da análise de variância (Tabela 20) e fazendo uso dos coeficientes observados, a equação do modelo matemático proposto para as variáveis independentes codificadas (equação 12) fica rescrita como:

$$\text{Tempo de Cozimento} = 316,2 - 88,9.X_2 - 15,9.X_3 + 23,8.X_1^2 + 40,4.X_2^2 + 4,4 X_3^2$$

Nas Figuras 23 e 25 se mostram as superfícies de resposta da variação do tempo de cozimento dos macarrões frente às variáveis temperatura e umidade, temperatura e farinha de milho e umidade e farinha de milho, respectivamente. Por meio das Figuras 23 a 25 é possível verificar a tendência a um efetivo cozimento dos macarrões, isto é, o tempo mínimo de cozimento pode ser atingido nas condições de processo de extrusão de 80 °C de temperatura, 43 % de umidade e 30 % de farinha de milho (tratamento 18), correspondendo a um tempo de cozimento de 3 min. e 44 seg.(Tabela 19).

As massas que obtiveram menores valores de tempo de cozimento são indicativas para serem os melhores tratamentos.

Tabela 20. Teste F da análise de variância, coeficientes de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicado ao tempo de cozimento do macarrão de farinha mista de arroz integral e milho, obtidos por análise de superfície de resposta, em função da temperatura (X_1), Umidade (X_2) e % de farinha de milho (X_3)

Fator	Teste F	Coefficiente de Regressão	Estimativa dos efeitos	P
Intercepto	--	316,2	316,2	< 0,01 **
X_1	1,2	-4,2	-8,4	> 0,05 n.s.
X_1^2	42,0	23,8	47,6	< 0,01 **
X_2	555,0	-88,9	-177,9	< 0,01 **
X_2^2	121,1	40,4	80,9	< 0,01 **
X_3	17,8	-15,9	-31,9	< 0,01 **
X_3^2	1,4	4,4	8,8	< 0,01 * *
$X_1 \cdot X_2$	0,5	3,6	7,2	> 0,05 n.s.
$X_1 \cdot X_3$	0,3	-2,6	-5,3	> 0,05 n.s.
$X_2 \cdot X_3$	1,0	4,9	9,8	> 0,05 n.s.
Falta de ajuste	36,8	--	--	< 0,01 **

R²: 0,7934

** Altamente significativo ao nível de confiança de 99 % ($p < 0,01$).

n.s. Não significativo.

-- não determinados.

De acordo com a Tabela 20 pode-se verificar maior efeito na variável umidade linear (maior magnitude em comparação com a variável temperatura) indicando que a variação do tempo de cozimento foi inversamente proporcional à porcentagem de umidade da farinha mista crua. Sendo assim, o aumento do valor de umidade diminui o tempo de cozimento, devido ao processo de gelatinização ser mais extenso (maior percentual de grânulos de amido gelatinizados), resultando em menor tempo de cocção.

O mesmo foi observado por Oliveira et al., (2004). A elevação da umidade da farinha mista crua e da temperatura resultou na diminuição do tempo ótimo de cozimento de massas pré-cozidas de trigo e soja, sendo que, para as massas comerciais, necessitou-se de maior tempo de cozimento.

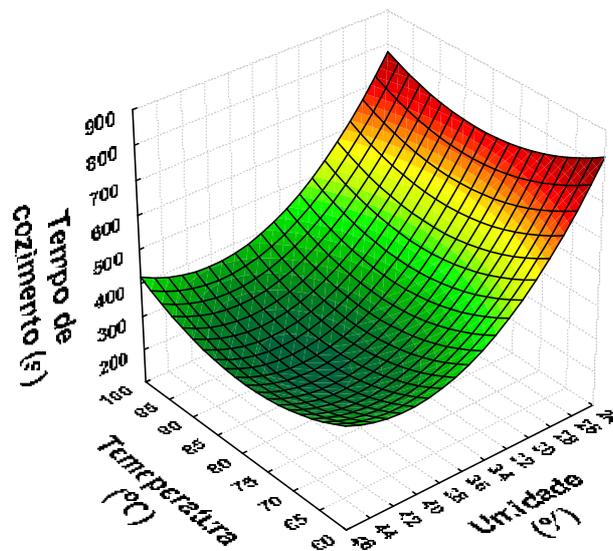


Figura 23. Efeito das variáveis quantitativas Temperatura (%) e Umidade (°C), no tempo de cozimento, dos macarrões pré-cozidos a base de farinha mista de arroz integral e milho

A Figura 24 representa o efeito das variáveis temperatura e % de farinha de milho na variável resposta. Apesar do teor de farinha de milho produzir um efeito significativo sobre o tempo de cozimento, a variável temperatura apresentou um efeito quadrático maior. Nota-se, na maioria das amostras submetidas ao teste de cozimento que, com o aumento da temperatura, houve uma redução no tempo de cozimento.

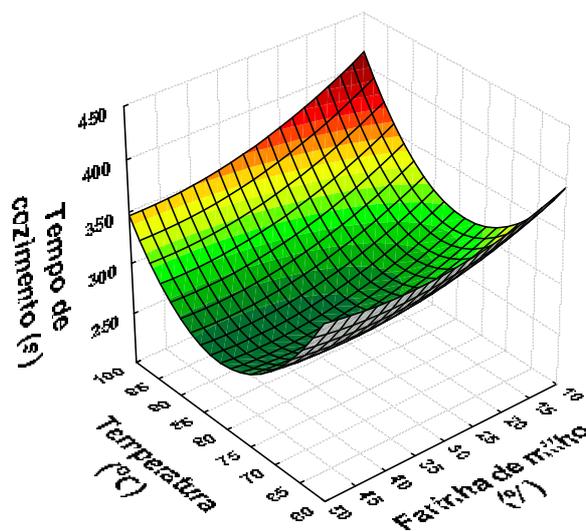


Figura 24. Efeito das variáveis quantitativas Temperatura (°C) e Farinha de milho (%), no tempo de cozimento, dos macarrões pré-cozidos a base de farinha mista de arroz integral e milho

Na Figura 25, mais uma vez observou-se que a variável umidade foi a que exerceu maior influência no tempo de cozimento das massas pré-cozidas de farinha mista de arroz integral e de milho.

O tempo de cozimento do macarrão pré-cozido elaborado com farinha de trigo e farinha de feijão-guandu, no estudo de Casagrande et al., (1999) foi em média de 11 minutos, não caracterizando um produto de boa qualidade, visto que massas pré-cozidas devem possuir valores mais baixos de tempos de cocção.

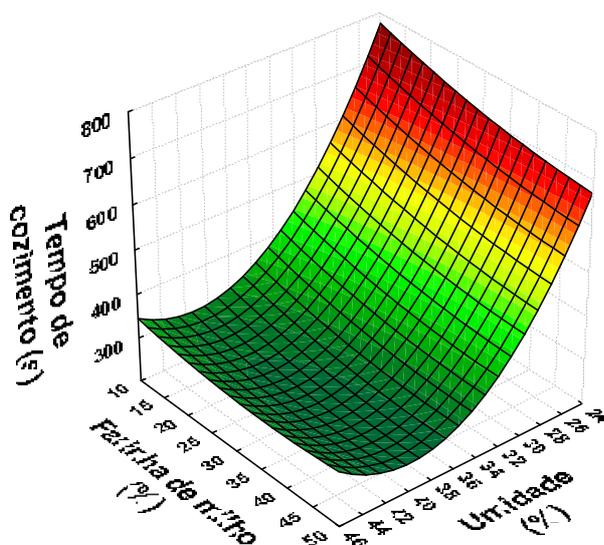


Figura 25. Efeito das variáveis quantitativas Farinha de milho (%) e Umidade (%), no tempo de cozimento, dos macarrões pré-cozidos a base de farinha mista de arroz integral e milho

4.8.2 Teor de sólidos solúveis (SS %)

Na Tabela 19 se observa que o maior teor de sólidos solúveis foi registrado para o macarrão obtido a uma temperatura de 70°C, umidade de 40 % e 40 % de farinha de milho, alcançando um percentual de 22,60 %. O menor teor de SS foi do macarrão obtido na temperatura de 80 °C, 35 % de umidade e 13,18 % de farinha de milho, correspondendo a 4,97 % de SS.

Os valores do teste F e respectivas probabilidades (P) dos parâmetros obtidos pela análise de variância do modelo aplicado estão na Tabela 21. A equação da regressão quadrática aplicada apresentou um valor de R^2 igual a 0,29146, muito baixo para que o modelo de regressão seja considerado preditivo. Não se evidencia a falta de ajuste do modelo aos dados experimentais, uma vez que a variação devido à falta de ajuste, não é estatisticamente significativa ($P > 0,05$).

Na Tabela 21 também estão os coeficientes e respectivos efeitos do modelo de regressão quadrática ajustada para os percentuais de sólidos solúveis dos macarrões. Os resultados mostram que o intercepto foi altamente significativo ($P < 0,01$) demonstrando que o ponto central foi escolhido adequadamente. O teor de sólidos solúveis previsto para este tratamento foi de 12,23 %, praticamente coincidindo com o resultado médio dos valores experimentais que foi de 12,28 % (Tabela 19).

Apenas a variável linear umidade contribuiu intensivamente na variação do ajuste do modelo utilizado aos valores observados apresentando efeito positivo, proporcionando um aumento no teor de sólidos solúveis.

Da Tabela 21, a equação do modelo matemático proposto para as variáveis independentes codificadas (equação 13) fica rescrita como:

$$\% \text{ SS} = 12,2 + 4,1.X_2$$

Tabela 21. Teste F da análise de variância, coeficientes de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicado ao teor de sólidos solúveis (%) do macarrão de farinha de arroz integral e farinha de milho, obtidos por análise de superfície de resposta, em função da temperatura (X_1), Umidade (X_2) e % de farinha de milho (X_3)

Fator	Teste F	Coefficiente de Regressão	Estimativa dos efeitos	P
Intercepto	--	12,2	12,2	< 0,01 *
X_1	0,2	-0,6	-1,1	> 0,05 ^{n.s.}
X_1^2	0,5	0,8	1,6	> 0,05 ^{n.s.}
X_2	12,4	4,1	8,1	< 0,01 *
X_2^2	0,9	-1,0	-2,1	> 0,05 ^{n.s.}
X_3	1,5	1,4	2,8	> 0,05 ^{n.s.}
X_3^2	0,4	-0,7	-1,4	> 0,05 ^{n.s.}
$X_1.X_2$	0,0	0,2	0,3	> 0,05 ^{n.s.}
$X_1.X_3$	2,9	-2,6	-5,2	> 0,05 ^{n.s.}
$X_2.X_3$	0,0	0,2	0,4	> 0,05 ^{n.s.}
Falta de ajuste	1,5	--	--	> 0,05 ^{n.s.}
R²: 0,29146				

* Significativo ao nível de confiança de 95 % ($p < 0,05$).

^{n.s.} Não significativo.

-- não determinados.

Na Figura 26 se mostra a superfície de resposta da variação do teor de sólidos solúveis dos macarrões frente às variáveis temperatura e umidade. Nesta figura se verifica a tendência positiva do teor de sólidos solúveis em função à porcentagem de umidade das farinhas mistas cruas.

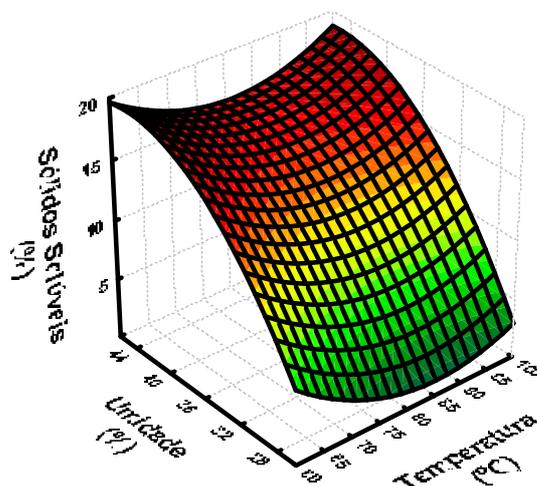


Figura 26. Efeito das variáveis quantitativas Umidade (%) e Temperatura (°C), na perda de sólidos solúveis (%), dos macarrões pré-cozidos a base de farinha mista de arroz integral e milho

Neste estudo, as amostras que apresentaram menor tempo de cozimento e maior teor de umidade, resultaram em maiores perdas de sólidos solúveis. Ou seja, ao levarmos as amostras pré-gelatinizadas ao cozimento, os grânulos de amido que já se encontravam gelatinizados, passam agora, com o aquecimento a sofrerem uma “quebra”. Este fenômeno foi relatado por Dexter et al., (1981) onde constataram que, além da temperatura alta, um conteúdo ligeiramente alto de umidade pode também, aumentar a possibilidade de gelatinização do amido, explicando-se as suas perdas relativamente altas durante o cozimento.

De acordo com Hummel (1966), o macarrão seco que apresenta até 6 % de perda de sólidos, é considerado muito bom; até 8 % regular; e acima de 10 % ruim. Considerando esta forma de avaliação, os valores de perdas de sólidos solúveis nas massas pré-cozidas de farinha mista de arroz integral e milho estão dentro dos parâmetros de qualidade de massas, principalmente para os melhores tratamentos T5 (6,37 %) e T19 (4,97 %), constituindo assim, um dos parâmetros mais importantes para a escolha dos melhores tratamentos deste estudo.

Geralmente materiais que contenham fibras e/ou uma quantidade relativamente alta de proteína, possuem maior perda de sólidos na água de cocção, porém uma explicação para a menor perda de sólidos nos melhores tratamentos e em algumas outras amostras foi o fato da adição de emulsificante (1,5 %) à massa.

No caso de massas alimentícias não convencionais, como é o caso da massa pré-cozida de arroz integral e milho, procura-se formar uma estrutura semelhante a do glúten através do emprego de tecnologias que explorem as propriedades funcionais do amido presente na matéria-prima ou através da adição de aditivos (ORMENESE e CHANG, 2003).

De acordo com Ciacco e Chang (1986), os monoglicerídeos quando adicionados à farinha interagem com o amido. Esses compostos envolvem os grânulos de amido, neutralizando a carga superficial deste e, dessa forma, modificam as suas propriedades reológicas. Com a neutralização das cargas superficiais não ocorre repulsão entre os grânulos, o que facilita a extrusão e faz com que o produto tenha uma superfície mais lisa e menor perda de sólidos durante o cozimento. Nabeshima et al., (2003) avaliando o efeito da adição de emulsificantes em massas produzidas com farinha de arroz polido, notou um decréscimo de até 71 % na perda de sólidos na água de cozimento, em comparação com massas comerciais de trigo.

A formação de um complexo entre emulsificante e amilose resulta em mudanças no transporte de água para dentro dos grânulos de amido. Se esses complexos forem formados na superfície do grânulo de amido, um filme insolúvel poderá ser formado, resultando em um atraso na gelatinização durante a cocção (LAI, 2001). Além das menores perdas por cocção, isso pode explicar o menor aumento de peso em tratamentos semelhantes.

4.8.3 Resultados da análise de grau de acidez alcoólico (GAA) dos macarrões

Na Tabela 19 apresentam-se os resultados experimentais assim como os valores reais do planejamento. Nesta Tabela 19 se observa que o maior grau de acidez alcoólico foi registrado para o macarrão obtido a uma de temperatura 70°C, umidade de 40 % e 40 % de farinha de milho, alcançando um grau médio de 3,44. O menor grau foi atingido nas condições de temperatura de 70 °C, 30 % de umidade e 20 % de farinha de milho, correspondendo a um grau de acidez alcoólico de 1,75.

Os valores do teste F e respectivas probabilidades (P) dos parâmetros obtidos através da análise de variância do modelo aplicado estão na Tabela 22. A equação da regressão quadrática aplicada apresentou um valor de R^2 igual a 0,4518, muito baixo para que o modelo seja considerado preditivo, atribuindo 54,82 % aos resíduos.

Na Tabela 22 também estão os coeficientes e respectivos efeitos do modelo de regressão quadrática ajustada para os valores de grau de acidez alcoólico dos macarrões. Através dos resultados podemos perceber que o intercepto foi altamente significativo ($P < 0,01$), demonstrando que o ponto central foi escolhido adequadamente. O valor do grau de acidez alcoólico previsto para este tratamento foi de 2,31 coincidindo com o valor médio dos valores experimentais que foi de 2,33 (Tabela 19).

As variáveis lineares temperatura e umidade e suas interações foram significativas ao nível de 1 % de probabilidade apresentando ambas variáveis efeitos positivos, porém, efeito negativo na interação das mesmas indicando que quanto maior o valor da interação menor é o grau de acidez alcoólico dos macarrões.

Como pode ser observado na Tabela 22 através dos efeitos, a umidade apresentou maior efeito seguido pela temperatura e posteriormente pela interação.

A origem da acidez na massa deve ser considerada de natureza enzimática, isto é, provocada pela ação das enzimas sobre os hidratos de carbono, que representam os constituintes mais importantes do ponto de vista quantitativo de matéria-prima empregada. Tal ação enzimática encontra seu ambiente mais propício nas várias fases de processamento, particularmente na operação de secagem (LEITÃO et al., 1990). Portanto, quanto maior o teor de umidade presente nas amostras, maior o favorecimento da ação de enzimas que provocam o aumento da acidez.

Durante a operação de processamento, ocorre variação substancial de acidez entre a matéria-prima e o produto pronto. Essa diferença não deve ultrapassar 10 % do valor de acidez inicial. Na farinha de arroz integral, o valor inicial de acidez (%v/p) foi em média de

2,45 %, indicando que este material encontrava-se com qualidade suficiente para ser utilizado na fabricação de massa pré-cozida (LEITÃO et al., 1990).

A temperatura também pode afetar o grau de acidez alcoólico. No estudo de Ormenese et al., (2005), os autores detectaram um menor grau de acidez alcoólico em massas que sofreram processos de alta secagem inicial e alta secagem no estágio final, quando comparados aos processos convencionais de secagem (28 °C-0,5h; 50 °C-4h; 47 °C-2h). Esta observação está de acordo com Hummel (1966). Este autor cita que, quanto mais lenta a secagem, principalmente na fase inicial, maior o desenvolvimento da acidez.

A qualidade da massa depende das características de suas matérias-primas e das condições de secagem. A secagem é a etapa que exige maior controle durante o processo de fabricação, pois pode afetar não só a preservação, mas também a qualidade do produto (LEITÃO et al., 1990).

Para a secagem das massas pré-cozidas deste estudo, foi utilizada uma secagem convencional, estabelecida após testes preliminares. O material foi submetido a calor de 40 °C a uma umidade relativa alta, durante 1 hora e logo após, desligada a estufa e deixadas as amostras durante mais 15 minutos em umidade relativa mais baixa, até estabelecer temperatura de equilíbrio com o ambiente. Com este modelo de secagem, não foram obtidos valores de acidez alcoólico tão elevados, se comparados aos do estudo de Ormenese et al. (1998), onde a média dos graus de acidez encontrados foi de 4,5, valor este muito alto quando comparado à media encontrada para as massas pré-cozidas de farinha mista de arroz integral e milho, de 2,33.

A equação do modelo matemático proposto para as variáveis independentes codificadas (equação 14) fica rescrita como:

$$GAA = 2,3 + 0,2.X_1 + 0,3.X_2 - 0,2.X_1.X_2$$

Na Figura 27 encontra-se a superfície de resposta da variação do grau de acidez alcoólico dos macarrões frente às variáveis temperatura e umidade. Nesta figura se observa que o maior grau de acidez foi atingido na temperatura mais baixa e no teor de umidade mais alta, para 30 % de farinha de milho, correspondendo a um grau de acidez alcoólico de 3,44. No entanto, também se observa maior grau de acidez alcoólico dos macarrões quando processados a partir de farinhas mistas cruas com teor de umidade entre 30 e 35 %, em alta temperatura (96 °C) e 30 % de farinha de milho, correspondendo em média a um grau de acidez alcoólico de 2,79. Esta última observação não é nada interessante uma vez que requer alta temperatura e como tal, é dispendioso no processo de extrusão.

Menor valor desta variável independente foi estimado em baixas temperatura (63 °C) e umidade (26 %) para 30 % de farinha de milho correspondendo a 0,99 graus de acidez alcoólica.

Tabela 22. Teste F da análise de variância, coeficientes de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicado ao grau de acidez alcoólica do macarrão de farinha de arroz integral e farinha de milho, obtidos por análise de superfície de resposta, em função da temperatura (X_1), Umidade (X_2) e % de farinha de milho (X_3)

Fator	Teste F	Coefficiente de Regressão	Estimativa dos efeitos	P
Intercepto	--	2,3	2,3	< 0,01 **
X_1	14,7	0,2	0,3	< 0,01 **
X_1^2	6,4	0,1	0,2	> 0,05 n.s.
X_2	53,7	0,3	0,6	< 0,01 **
X_2^2	3,2	-0,1	-0,1	> 0,05 n.s.
X_3	1,6	0,1	0,1	> 0,05 n.s.
X_3^2	3,8	0,1	0,1	> 0,05 n.s.
$X_1.X_2$	14,3	-0,2	-0,4	< 0,01 **
$X_1.X_3$	1,1	-0,1	-0,1	> 0,05 n.s.
$X_2.X_3$	2,8	0,1	0,2	> 0,05 n.s.
Falta de ajuste	23,8	--	--	< 0,01 **

R²: 0,4518

** Altamente significativo ao nível de confiança de 99 % ($p < 0,01$).

n.s. Não significativo.

-- não determinados.

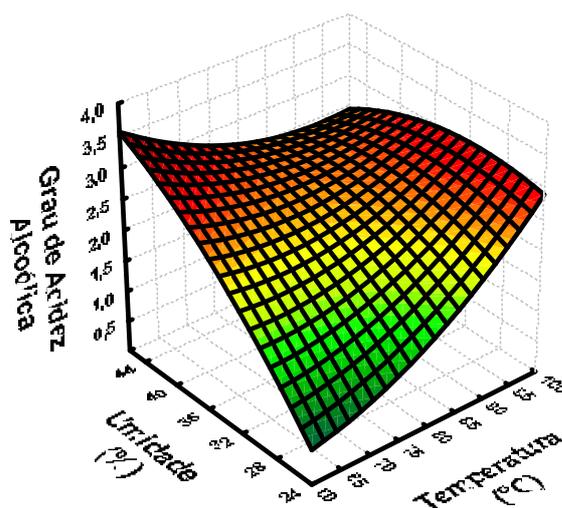


Figura 27. Efeito das variáveis quantitativas Umidade (%) e Temperatura (°C), no grau acidez alcoólica, dos macarrões pré-cozidos a base de farinha mista de arroz integral e milho

4.8.4 Outros parâmetros de qualidade: aumento de peso (%) e aumento de volume (%)

Após o estabelecimento do tempo ótimo de cozimento, as massas são drenadas e logo após, medidos os valores de aumento de peso (%) e aumento de volume (%).

Os parâmetros aumento de peso e aumento de volume estão relacionados à capacidade de absorção de água das massas e dependem do formato do macarrão.

O maior valor de aumento de peso (235,17 %) foi verificado na amostra submetida a uma temperatura de 90 °C, 40 % de umidade e 20 % de farinha de milho. Por outro lado, o menor valor detectado (188,05 %) está na amostra submetida a uma temperatura de 80 °C, 35 % de umidade e 30 % de farinha de milho (ponto central). Também foram encontrados valores mais baixos de aumento de peso em amostras contendo alta umidade e valores superiores de aumento de peso naqueles tratamentos submetidos a temperaturas entre 80 e 90 °C (Tabela 19). Mesmo assim, estes resultados são relativamente baixos, quando comparados ao macarrão comercial isento de glúten (269,38 %) e ao macarrão comercial de trigo (222,86 %). Este fenômeno foi citado anteriormente por Ormenese e Chang (2002).

O maior valor de aumento de volume foi verificado nas amostras submetidas a temperaturas entre 80 e 90 °C, 35 a 40 % de umidade e 30 a 40 % de farinha de milho, resultando em valores de 100 %. Porém, o menor valor, nas amostras submetidas a temperaturas entre 80 e 96 °C, 35 % de umidade e 30 % de farinha de milho (Tabela 19).

Oliveira et al., (2004) evidenciaram que, uma elevação na temperatura reduziu o aumento de peso e volume no tempo ótimo de cozimento das massas pré-cozidas de trigo e soja, até um valor mínimo, além do qual, houve um aumento. Além disso ocorreu também uma redução do peso e do volume no tempo ótimo de cozimento com a elevação do nível de umidade.

Os autores explicam que, níveis mais altos de umidade, o amido é pré-gelatinizado e as proteínas são desnaturadas, em virtude do calor mais intenso no extrusor, perdendo assim, a capacidade de intumescimento e, conseqüentemente, diminuindo o aumento de peso e de volume dos mesmos.

Quanto ao aumento observado no peso e volume no tempo ótimo de cozimento com a elevação da temperatura, sugere-se que seja devido a formação dos produtos resultantes da reação de Maillard (reação entre aminoácidos e açúcares redutores cujo produto são melanoidinas), retendo a água de cozimento e aumentando assim o peso e o volume das massas pré-cozidas (FERNANDES et al., 2002).

Edwards et al., (1993) constataram que o valor de aumento de peso da massa cozida aumentou com o tempo de cozimento. Este fato pode ser verificado após o cozimento das massas pré-cozidas de farinha mista de arroz integral e milho. Um dos maiores valores de aumento de peso (221,5 %) foi detectado na amostra submetida ao maior tempo de cozimento (11 min e 30 s), porém isto não pode ser considerado regra, uma vez que possuímos valores elevados de aumento de peso, mesmo com tempos de cozimento menores.

Quanto ao valor ideal de aumento de peso, considera-se como resultado adequado um valor equivalente a aproximadamente duas vezes o peso original (200 %) (CASAGRANDE et al., 1999). Portanto, este parâmetro constituiu uma importante fonte para a escolha dos melhores tratamentos T5 (206 %) e T19 (205,6 %).

A relação entre a adição de emulsificantes e o aumento de peso e volume ainda é questionável. Alguns autores, tais como Chungcharoen e Lund (1987) afirmam que o emulsificante possui a capacidade de formar um complexo entre lipídio e amilose, inibindo o inchamento e a solubilização do grão de amido. Por outro lado, Nabeshima et al., (2003), detectaram diferenças significativas entre massas pré-cozidas de farinha de arroz controle (sem adição de emulsificante) e massas contendo 1,0 % deste, no aumento de peso. As massas que continham 1,0 % de emulsificante apresentaram maior aumento de peso (112,42 %), em

comparação às massas controle (87,97 %). Porém, os valores de aumento de volume não foram significativos ($P>0,05$), entre as diferentes massas analisadas.

4.9 Textura Instrumental

Entre os “fatores sensoriais de aceitabilidade”, tais como a aparência, textura e sabor, a textura é um fator extremamente importante neste tipo de produto. Existem alimentos em que a textura é o fator mais importante na escolha do consumidor.

Medidas sensoriais de textura são percebidas primariamente pelo tato, embora os olhos e os ouvidos possam dar informação de alguns dos componentes importantes do perfil geral de textura de um produto.

Textura é a forma de sensações kinestéticas (kinen = sentido do músculo; aesthesis = percepção) derivadas da degustação de um alimento, englobando as sensações na boca, as propriedades mastigatórias, propriedades residuais e o som (MODESTA, 2006).

Dentre as propriedades físicas captadas pelos receptores bucais, as características mecânicas se destacam por avaliar parâmetros como a dureza, coesividade, elasticidade, adesividade, mastigabilidade, gomosidade, entre outros (MODESTA, 2006). Entretanto, este enfoque de priorização da textura não elimina a importância do impacto causado pela cor na aceitação ou rejeição dos alimentos pelos consumidores.

A firmeza foi o parâmetro sensorial avaliado nas amostras. Firmeza é definida como o trabalho em gramas-centímetros requeridos para partir um pedaço da amostra (AACC, 1983).

Para cada amostra (T5 e T19), foram realizadas cinco leituras. As médias e seus respectivos desvios estão representados na tabela abaixo.

Tabela 23. Média representativa da análise de textura instrumental para a avaliação do parâmetro firmeza, nas amostras (T5 e T19), dos macarrões pré-cozidos de farinha mista de arroz integral e milho

Tratamentos	Força (g) \pm DP	Distância (mm) \pm DP
5	226,99 \pm 16,90	4,33 \pm 0,13
19	145,48 \pm 1,69	4,38 \pm 0,13

DP: Desvio-padrão

Edwards (1993), avaliando as características de firmeza de massas contendo *grano duro*, em diferentes tempos de cozimento, encontrou resultados semelhantes às massas pré-cozidas de farinha de arroz integral e farinha de milho. Resultados estes que variaram entre 210 \pm 14,5 (g) (para amostras com 6 minutos de cozimento) a 155,2 \pm 4,2 (g) (para amostras com 12 minutos de cozimento). Chang e Flores (2004) também encontraram valores próximos de firmeza para massas produzidas com grano duro (232g), porém, valores que se assemelham mais à amostra T19, para massas produzidas com 100 % de farinha de trigo (166g).

Portanto, podemos sugerir que o valor de textura instrumental para firmeza, encontrado para o tratamento T5, se aproxima dos valores encontrados para massas de grano duro comerciais. Porém os valores encontrados na literatura de firmeza para massas produzidas com farinha de trigo se aproximam mais do valor encontrado para a amostra T19.

4.10 Análise Sensorial dos Macarrões Pré-Cozidos de Farinha Mista de Arroz Integral e Milho (T5 e T19)

A análise sensorial pode ser definida, de acordo com o Institute of Food Technologists (IFT, 1975), como responsável por mostrar, medir, analisar e interpretar reações características dos alimentos e outros materiais quando são percebidas pelos sentidos da visão, olfato, gosto, tato e audição.

Dentre os resultados obtidos através da caracterização dos 81 provadores não treinados (ANEXO E); 98,8 % dizem gostar de macarrão e 100 % consomem este alimento (massas comerciais à base de trigo). De acordo com a frequência do consumo, não houve percentual para quem “nunca” consome macarrão, porém 2,5 % dizem consumir raramente, 19,7 % esporadicamente, 74 % frequentemente e 3,7 % diariamente. A prevalência da faixa etária dos provadores que se situava entre 17 e 30 anos foi de 45,6 %; 31 e 50 anos de 45,6 %; 51 e 60 anos de 8,9 %. O grau de instrução da população foi de 1,2 % (1º grau incompleto); 3,7 % (1º grau completo); 9,9 % (2º grau); 22,2 % (universitário incompleto); 27,2 % (universitário) e 35,8 % (pós-graduado). Por fim, foi questionado o quanto gostavam de experimentar novos produtos e 3,7 % do total responderam “talvez” e 96,3 % que certamente gostam de experimentar novos produtos.

As Figuras 28 a 35 representam, graficamente, cada parâmetro avaliado na análise sensorial, entre as duas amostras T5 e T19, divididos em dois grupos (sem informação nutricional a respeito do produto e com informação nutricional a respeito do produto).

Cada provador foi orientado a definir, caso queira, de forma livre, o que mais gostou e o que menos gostou nas duas amostras. Dentre as qualidades da amostra T19 (13,2 % de farinha de milho) destacam-se o sabor da massa, o molho e a leveza, entre os provadores sem informação a respeito do produto. Para aqueles que receberam informações nutricionais sobre a massa, as características de sabor de milho, o fato de não conter glúten, rapidez no preparo e sabor de fibras, foram as qualidades mais expressivas durante a análise sensorial. As repostas dadas ao quesito “menos gostou” entre provadores sem informação foram: formato da massa, textura muito macia e massa quebradiça. Para aqueles com informação foram: textura muito macia, massa quebradiça e sabor residual. Na amostra T5 (40 % de farinha de milho), os atributos de “mais gostou” dentre os provadores sem informação sobre a massa foram: textura, sabor, aparência, leveza e cor. Para aqueles com informação foram: presença de fibras, sabor de milho e sabor suave, o fato de não conter glúten e a cor. Dentre os atributos de “menos gostou”, apresentaram-se: “um pouco duro”, sabor residual e o molho, para provadores sem informação e características tais como “um pouco duro”, sabor de fibras e sabor de farinha, para aqueles que obtiveram informações a respeito das massas. Diante disto, podemos sugerir que, as respostas fornecidas pelos provadores que obtiveram informações sobre o produto estavam relacionadas de acordo com a composição e os benefícios nutricionais oferecidos pelas massas pré-cozidas.

Na avaliação da preferência geral das duas amostras constatou-se que, apesar de não haver diferença significativa, a maioria dos provadores “gostaram” do produto, sendo que, para a amostra T5 esse valor foi maior (80 %), para provadores sem informação a respeito do produto e maior para a amostra T19 para provadores com informações a respeito do produto (70,7 %). Ou seja, a amostra T5 foi aquela que obteve maior nota na análise de preferência geral e mais se aproximou do produto comercial.

Sem informação

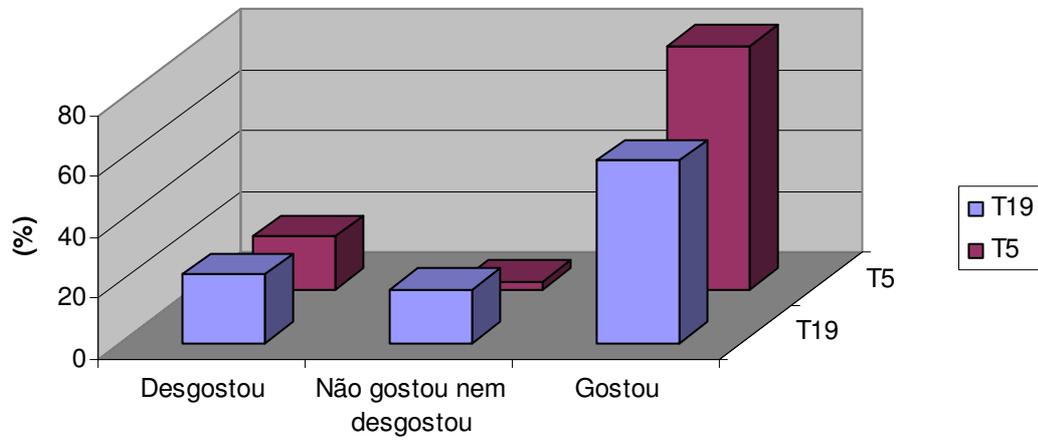


Figura 28. Resultados do teste de preferência geral, dos macarrões pré-cozidos T5 e T19. Provedores sem informação a respeito do produto

Com informação

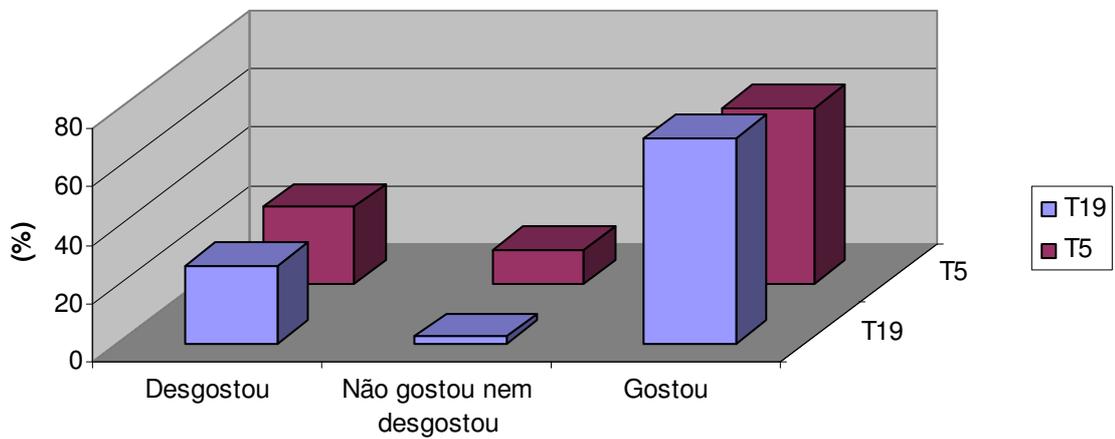


Figura 29. Resultados do teste de preferência geral, dos macarrões pré-cozidos T5 e T19. Provedores com informação a respeito do produto

Porém, de acordo com a análise estatística, não houve evidência de diferença significativa entre as médias das notas de preferência geral, dos dois tipos de macarrão ($P>0,05$). Também não houve diferença significativa entre as médias das notas de preferência geral para os dois grupos de provadores (com informação e sem informação) ($P>0,05$); indicando que, o fornecimento de informações a respeito dos produtos não influenciou as respostas dos provadores.

O sabor foi avaliado e, novamente, para a amostra T5, a maior nota foi atribuída, ou seja, 82,5 % dos provadores disseram “gostar” do macarrão, e não possuíam informações a respeito do produto. A amostra T19 apresentou maior nota (70,7 %) daqueles que possuíam informações a respeito das amostras.

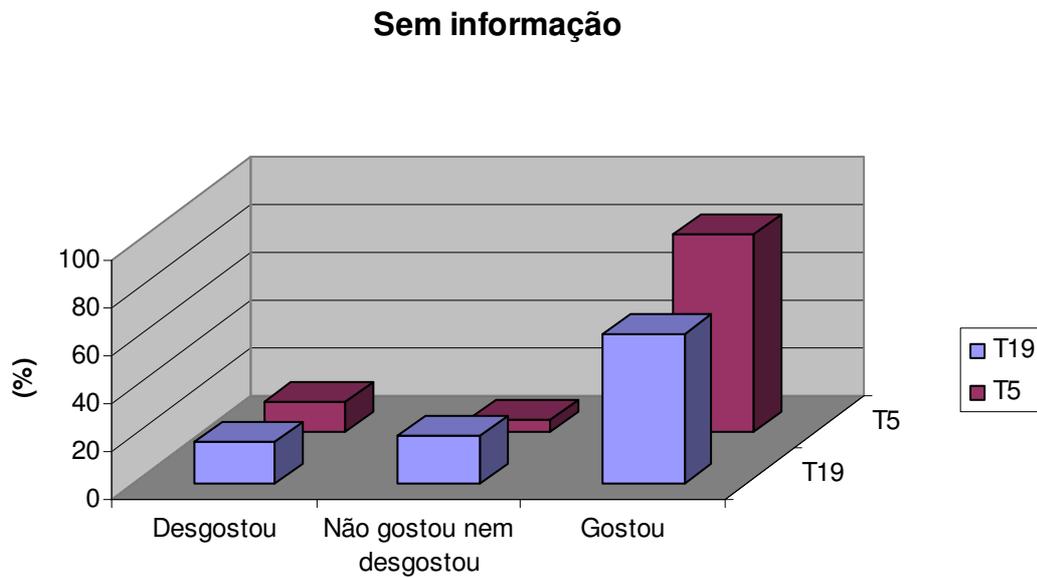


Figura 30. Resultados do teste de preferência, referente ao sabor dos macarrões pré-cozidos T5 e T19. Provadores sem informação a respeito do produto

Com informação

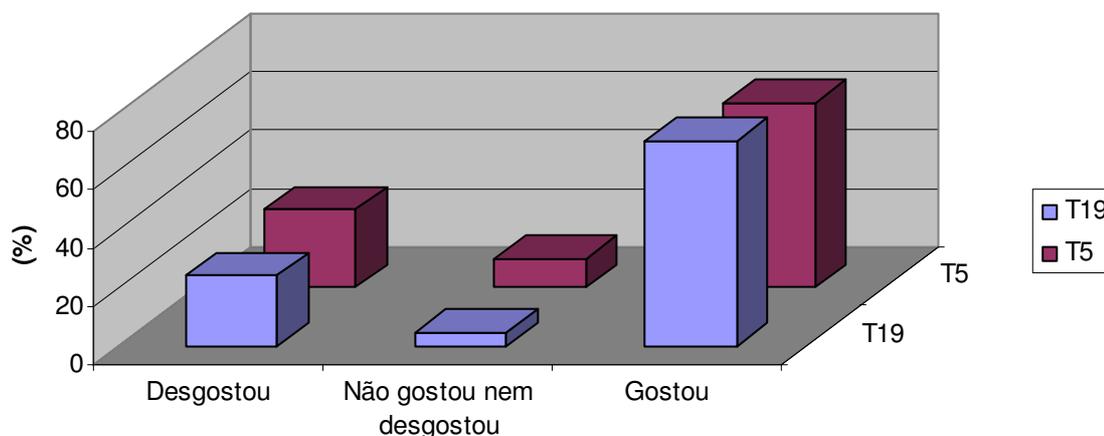


Figura 31. Resultados do teste de preferência, referente ao sabor dos macarrões pré-cozidos T5 e T19. Provadores com informação a respeito do produto

Porém, de acordo com a análise estatística aplicada, não houve diferença significativa ao nível de 5 % de probabilidade, entre as médias das notas de sabor, dos dois tipos de macarrão. Também não houve diferença significativa entre as médias de sabor, para os dois grupos de provadores, indicando mais uma vez que, as informações fornecidas sobre os produtos não influenciaram as respostas dos provadores.

O parâmetro “textura” foi avaliado e a amostra T5 foi aquela que mais apresentou textura ideal (34,1 %), na opinião dos provadores que possuíam informações a respeito das amostras. Para aqueles que não possuíam nenhuma informação, a amostra T19 apresentou maior percentual (17,5 %) de textura ideal. A maior parcela dos provadores sem informação (72,5 %) e com informação (56 %) achou que a amostra T5 apresentou textura considerada “muito dura”.

Ormenese et al., (2001) compararam, por meio de análise descritiva quantitativa, três formulações de macarrão de arroz produzidas pelo processo convencional de massas secas com o macarrão de trigo. Embora as massas de arroz tenham ficado pouco lisas e elásticas não diferiram da amostra de trigo no que diz respeito à firmeza. Na avaliação de uma das amostras, o produto teve sua aparência, textura e sabor bem aceitos pelo público-alvo (celíacos).

O fato desta amostra (T5) ter apresentado maior percentual de textura “muito dura”, pode estar relacionado com os resultados obtidos na análise de textura instrumental, para a mesma amostra ($226,99g \pm 16,9$ – Tabela 22). Este resultado se aproxima com aqueles obtidos para massas produzidas com grano duro, sugerindo que a textura “muito dura” pode ter sido interpretada como uma textura semelhante à de um produto contendo grano duro em sua composição. Mesmo assim, o parâmetro textura foi o mais citado como sendo um quesito do que “mais gostou” nesta amostra, de acordo com os provadores.

Além disso, a amostra T5 foi aquela que apresentou um perfil granulométrico, de partículas maiores. Como visto e mencionado anteriormente, isto resulta em um produto mais firme, tanto no cozimento quanto na mastigação.

Sem informação

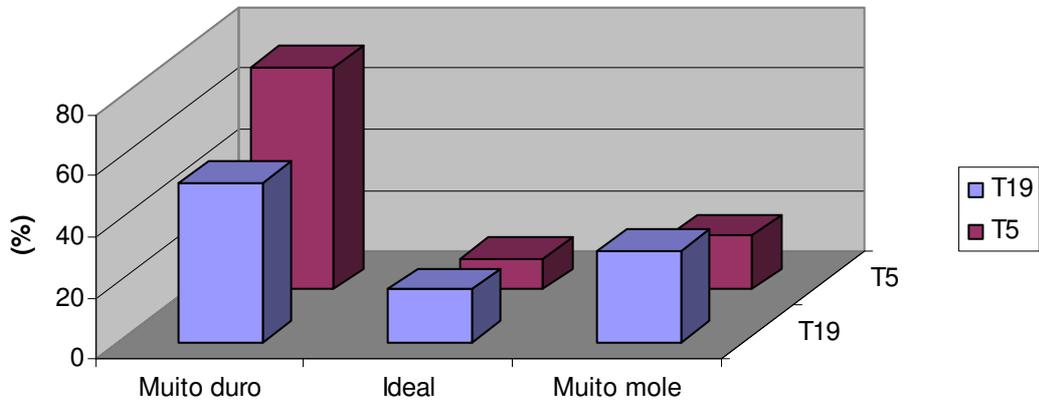


Figura 32. Resultados do teste de preferência, referente a textura dos macarrões pré-cozidos T5 e T19. Provedores sem informação a respeito do produto

Com informação

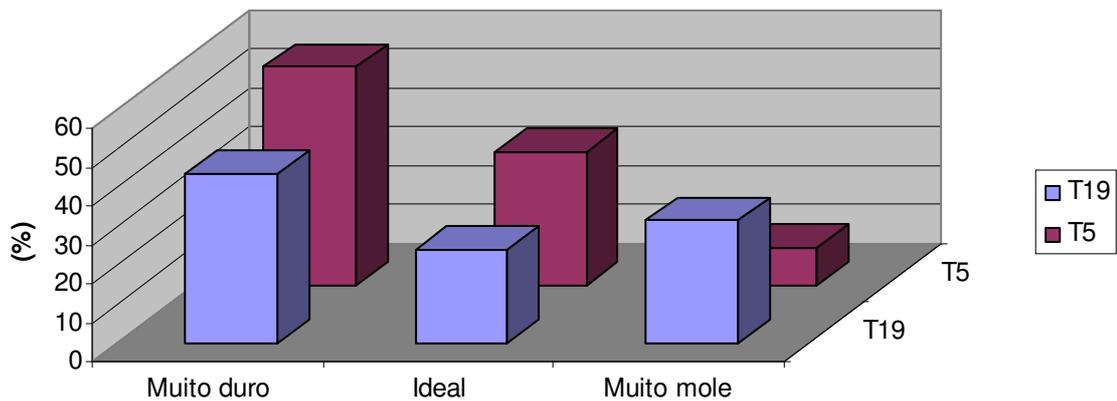


Figura 33. Resultados do teste de preferência, referente a textura dos macarrões pré-cozidos T5 e T19. Provedores com informação a respeito do produto

Segundo a análise estatística, existe evidência de diferença significativa entre as médias das notas de textura entre os dois tipos de macarrão. O tratamento 19 (T19) revelou uma média de nota referente a textura, significativamente superior (4,513>3,918) ($P<0,01$) à obtida com o tratamento 5 (T5). Porém, não houve evidência de diferença significativa entre as médias das notas referentes a textura, para os dois grupos de provadores ($P>0,05$).

A intenção de compra foi avaliada, para as duas amostras e para aqueles provadores desprovidos de informação, o maior percentual de intenção de compra foi para a amostra T5 (60 %).

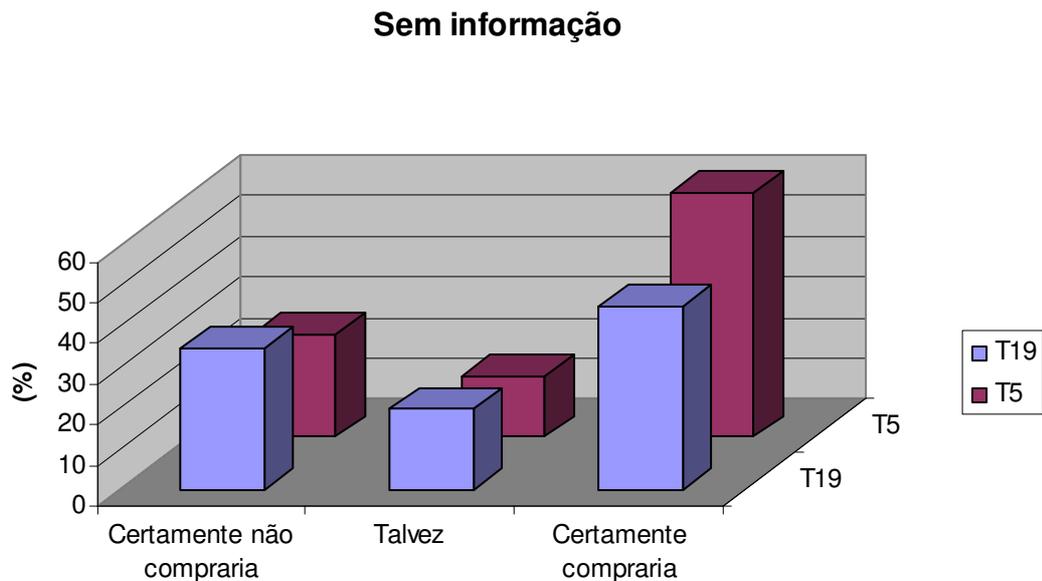


Figura 34. Resultados do teste de preferência, referente a intenção de compra dos macarrões pré-cozidos T5 e T19. Provadores sem informação a respeito do produto

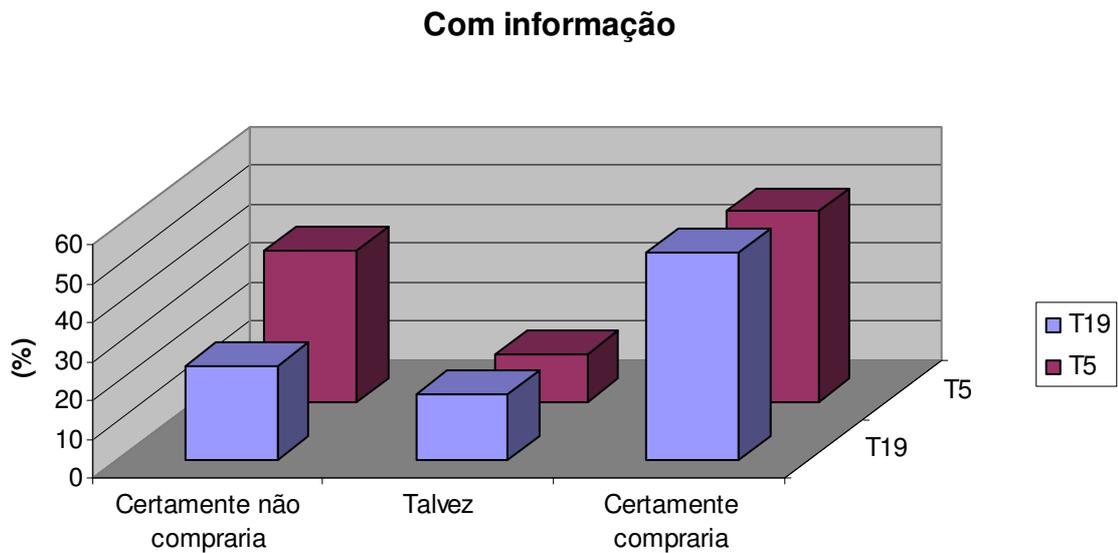


Figura 35. Resultados do teste de preferência, referente a intenção de compra dos macarrões pré-cozidos T5 e T19. Provadores com informação a respeito do produto

Porém, ainda em relação à intenção de compra, a análise estatística não evidenciou diferença significativa entre as médias das notas referentes a este quesito, para os dois tipos de macarrão ($P > 0,05$). Também não evidenciou diferença significativa para os dois grupos de provadores ($P > 0,05$), indicando que, neste quesito, as informações fornecidas para os provadores sobre os produtos, não influenciaram suas respostas.

Sendo assim, a análise sensorial foi fundamental para avaliar o quanto as massas pré-cozidas se aproximaram daquelas comerciais e o quanto foram aceitas pelos consumidores, mesmo tratando-se de um produto com características diferenciadas daqueles encontrados no mercado. Quando nenhuma informação fora fornecida aos provadores, a amostra T5, contendo 40 % de farinha de milho, obteve melhores respostas na avaliação sensorial, sugerindo que, esta amostra mais se aproxima de um produto fornecido comercialmente. Ou seja, apesar da amostra T19, contendo aproximadamente 87 % de farinha de arroz integral, possuir melhores características nutricionais (fibras, vitaminas e minerais), a amostra T5 obteve melhor aceitação, sugerindo que, a adição de um percentual maior de farinha de milho à mistura, confere aroma, sabor, cor e textura que mais se aproximam de produtos disponíveis no mercado.

5 CONCLUSÕES

De acordo com os experimentos realizados e resultados expostos conclui-se que há possibilidade para a produção de macarrão pré-cozido, utilizando farinha mista de arroz integral e milho, através do processo de extrusão.

Do ponto de vista nutricional pode-se atribuir que o uso de farinha de arroz integral na elaboração de massas seria recomendado devido as suas características nutritivas apresentadas na caracterização química tais como teor reduzido de carboidratos e maior percentual dos demais componentes tais como proteínas, lipídios e fibras, quando comparada à farinha de milho. Além destes, níveis elevados de fósforo, magnésio, potássio, cromo, ferro, manganês, zinco e vitamina B1, sugerindo-se que este material possa ser uma boa fonte alimentícia por conter nutrientes essenciais para uma dieta balanceada. Porém, a adição de farinha de milho às massas foi fundamental para a obtenção de qualidade tecnológica durante o cozimento, melhor resistência à quebra, além de uma coloração semelhante a massas contendo ovos, melhorando seu aspecto sensorial, em todos os quesitos avaliados. Conclui-se, portanto que o uso de farinha de arroz integral com as características comerciais, isto é, teores de amilose/amilopectina das cultivares praticadas no país não são apropriadas para uso na produção de massas integrais (sem considerar-se o uso de aditivos ou modificações como o arroz acetilado, etc).

O teste de cozimento permitiu a escolha dos melhores tratamentos T5 (40 % farinha de milho, 70 °C, 30 % umidade) e T19 (13,18 % farinha de milho, 80 °C, 35 % umidade), uma vez que estes apresentaram melhor resistência ao cozimento, menores perdas de sólidos solúveis, bons rendimentos e aspectos sensorialmente aceitáveis. Diante da adequação dos parâmetros de extrusão, verificou-se que o índice de absorção de água, relacionado ao aumento de peso das massas, não sofreu nenhuma influência das variáveis independentes estudadas, sendo, portanto, um bom parâmetro para a escolha dos melhores tratamentos.

A textura instrumental, quando comparada a textura sensorial, permitiu concluir que a amostra com 40 % farinha de milho apresentou características semelhantes as massas elaboradas com semolina, apresentando maior firmeza. Entretanto, aquela com 13 % farinha de milho, foi a que mais se assemelhou às massas comerciais contendo trigo.

Através da análise sensorial concluiu-se que, amostras contendo 40 % de farinha de milho e produzida com 30 % de umidade inicial, a 70 °C (T5), foram aquelas que obtiveram maior preferência dentre os provadores. Entretanto, as informações nutricionais fornecidas, previamente ao teste, não influenciaram significativamente as respostas.

Desta forma conclui-se que a produção de massas a base de farinha mista de arroz integral e milho constitui uma interessante alternativa para pacientes celíacos, assim como para pessoas que desejam apenas uma alimentação rica em nutrientes essenciais para uma vida saudável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACELBRA – Associação de Celíacos do Brasil. Disponível em <http://www.acebra.org.br/2004/historico.php>. Acesso em 4 de março de 2004.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). Resolução RDC nº 93 de 31 de outubro de 2000. Disponível em <http://www.anvisa.gov.br/alimentos/legis/especifica/htm>. Acesso em 31 de janeiro de 2007.

AGRIANUAL – FNP. Consultoria e Comércio, p.161-71, 1999.

AL-BAYATI, S.H.; LORENZ, K. Physico-chemical properties of starches isolated from Iraqi rice varieties. **Lebensmittel – Wissenschaft – und – Technologie**, Switzerland, v.8, n.4, p. 163-167, 1975.

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

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

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

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

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.; CARVALHO, C.W.P. Caracterización físico-química de snacks de grits de maíz producidos por extrusión termoplástica. **Alimentaria**, p.87-91, Junho 1996.

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

ASCHERI, J.L.R. Elaboração de *snacks*, farinha pré-gelatinizada e instantânea de subprodutos de engenhos de arroz por extrusão termoplástica. **Relatório de projeto.** 19p., 2000.

ASCHERI, J.L.; SPEHAR, C.R.; NASCIMENTO, N.E. Caracterización comparativa de harinas instantâneas por extrusión de quinoa, maíz y arroz. **Alimentaria**, v.39, n.331, p.82-9, 2002.

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, 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 jaboticaba: efeito das variáveis de extrusão nas propriedades de pasta. **Boletim CEPPA**, Curitiba, v.24, n.1, p. 115-144, jan/jun, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDÚSTRIAS DE MASSAS ALIMENTÍCIAS (ABIMA). Disponível em <http://www.abima.com.br>. Acesso em 4 de junho de 2005.

ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS (AOAC). Official Methods of Analysis of the Association of Official Agriculture Chemists. Washington, 2005.

AUGUSTO, A.P.; ALVES, D.C.; MANNARINO, I.C.; GERUDE, M. **Terapia Nutricional.** São Paulo: Atheneu, p.118, 2002.

AURICCHIO, S.; TRONCONE, R. History of coeliac disease. **Eur J Pediatric**, n.155, p.427, 1996.

BARUFFALDI, R.; OLIVEIRA, M.N. **Fundamentos da Tecnologia de Alimentos.** Atheneu:São Paulo, vol.3, 1998.

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

BEIKER ALIMENTOS. Disponível em <http://www.beiker.rebola.es>. Acesso em 5 de junho de 2005.

BERGE-HENEGOUWEN, G.P.; MULDER, C.J.J. Pioneer in the gluten free diet: over 50 years of gluten free diet. **Gut**, n.34, p.1473, 1993.

BOBBIO, F.O.; BOBBIO, P. **Introdução à química de alimentos.** 3ª edição. São Paulo:Livraria Varela, 2003, 238p.

BORBA, A.M. **Efeito de alguns parâmetros operacionais nas características físicas, físico-químicas e funcionais de extrusados da farinha de batata-doce (Ipomoea batatas).** Universidade de São Paulo, Tese, 98p., 2005.

BORDERÍAS, A.J.; MONTERO, P. Fundamentos de la funcionalidad de las proteínas en alimentos. **Revista Agroquímica y Tecnología de alimentos**, Valencia, v.28, n.2, p. 159-169, 1998.

BORGES, J.T.S. **Elaboração de macarrão pré-cozido à base de farinha integral de quinoa e farinha de arroz utilizando o processo de extrusão termoplástica.** Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro/ UFRRJ, Tese, 116p., 2002.

BOX, G.E.P.; WETZ, J. Criteria for judging adequacy of estimation by approximate response function. University of Wisconsin. **Technical Report**, n.9, 1973.

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

BOX, G.E.P.; BEHEKEN, D.W. Somenew three level designs for the study of quantitative variables. **Tehnometrics**, v.2, n.4, p.455-475, 1960.

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

BRASIL – ANVISA – Lei nº 10674 de 16 de maio de 2003. Dispõe a obrigatoriedade da informação de “contém glúten” nos rótulos dos alimentos. **Diário Oficial da União, Brasília**.

BRASIL – ANVISA – Lei nº 8543 de 23 de dezembro de 1992. Determina a impressão de advertência em rótulos e embalagens de alimentos industrializados que contenham glúten, a fim de evitar a doença celíaca ou síndrome celíaca. **Diário Oficial da União, Brasília**.

BRASIL – ANVISA – Resolução RDC nº 40 de 08 de fevereiro de 2002. Aprova o Regulamento Técnico para rotulagem de alimentos e bebidas embalados que contenham glúten. **Diário Oficial da União, Brasília**.

BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Portaria nº 269 de 17 de novembro de 1988. Dispõe sobre a norma de identidade, qualidade, embalagem e apresentação do arroz e revoga a Portaria nº 205 de 26 de agosto de 1981. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 1988**.

CABALLERO-CÓRDOBA, G.M.; WANG, S.H.; SGARBIERI, V.C. Características nutricionais e sensoriais de sopa cremosa semi-instantânea à base de farinhas de trigo e soja desengorduradas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, n.29, p.1137-43, 1994.

CARVALHO, R.V. **Formulações de snacks de terceira geração por extrusão: caracterização texturométrica e microestrutural**. Universidade Federal de Lavras – UFLA: Minas Gerais. 88p. Tese, 2000.

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

CARVALHO, C.N.M.; SDEPANIAN, V.L.; MORAIS, M.B.; FAGUNDES-NETO, U. Doença celíaca em tratamento: avaliação da densidade mineral óssea. **Jornal de Pediatria**, v.79, n.4, p.303-8, 2003.

CASAGRANDE, D.A.; CANIATTI-BRAZACA, S.G.; SALGADO, J.M.; PIZZINATTO, A.; NOVAES, N.J. Análise tecnológica, nutricional e sensorial de macarrão elaborado com farinha de trigo adicionada de farinha de feijão-guandu. **Rev. Nutr. Campinas**, v.12, n.2, p. 137-143, 1999.

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.

CATALDO, F.; VENTURA, A.; LAZZARI, R.; BALLI, F.; NASSIMBERI, G.; MARINO, V. Antiendomysium antibodies and coeliac disease: solved and unsolved questions. An Italian multicenter study. **Acta Paediatr**, n.84, p.1125, 1995.

CATASSI, C.; RATSCH, I.M.; FABIANI, E.; RICCI, S.; BORDICCHIA, F.; PIERDOMENICO, R. High prevalence of undiagnosed coeliac disease in 5280 Italian students screened by antigliadin antibodies. **Acta Paediatr**, n.84, p.572,1995.

CATASSI, C. et al. Coeliac disease in the year 2000: exploring the iceberg. **Lancet**, n.343, p.200, 1994.

CHAMP, M. Impact nutritionnel de la cuisson-extrusion. In: **Cuisson-Extrusion**. Paris, p. 203-229, 1994.

CHANG, Y.K.; FLORES, H.E.M. Qualidade tecnológica de massas alimentícias frescas elaboradas de semolina de trigo durum e farinha de trigo. **Ciênc. e Tecnol. Aliment.**, Campinas, v.24, n.4, p.487-493, 2004.

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

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

CHUNGCHAROEN, A.; LUND, D.B. Influence of solutes and water on rice starch gelatinization. **Cereal Chemistry**, v.64, n.4, p. 240-243, 1987.

CIACCO, C.F.; CHANG, Y.K. **Como fazer massas**. São Paulo: Ícone, 1986. 127p.

CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION. **Alinorm**, v.95, n.26, p.7, 21-24, 1995.

COELHO, C.S.P.; BADIÁLE-FURLONG, E.; ALMEIDA, T.L. Migração de micotoxinas durante a parboilização do arroz. **Brazilian Journal of Food Technology**, n.12, p.39-44, 1999.

CRUZ, R.S.; SOARES, N.F.F. Efeito da adição de CO₂ nas características tecnológica e sensorial do macarrão massa fresca tipo talharim. **Ciência agrotec.**; Lavras, v.28, n.4, p.848-855, 2004.

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

Dietary Reference Intakes – DRIs- Recommended intakes for individuals. Disponível em <http://www.nap.edu>. Acesso em 15 de maio de 2007.

DUARTE, J.O.; CRUZ, J.C.; GARCIA, J.C.; MATTOSO, M.J. Economia da produção e utilização do milho. Disponível em <<http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho/economiadaprodu.htm>>. Acesso em 03 de março de 2007.

DZIEZAK, J.D. Romancing the Kernel: A salute to rice varieties. **Food Technology**. Chicago, v.45, n.6, p.74-80, 1991.

EERIKÄINEM, T.; LINKO, P. Extrusion cooking modeling, control and optimization. In: **Extrusion Cooking**, Mercier, C.; Linko, P.; Harper, J.M.; eds. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, p.157, 1989.

EDWARDS, N.M.; IZYDORCZYK, M.S.; DEXTER, J.E.; BILIADERIS, C.G. Cooked pasta texture: comparison of dynamic viscoelastic properties. **Journal of Food Science**, n.70, p. 122-126, 1993.

EL-DASH, A.A. Application and control of thermoplastic extrusion of cereals for food and industrial uses. In: **Cereals a renewable resource: theory and practice**. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, p.165-216, 1981.

EL-DASH, A. A.; GONZALES, R.; CIOL, M. Response surface in the control of thermoplastic extrusion of starch. **Journal of Food Engineering, Radnor**, n.2, p.129-152, 1983.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Cultivares de arroz irrigado para o Rio Grande do Sul. Disponível em <<http://www.embrapa.br/pesquisa/tecnolog>>. Acesso em 12 de março de 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Embrapa Arroz e feijão. Disponível em <<http://www.cnpaf.embrapa.br/parperfeito/nutrientesdoarrozefeijao/tiamina.htm>>. Acesso em 15 de maio de 2007.

ENSMINGER, A.H.; ENSMINGER, M.E.; KONLANDE, J.L.; ROBSON, J.R.K. **Foods & Nutrition Encyclopedia**. 2ª ed. Boca Raton: CRC Press, v.1, 209p, 1994.

FABIANI, E.; CATASSI, C.; VILLARI, A.; GISMONDI, P.; PIERDOMENICO, R.; RÄTSCH, I.M.; COPPA, G.V.; GIORGI, P.L. Dietary compliance in screening-detected coeliac disease adolescents. **Acta Paediatr**, v.85, n.412, p.65, 1996.

FANUTI (Faculdade de Nutrição de Goiás). Boletim mensal. Disponível em <http://www.fanut.ufg.br>. Acesso em 8 de junho de 2005.

FARREL, R.J.; KELLY, C.P. Celiac sprue. **N Eng J Med**; n.346, p.180-88, 2002.

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**. 2ª ed., Porto Alegre:Artmed, 2006, 602p.

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

FERNANDES, M.S.; WANG, S.H.; ASCHERI, J.L.R.; OLIVEIRA, M.F.; COSTA, S.A. Produtos extrusados expandidos de misturas de canjiquinha e soja para uso como petiscos. **Pesq agropec bras**, Brasília, v.37, n.10, p.1495-1501, 2002.

FERREIRA, T.A.P.C. **Avaliação nutricional do amaranto extrusado em diferentes condições de umidade**. Faculdade de Ciências Farmacêuticas da Universidade de São Paulo. 157p., 1999, Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos).

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

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO)/WORLD HEALTH ORGANIZATION. Protein quality evaluation: Report of join FAO/WHO expert consultation. Rome:WHO, 1991.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). Codex Alimentarium Commission. Proposed draft revised standard for gluten-free foods. Report of the 19th Session of the Codex Committee on Nutrition and foods for Special Dietary Uses, March 27-31, Roma:FAO, v.7,p.21-5, 1995.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). Agricultura mundial. Produção agrícola mundial. Disponível em <<http://www.agricultura.gov.br>>, 2001 a.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). Exportações agrícolas mundiais: principais produtos. Disponível em <<http://www.agricultura.gov.br>>, 2001 b.

Fundação Médico-Cultural de Gastroenterologia e Nutrição de São Paulo (FUGESP). Disponível em <<http://www.fugesp.org.br>> . Acesso em 4 de março de 2005.

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

GOMEZ, 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.

GÓMEZ, M. E.B. **Produção de snacks de segunda geração a partir de misturas de farinhas de arroz e batata-doce, por extrusão termoplástica**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro/UFRRJ. Rio de Janeiro, 125p, 1997. Tese (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos).

GRODZINSKY, E.; FRANZEN, L.; HED, J.; STROM, M. High prevalence of celiac disease in health adults revealed by antigliadin antibodies. **Ann Allergy**, n.69, p.66,1992.

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

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

HEINEMANN, R.J.B.; FAGUNDES, P.L.; PINTO, E.A.; PENTEADO, M.V.C.; LANFER-MARQUEZ, U.M. Comparative study of nutrient composition of commercial brown, parboiled and milled rice from Brazil. **Journal of Food Composition and Analysis**, n.18, p. 287-296, 2005.

HEMAVATHY, J.; BHAT, K.K. Effect of particle size on viscoamilographic behaviour of rice flour and vermicelli quality. **Journal of Texture Studies**, n.25, p.469-476, 1994.

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.

HORVATH, E.; PETRES, J.; GELENCSE, E.; CZUKOR, B. Effect of extrusion temperature on physico-chemical properties and biological value of soybean-protein. **Acta Alimentaria**, n.18, p.199-211, 1989.

HUMMEL, C. Macaroni products: manufacture processing and packing. 2 ed. Londodn:Food Trade, 1966, 287p. In: CRUZ, R.S.; SOARES, N.F.F. Efeito da adiçao de CO₂ nas características tecnológica e sensorial do macarrão massa fresca tipo talharim. **Ciência agrotec.**; Lavras, v.28, n.4, p.848-855, 2004.

INSTITUTO NACIONAL DE ALIMENTAÇÃO E NUTRIÇÃO (INAN). Carta circular nº 04/95. Nov. 1995.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). Method nº 6647: Rice – Determination of amylose content. Genebra, Suécia, 1987.

JANE, J.; CHEN, Y.Y.Y.; LEE, L.F.; McPHERSON, A.E.; WONG, K.S. Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.76, n.5, p.629-637, 1999.

JANE, J.; CHEN, J.F. Effect of amylase molecular size and amylopectin branch chain length on past properties of starch. **Cereal Chemistry**, St. Paul, n.69, p. 60-65, 1992.

JANSSEN, L.P.B. Models for cooking extrusion. In: **Food Engineering and Process Application, Unit Operations**. New York: Elsevier Applied Science Publishers, v.2, 1985.

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**. Paul: AACC, p.17-57, 1985.

JULIANO, B.O.; HICKS, P.A. Rice functional properties and rice food products. **Food Reviews International**, New York, v.12, n.1, p.71-103, 1996.

KILLEIT, U. Vitamin retention in extrusion cooking. **Food Chemistry**, v.49, n.2, p.149-155, 1994.

LAI, H.M. Effects of rice properties and emulsifiers on the quality of rice pasta. **J. Sci. Food Agric.**, n.82, p.203-216, 2001.

LEITÃO, R.F.F.; GONÇALVES, J.R.; VITTI, P. Utilização da alta temperatura na secagem de macarrão. **Coletânea ITAL**, n.19, p.186-95, 1989.

LEITÃO, R.F.F.; GONÇALVES, J.R.; EIROA, M.N.U.; GARCIA, E.E.C. **Tecnologia de macarrão**. Campinas: Tecnologia de Alimentos, 1990. 71p.

LEVINE, L. Estimating output and power of food extruders. **Journal of Food Processing Engineering**, n.1, p.1-13, 1983.

LIMA, G.J.M.M. Qualidade nutricional do milho: situação atual e perspectivas. Disponível em <http://www.cnpsa.embrapa.br/sgc/sgc_artigos/artigos_c3h18x3r.html>. Acesso em 3 de março de 2007.

MAIA, L.H. **Características químicas e propriedades funcionais do mingau desidratado de arroz e soja e, propriedades reológicas e sensoriais deste mingau reconstituído**. UFRRJ, Tese, 110p., 2000 (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos).

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

MODESTA, R.C.D. Avaliação sensorial de produtos extrusados. In: 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.

MOURA, R.A. **Efeito das variáveis de extrusão e da incorporação de glúten, amilose e farinha de milho na qualidade tecnológica da farinha de rosca extrusada em base de trigo**. Campinas: UNICAMP, 2000, Tese (Tese de Mestrado), 77p.

MULVANEY, S.J.; HSIEH, F.; ONWULATA, C. **Computer control and modeling of an extruder: Dynamics**. ASAE Meeting, Chicago, 3-88-6517, 1988.

NABESHIMA, E.H.; EL-DASH, A.A. Modificação química da farinha de arroz como alternativa para o aproveitamento dos subprodutos do beneficiamento do arroz. **B. 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. **B. CEPPA**, Curitiba, v.21, n.2, p. 223-238, 2003.

NAVES, M.M.V.; SILVA, M.S.; CERQUEIRA, F.M.; PAES, M.C.D. Avaliação química e biológica da proteína do grão em cultivares de milho de alta qualidade protéica. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.34, n.1, p.1-8, 2004.

NELSEN, D.A. Jr. Gluten-sensitive enteropathy: more common than you think. **Am Fam Physician**; n.66, p.2259-2266, 2002.

NOGUCHI, A.; KUGIMYA, W. HAQUE, Z.; SAIO, K. Physical and chemical characteristics of extruded rice flour and rice flour fortified with soybean protein isolate. **Journal of Food Science**, Chicago, v.47, n.1, p.240-245, 1981.

NUNES, I.L.; MAGAGNIN, G.; BERTOLIN, T.E.; FURLONG, E.B. Arroz comercializado na região sul do Brasil: aspectos micotoxicológicos e microscópicos. **Ciênc Tecnol Alimentos**, Campinas, v.23, n.2, p.190-94, 2003.

OLEXOVÁ, L.; DOVICOVICOVÁ, L.; SVEC, M.; SIEKEL, P.; KUČHTA, T. Detection of gluten-containing cereals in flours and “gluten-free” bakery products by polymerase chain reaction. **Journal of Food Control**. p.1-4, 2004.

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

ORMENESE, R.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 de Alimentos**, v.18, n.1, Campinas, 1998.

ORMENESE, R.C.; FARIA, E.V.; GOMES, C.R.; YOTSUYANAGI, K. Massas alimentícias não-convencionais à base de arroz – perfil sensorial e aceitação pelo consumidor. **Brazilian Journal of Food Technology**, n.4, p. 67-74, 2001.

ORMENESE, R.C.; CHANG, Y.K. Massas alimentícias de arroz: uma revisão. **B. Ceppa**, Curitiba, v.20, n.2, p.175-190, 2002.

ORMENESE, R.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**, v.6, n.1, p. 91-97, 2003.

PAGANI, M.A. Pasta products from non conventional raw materials (1986). In: ORMENESE, R.C.; CHANG, Y.K. Massas alimentícias de arroz: uma revisão. **B. Ceppa**, Curitiba, v.20, n.2, p.175-190, 2002.

PEREIRA, M.V.L.; BOAVENTURA, G.T.; ASCHERI, J.L.R.; CORREIA, B.F.; OLIVEIRA, P.C. Avaliação biológica da farinha de milho QPM obtida por extrusão. **Revista do Centro de Ciências Médicas**. UFF. Janeiro/Abril, v.2, n.2, 1998.

PHILIPPI, S.T. **Tabela de composição de alimentos: suporte para decisão nutricional**. 2ª edição: Universidade de São Paulo, 2002, 106p.

PIRES, C.V.; OLIVEIRA, M.G.A.; ROSA, J.C.; COSTA, N.M.B. Qualidade nutricional e escore químico de aminoácidos de diferentes fontes protéicas. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v.26, n.1, p. 179-187, 2006.

POLANCO, I.; JASINSKI, C.; de ROSA S. Coeliac disease in Argentina and Uruguay. **Dyn Nutr Res**, n.2, p.57,1992.

POLANCO, I. Enfermedad celíaca. **Pediatría Integral**, v.1, n.2, p.124, 1995.

POLANCO, I. Enfermedad celiaca. In: Argüelles F, Polanco I, ed. **Manual de gastroenterología pediátrica**. Granada, Copartgraf, p.261-8, 1996.

POLANCO, I.; PRIETO, G.; MOLINA, M.; CARRASCO, S.; LAMA, R. Nutritional management of coeliac disease. **Pediátrika**, n.16, p.386, 1996.

SANTOS, R.; ZANELLA, I.; BONATO, E.L.; ROSA, A.P.; MAGON, L.; GASPARINI, S.P.; BRITTES, L.B.P. Diminuição dos níveis de cálcio e fósforo em dietas com farelo de arroz integral e enzimas sobre o desempenho de frango de corte. **Ciência Rural**, v.34, n.2, p.517-21, 2004.

SDEPANIAN, V.L.; MORIAS, M.B.; FAGUNDES-NETO, U. Doença Celíaca: avaliação da obediência à dieta isenta de glúten e do conhecimento da doença pelos pacientes cadastrados na Associação dos Celíacos do Brasil (ACELBRA). **Arq Gastroenterol**, v.38, n.4, p.232-39, 2001.

SDEPANIAN, V.L.; MORAIS, M.B.; FAGUNDES-NETO, U. Doença Celíaca: a evolução dos conhecimentos desde sua centenária descrição original até os dias atuais. **Arq Gastroenterol**, v.36, n.4, p.244-57, 1999.

SDEPANIAN, V.L.; SCALETSKY, I.C.A.; MORAIS, M.B.; FAGUNDES-NETO, U. Pesquisa de gliadina em medicamentos – informação relevante para a orientação de pacientes com doença celíaca. **Arq Gastroenterol**, v.38, n.3, p.176-82, 2001.

SETOR 1 – Disponível em <<http://www.setor1.com.br>>. Acesso em 20 de março de 2005.

SGARBIERI, V.C. Propriedades nutricionais das proteínas. In: **Proteínas em alimentos protéicos: propriedades, degradações e modificações**. Ed. Varela. São Paulo, 517p. 1996.

SHOGREN, R.L.; HARELAND, G.A.; WU, Y.V. Sensory evaluation and composition of spaghetti fortified with soy flour. **Journal of Food Science**, v. 71, n. 6, p. 428-432, 2006.

SILVA, M.C.; THIRÉ, R.M.S.M.; PITA, V.J.R.R.; CARVALHO, C.W.P.; ANDRADE, C.T. Processamento de amido de milho em câmara de mistura. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.24, n.2, p. 303-310, 2004.

SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de alimentos. Métodos químicos e biológicos**. 3ª edição, Editora UFV: Universidade Federal de Viçosa, 2005, 235p.

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

SIQUEIRA NETO, J.I.; COSTA, A.C.L.; MAGALHÃES, F.G.; SILVA, G.S. Neurological manifestations of celiac disease. **Arq Neuropsiquiatr**, v.62, n.4, p.969-72, 2004.

Sistema Brasileiro de Respostas Técnicas (SBRT). Disponível em <<http://sbrt.ibict.br/upload/sbprt1128.pdf>>. Acesso em 03 de março de 2007.

SOLLID, L.M.; THORSBY, E. HLA susceptibility genes in celiac disease: genetic mapping and role in pathogenesis. **Gastroenterology**, n.105, p.910, 1993.

SOLLID, L.M. HLA genes and T cells in coeliac disease. **Pediatrika**, v.16, n.390, p.51, 1996.

SOUZA, S.R.; STARK, E.M.L.; FERNANDES, M.L. Effects of supplemental N on the quality of rice proteins. **Journal of Plant Nutrition**, n.9, p.40-49, 1993.

SUNDERLAND, R. Continuous breeding production by extrusion cooking. **Cereal Foods World**, St. Paul, v.38, n.9, p.685-688, 1993.

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

TRIER, J.S. Celiac sprue. **N Engl J Med**, n.325, p.1709, 1991.

TRONCONE, R.; GRECO, L.; AURICCHIO, S. Gluten-sensitive enteropathy. **Pediatric Clin North Am**, n.43, p.355, 1996.

US Department of Agriculture (USDA). Agricultural Research Service. USDA Nutrient Database for Standard Reference. Disponível em <<http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/Data/SR16/sr16.html>>. Acesso em 10 de agosto de 2007.

UTIYAMA, S.R.R.; REASON, I.J.; KOTZE, L.M.S. Aspectos genéticos e imunopatogênicos da doença celíaca: visão atual. **Arq Gastroenterol**, v.41, n.2, p.121-28, 2004.

VAN DE KAMER, J.H.; VAN GINKEL, L. Rapid determination of crude fiber in cereals. **Cereal Chemistry**. St. Paul, v.29, n.4, p.239-251, 1952.

VIANNA, V. Cocção de arroz integral. In: **Anais da 14ª reunião de cultura de arroz irrigado**. Pelotas. EMBRAPA, p.415-418, 1985.

WAITZBERG, D.L. **Nutrição oral, enteral e parenteral na prática clínica**. 3ª edição, São Paulo: Atheneu, 2002.

WALKER-SMITH, J. A. Celiac disease. In: WALKER, W.A.; DURIE, P.R.; HAMILTON, J.R., WALKER-SMITH, J.A.; WATKINS, J.B., ed. **Pediatric gastrointestinal disease**. 2ªed. St. Louis, Missouri, p. 840-61, 1996.

WALKER-SMITH, J.; MURCH, S. Coeliac disease. In: Walker-Smith J, Murch S, editors. **Diseases of the small intestine in childhood**. 4.ed. Oxford: Isis Medical Media Ltd.; p.235-77, 1999.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Evaluation of Allergenicity of Genetically Modified Foods. Report of a Joint FAO/WHO Expert Consultation on Allergenicity of Foods Derived from Biotechnology , 22 – 25 January - Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) , Rome, Italy. - World Health Organization, 2001.

ANEXOS

Anexos		Página
Anexo A	Testes preliminares de qualidade de cozimento	98
Anexo B	Ficha técnica avaliação de aceitabilidade	99
Anexo C	Folder informativo fornecido no momento da avaliação sensorial	100
Anexo D	Preferência de macarrão pré-cozido de farinha mista de arroz integral e milho: materiais utilizados e metodologia de preparo	101
Anexo E	Ficha técnica avaliação dos provadores	102

Anexo A. Testes preliminares de qualidade de cozimento

Anexo C. Folder informativo fornecido no momento da avaliação sensorial

Macarrão pré-cozido de arroz integral e milho



Esta massa pré-cozida permite agilidade e um rápido preparo, pois leva apenas 5 minutos para cozinhar. Além disso, contém fibras que auxiliam na regularização do intestino e controlam o colesterol.

Outra novidade é que esta massa **“não contém glúten”**. O glúten é uma proteína existente no trigo, na aveia, na cevada e no centeio e que provoca alergia nas pessoas que são intolerantes a esta proteína, os chamados “celíacos”.

Além dos “celíacos”, pessoas que não apresentam alergia ao glúten também podem consumir a massa, pois ela é leve, saborosa e oferece nutrientes essenciais ao bom funcionamento do organismo, como as vitaminas e minerais.

Anexo D. Preferência de macarrão pré-cozido de farinha mista de arroz integral e milho: materiais utilizados e metodologia de preparo

MATERIAL

- Ficha
- Panela
- Copo descartável
- Prato descartável
- Garfo descartável
- Água mineral
- Molho levemente temperado “tarantela”
- Sal
- Açúcar

AMOSTRAS

Macarrão pré-cozido de arroz integral com 13,2 % de milho (T19) e com 40 % de milho (T5).

METODOLOGIA

O molho foi preparado usando 2380 mL de molho de tomate tarantela, 1190mL de água mineral, 7 colheres de sobremesa rasa de sal e 7 colheres de chá de açúcar. O macarrão foi cozido em água fervente por aproximadamente 6 minutos para a amostra contendo 13 % de milho e 6’30” para a amostra com 40 % de milho. As amostras foram servidas com o molho de tomate por cima, sendo aquecido, se necessário, em forno microondas por 10 segundos. O teste foi realizado para 60 pessoas, restando 21 para o dia seguinte afim de completar 81 pessoas. Os primeiros 40 consumidores receberam as amostras sem informação sobre a composição das mesmas, porém os 41 restantes receberam antes de prová-las um folder informativo sobre os ingredientes e os benefícios oferecidos pelas amostras.

Anexo E. Ficha técnica avaliação dos provadores



ESTUDO SOBRE MACARRÃO

Nome:

Data:

1. Você gosta de macarrão? sim não

2. Você consome macarrão? sim não

3. Qual a frequência?

nunca

raramente

esporadicamente

frequentemente

diariamente

4. Idade: _____anos

5. Grau de instrução:

1º grau incompleto

1º grau

2º grau

universitário
incompleto

universitário

pós-graduação

6. Você gosta de experimentar novos produtos?

Definitivamente NÃO

Definitivamente SIM