

UFRRJ

INSTITUTO DE TECNOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E

TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

DISSERTAÇÃO

**Elaboração de massas alimentícias pré-cozidas à base de
farinha mista de arroz polido e feijão preto sem casca pelo
processo de extrusão termoplástica**

Carla da Silva Teba

2009



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

**ELABORAÇÃO DE MASSAS ALIMENTÍCIAS PRÉ-COZIDAS À BASE DE
FARINHA MISTA DE ARROZ POLIDO E FEIJÃO PRETO SEM CASCA
PELO PROCESSO DE EXTRUSÃO TERMOPLÁSTICA**

CARLA DA SILVA TEBA

Sob a orientação do Professor Doutor
José Luis Ramírez Ascheri

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

Seropédica, RJ
Março de 2009

664.775
T254e
T

Teba, Carla da Silva, 1983-

Elaboração de massas alimentícias pré-cozidas à base de farinha mista de arroz polido e feijão preto sem casca pelo processo de extrusão termoplástica / Carla da Silva Teba – 2009.

177 f. : il.

Orientador: José Luis Ramírez Ascheri.

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

Bibliografia: f. 133-158.

1. Massas alimentícias – Teses. 2. Dieta sem glúten – Teses. 3. Doença celíaca – Teses. 4. Arroz – Extrusão – Teses. 5. Feijão – Extrusão – Teses. I. Ramírez Ascheri, José Luis, 1955-. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. III. Título.

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

CARLA DA SILVA TEBA

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

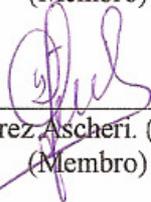
DISSERTAÇÃO APROVADA EM 19/03/2009



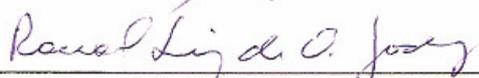
José Luis Ramírez Ascheri. (D.Sc.) EMBRAPA – CTAA
(Orientador)



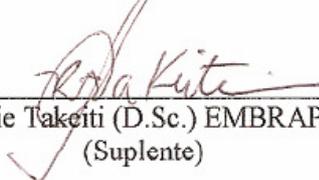
Carlos Wanderlei Piler de Carvalho. (Ph.D.) EMBRAPA – CTAA
(Membro)



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



Ronoel Luiz de Oliveira Godoy (D.Sc.) EMBRAPA – CTAA
(Suplente)



Cristina Yoshie Takeiti (D.Sc.) EMBRAPA – CTAA
(Suplente)

DEDICATÓRIA

Aos meus pais

Meus maiores incentivadores, pelo apoio incondicional, ensinamentos, compreensão, cuidado, amizade, amor e por não terem medido esforços para a realização de mais um grande sonho.

Ao meu irmão

Pelo companheirismo, amizade, estímulo, amor e por me fazer sorrir nos momentos menos prováveis.

Aos meus avós paternos (*in memoriam*) e a minha avó materna

Meus grandes exemplos de perseverança e superação e que sempre me incentivaram a alcançar vãos cada vez mais altos com confiança, empenho e determinação.

A minha família

Por todo o incentivo e por torcerem pelo meu sucesso e realização pessoal e profissional.

Aos meus amigos

Pelas palavras de apoio e esperança, pelos momentos de alegria e descontração e pela presença constante na minha vida.

A todos vocês,

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me amparar nos momentos de dificuldade, concedendo-me saúde, força, perseverança e sabedoria para superar todas as adversidades que surgiram ao longo da minha caminhada.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRuralRJ), especialmente ao Departamento de Tecnologia de Alimentos (DTA), pela oportunidade concedida para a realização do curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo durante a realização do mestrado.

À Embrapa Agroindústria de Alimentos pelas instalações cedidas para a execução deste trabalho.

Ao D.Sc. José Luis Ramirez Ascheri, pela orientação no trabalho desenvolvido, por todo conhecimento que me foi transmitido, pelo apoio, presteza, incentivo e atenção dedicada a mim.

Ao Ph.D. Carlos Wanderlei Piler de Carvalho pelo estímulo e solicitude sempre que necessário.

Ao D.Sc. Diego Palmiro Ramirez Ascheri, pela orientação na realização das análises estatísticas.

À professora Ph.D. Rosa Helena Luchese e aos técnicos do laboratório de microbiologia do Instituto de Tecnologia da UFRuralRJ pelas análises realizadas.

Ao professor D.Sc. Augusto Vidal da Costa Gomes do Instituto de Zootecnia da UFRuralRJ, chefe do Departamento de Nutrição Animal e Pastagem, e ao técnico Marcus pela realização da análise de fibra bruta.

Aos analistas e assistentes da Embrapa Agroindústria de Alimentos que contribuíram de forma direta ou indireta na execução deste trabalho, pela colaboração e apoio, em especial à Tatiana Lima Azevedo pela amizade e auxílio na etapa de extrusão; Vanessa Fiuza de Mello pelo carinho e auxílio na realização dos testes de viscosidade; Adriana Paula da Silva Minguita pela orientação no manuseio dos equipamentos do laboratório de Moagem; Francisco Carlos de Oliveira pela colaboração na extrusão; Aline Leandro de Souza Silva na aplicação das análises sensoriais dos produtos.

À D.Sc. Rosires Deliza da Embrapa Agroindústria de Alimentos, pela permissão do uso do laboratório de Análise Sensorial e orientação na execução da mesma.

Aos meus grandes amigos, Juan Antonio Ruano Ortiz e Geisa Oliveira Rocha, pela amizade sincera e por sempre estar ao meu lado, compartilhando comigo os momentos de alegria e realizações e me ajudando a superar as tristezas e frustrações. O apoio e o carinho de vocês, assim como a ajuda nos experimentos, foi indispensável nesta conquista.

À grande amiga que ganhei durante o curso, Isabel da Conceição Gama Silva e Lima, pelos momentos compartilhados, ajuda nas disciplinas e pelas confidências. Sua amizade é um valioso presente.

A todos os amigos de turma, em especial à Juliana dos Santos Vilar, Vanessa Regina Silva Chagas e Maria Rosa Figueiredo Nascimento pelos momentos de alegria e descontração, e por compartilhar anseios e conhecimentos.

À M.Sc. Érika Madeira Moreira da Silva pelo carinho, amizade e apoio durante a realização deste trabalho.

À microbiologista e imunologista Sabrina Martins Lage Cedrola pelo auxílio durante a extrusão.

Aos estagiários de graduação do Laboratório de Reologia da Embrapa Agroindústria de Alimentos pelo auxílio nos experimentos práticos, em especial ao Fábio pela colaboração na realização da análise sensorial e pela amizade.

Enfim, minha profunda gratidão a todos que acreditaram em mim, se dispuseram a me auxiliar e contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

TEBA, Carla da Silva. **Elaboração de massas alimentícias pré-cozidas à base de farinha mista de arroz polido e feijão preto sem casca pelo processo de extrusão termoplástica.** 2009. 177p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Instituto de Tecnologia, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro, 2009.

As massas alimentícias estão incorporadas à cozinha brasileira, servindo como prato principal ou complemento, em muitas combinações. O mercado brasileiro dispõe de algumas massas que podem ser consumidas por portadores da doença celíaca, entretanto, esses macarrões apresentam características diferentes das massas produzidas com farinha de trigo. Assim, o presente trabalho objetivou a elaboração de massas alimentícias pré-cozidas, isentas de glúten, à base de arroz e feijão, visando sua aplicação como alimento nutritivo para toda a população, principalmente para celíacos. Utilizou-se a metodologia de superfície de resposta para se obter modelos matemáticos preditivos para as propriedades estudadas e desenvolveu-se um delineamento experimental central composto rotacional a fim de avaliar os efeitos dos diferentes níveis de umidade (26,59; 30; 35; 40; 43,41 %), temperatura (63,18; 70; 80; 90; 96,82 °C) e percentual de farinha de feijão (6,36; 20; 40; 60; 73,64 %) nas características químicas (composição centesimal, perfil de minerais e riboflavina), físicas (granulometria, parâmetros de cor – luminosidade, cromaticidade *a* e *b*, diferença de cor), tecnológicas funcionais (índice de solubilidade em água – ISA, índice de absorção de água – IAA, viscosidade de pasta), de qualidade (teste de cozimento) e sensoriais das massas. Os resultados da caracterização química indicaram que a farinha de feijão é nutricionalmente superior à farinha de arroz polido, uma vez que apresenta maior teor de proteínas, lipídeos, fibras, minerais e riboflavina. A farinha de feijão, além de ter colaborado para a cor característica das massas, melhorou suas qualidades nutricionais. De acordo com a análise de variância realizada, as variáveis umidade e percentual de farinha de feijão contribuíram elevando os valores de ISA. Apenas a umidade contribuiu significativamente para o IAA. Quanto aos parâmetros de viscosidade avaliados, para viscosidade inicial, viscosidade máxima, setback, breakdown e viscosidade final, o percentual de farinha de feijão exerceu efeito de maior magnitude, enquanto para viscosidade mínima, a temperatura exerceu efeito negativo de maior influência. De modo geral, o incremento do percentual de farinha de feijão resultou em diminuição do aumento de peso e volume e levou a maiores perdas de sólidos solúveis em água e valores elevados de acidez alcoólica. As propriedades de cozimento foram imprescindíveis para a escolha dos melhores tratamentos, que posteriormente foram submetidos à análise sensorial. Dentre as 20 massas elaboradas, T₁ (30 % umidade, 70 °C, 20 % farinha de feijão), T₁₃ (35 % umidade, 80 °C, 6,36 % farinha de feijão) e T₁₇ (35 % umidade, 80 °C, 40 % farinha de feijão) apresentaram resultados mais satisfatórios com relação à perda de sólidos solúveis, aumento de peso, acidez alcoólica e resistência à quebra. Os testes de aceitabilidade mostraram que as massas T₁ e T₁₃ não diferiram estatisticamente entre si, entretanto, T₁ obteve maiores médias para impressão global, sabor, textura e intenção de compra, nos dois grupos de provadores estabelecidos: os previamente informados a respeito das características nutricionais das massas e os desprovidos destas informações. Conclui-se que a massa T₁, por apresentar melhor qualidade e aceitação, tem viabilidade de ser produzida para celíacos e todos que buscam alimentos nutritivos e saudáveis.

Palavras-chave: Massa alimentícia, Glúten, Doença celíaca.

ABSTRACT

TEBA, Carla da Silva. **Preparation of pre-cooked pasta with black beans dehulled and rice flour by extrusion cooking**. 2009. 177p. Dissertation (Master in Food Science and Technology). Instituto de Tecnologia, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro, 2009.

Pasta is incorporated into the Brazilian eating habits, serving as a staple food or food supplement, in many combinations. There are already on the Brazilian markets some pastas that can be consumed by people who have celiac disease, however, this pasta type is different to pastas produced with wheat flour. Thus, the aim of this study was to develop pre-cooked pasta, gluten free, using a mix flour of rice and black bean, as nutritious food for the population, particularly for celiacs. The response surface methodology was used to obtain predictive models for the studied properties and a central rotational composite design was applied to assess the effects of the different levels of moisture (26.59; 30; 35; 40; 43.41 %), temperature (63.18; 70; 80; 90; 96.82 °C) and percentage of bean flour (6.36; 20; 40; 60; 73.64 %) in the chemical characteristics (centesimal composition, minerals and riboflavin), physical properties (particle size and color parameters – brightness, chromaticity *a* and *b* and color difference), technological functional characteristics (water solubility index - WSI, water absorption index - WAI, pasting properties), quality test (cooking) and sensory tests of the pastas. The results of chemical characterization indicated that black bean flour showed higher nutritional advantage than rice flour, such as high levels of proteins, lipids, fibers, minerals and riboflavin. Further, more the black bean flour improved the color and nutritional qualities of the pastas. The variance analysis showed that the independent variable moisture and percentage of bean flour, contributed to the increase WSI values. Only moisture content contributed significantly to the WAI variable. Concerning pasting properties, initial paste viscosity, maximum viscosity, breakdown, setback and final viscosity, the percentage of bean flour show high magnitude effect, while for minimum viscosity, the temperature showed negative effect of large influence. In general, the increase in the percentage of bean flour resulted in decrease of weight and volume gain and also triggered greater loss of soluble solids in water cooking and high acidity values. The properties of cooking were essential to select the best treatments, which subsequently were evaluated in the sensory tests. Among the 20 pre-cooked pasta treatments, T₁ (30 % moisture, 70 °C, 20 % bean flour), T₁₃ (35 % moisture, 80 °C, 6.36 % bean flour) and T₁₇ (35 % moisture, 80 °C, 40 % bean flour) had satisfactory results with respect to loss of solids in the water cooking, weight gain, acidity and resistance. The sensory tests results showed that the pastas T₁ and T₁₃ did not significantly differ among them, however, T₁ showed higher values of overall impression, flavor, texture and intention of purchase, among the two groups of consumers: with nutritional information and non nutritional information received. It was concluded that pasta T₁ showed very good quality characteristics and acceptance, so it is viable to produce it for celiacs and people in general who wish to eat healthy and nutritious foods.

Keywords: Pasta, Gluten, Celiac disease.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Consumo <i>per capita</i> de massas alimentícias (Kg/habitantes/ano) no Brasil.	3
Tabela 2	Comparativo de área, produtividade e produção de arroz (safras 2007/2008 e 2008/2009).	16
Tabela 3	Comparativo de área, produtividade e produção de feijão (safras 2007/2008 e 2008/2009).	25
Tabela 4	Níveis das variáveis independentes estudadas no processo de extrusão.	27
Tabela 5	Delineamento completo do desenho experimental.	28
Tabela 6	Resultados da caracterização da qualidade das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz polido e feijão preto sem casca e controles.	47
Tabela 7	Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada ao tempo de cozimento (s) das massas alimentícias pré-cozidas de farinha mista de arroz e feijão, em função da umidade, temperatura e percentual de farinha de feijão.	48
Tabela 8	Teste de Tukey do tempo de cozimento das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz polido e feijão preto sem casca.	49
Tabela 9	Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada ao aumento de peso (%) das massas alimentícias pré-cozidas de farinha mista de arroz e feijão, em função da umidade, temperatura e percentual de farinha de feijão.	51
Tabela 10	Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada ao aumento de volume (%) das massas alimentícias pré-cozidas de farinha mista de arroz e feijão, em função da umidade, temperatura e percentual de farinha de feijão.	55
Tabela 11	Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada à perda de sólidos solúveis (%) das massas alimentícias pré-cozidas de farinha mista de arroz e feijão, em função da umidade, temperatura e percentual de farinha de feijão.	60

Tabela 12	Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada à acidez alcoólica (%) das massas alimentícias pré-cozidas de farinha mista de arroz e feijão, em função da umidade, temperatura e percentual de farinha de feijão.	65
Tabela 13	Composição centesimal das farinhas cruas de arroz branco e feijão preto sem casca e dos melhores tratamentos de massa alimentícia pré-cozida ($\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$, em base seca).	67
Tabela 14	Composição em minerais das farinhas cruas de arroz branco e feijão preto sem casca e dos melhores tratamentos de massa alimentícia pré-cozida ($\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$, em base seca).	71
Tabela 15	Teor de vitamina B ₂ (riboflavina) e farinhas cruas de arroz branco e feijão preto sem casca e dos melhores tratamentos de massa alimentícia pré-cozida ($\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$, em base seca).	76
Tabela 16	Contribuição das farinhas cruas de arroz branco e feijão preto sem casca e dos melhores tratamentos de massa alimentícia pré-cozida para o aporte diário de vitamina B ₂ (riboflavina).	77
Tabela 17	Distribuição granulométrica das matérias-primas e dos melhores tratamentos de massa alimentícia pré-cozida elaborada.	82
Tabela 18	Resultados da caracterização física de cor das matérias-primas, massas alimentícias pré-cozidas e controles.	84
Tabela 19	Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada à luminosidade das massas alimentícias pré-cozidas de farinha mista de arroz e feijão, em função da umidade, temperatura e percentual de farinha de feijão.	85
Tabela 20	Teste de Tukey da luminosidade das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz polido e feijão preto sem casca.	86
Tabela 21	Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada à cromaticidade <i>a</i> das massas alimentícias pré-cozidas de farinha mista de arroz e feijão, em função da umidade, temperatura e percentual de farinha de feijão.	88
Tabela 22	Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada à cromaticidade <i>b</i> das massas alimentícias pré-cozidas de farinha mista de arroz e feijão, em função da umidade, temperatura e percentual de farinha de feijão.	90

Tabela 23	Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada à diferença de cor (ΔE) das massas alimentícias pré-cozidas de farinha mista de arroz e feijão, em função da umidade, temperatura e percentual de farinha de feijão.	93
Tabela 24	Resultados da caracterização de ISA e IAA das massas alimentícias pré-cozidas e controles.	96
Tabela 25	Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada ao índice de solubilidade em água (%) das massas alimentícias pré-cozidas de farinha mista de arroz e feijão, em função da umidade, temperatura e percentual de farinha de feijão.	98
Tabela 26	Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada ao índice de absorção de água (g gel.g^{-1} de matéria seca) das massas alimentícias pré-cozidas de farinha mista de arroz e feijão, em função da umidade, temperatura e percentual de farinha de feijão.	101
Tabela 27	Resultados da caracterização de viscosidade de pasta das massas alimentícias pré-cozidas e controles.	104
Tabela 28	Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada à viscosidade inicial a 25 °C (cP) das massas alimentícias pré-cozidas de farinha mista de arroz e feijão, em função da umidade, temperatura e percentual de farinha de feijão.	107
Tabela 29	Teste de Tukey da viscosidade de pasta inicial a 25 °C das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz polido e feijão preto sem casca.	108
Tabela 30	Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada à viscosidade de pasta máxima (cP) das massas alimentícias pré-cozidas de farinha mista de arroz e feijão, em função da umidade, temperatura e percentual de farinha de feijão.	110
Tabela 31	Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada à viscosidade de pasta mínima (cP) das massas alimentícias pré-cozidas de farinha mista de arroz e feijão, em função da umidade, temperatura e percentual de farinha de feijão.	114
Tabela 32	Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada ao breakdown (cP) das massas alimentícias pré-cozidas de farinha mista de arroz e feijão, em função da umidade, temperatura e percentual de farinha de feijão.	116

Tabela 33	Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada à viscosidade de pasta final (cP) das massas alimentícias pré-cozidas de farinha mista de arroz e feijão, em função da umidade, temperatura e percentual de farinha de feijão.	119
Tabela 34	Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada ao setback (cP) das massas alimentícias pré-cozidas de farinha mista de arroz e feijão, em função da umidade, temperatura e percentual de farinha de feijão.	123
Tabela 35	Médias* de impressão global, sabor, textura e intenção de compra das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão. Consumidores sem informação a respeito do produto.	125
Tabela 36	Médias* de impressão global, sabor, textura e intenção de compra das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão. Consumidores com informação a respeito do produto.	126
Tabela 37	Porcentagens de aceitação, indiferença e rejeição das massas alimentícias de arroz e feijão. Consumidores sem informação a respeito do produto.	127
Tabela 38	Porcentagens de aceitação, indiferença e rejeição das massas alimentícias de arroz e feijão. Consumidores com informação a respeito do produto.	127

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Composição do grão de arroz integral e polido (em 100g).	18
Quadro 2	Composição em vitaminas do complexo B e minerais do grão de arroz integral e polido (em 100g).	18
Quadro 3	Composição do grão de feijão preto cru (em 100g).	21
Quadro 4	Composição em vitaminas do complexo B e minerais do grão de feijão preto cru (em 100g).	23
Quadro 5	Ficha técnica de controle dos provadores.	42
Quadro 6	Ficha técnica de avaliação socioeconômica dos provadores.	43
Quadro 7	Ficha técnica de avaliação dos provadores.	44
Quadro 8	Folder informativo fornecido aos provadores na avaliação sensorial das massas.	45
Quadro 9	Resultados das análises microbiológicas para coliformes a 35 °C e a 45 °C, bolores, leveduras, <i>Bacillus cereus</i> e <i>Salmonella</i> sp. das matérias-primas.	78
Quadro 10	Resultados das análises microbiológicas para coliformes a 35 °C e a 45 °C, bolores, leveduras, <i>Bacillus cereus</i> e <i>Salmonella</i> sp. das massas alimentícias pré-cozidas por extrusão.	79

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Vendas de massas alimentícias secas – volume (em toneladas), no Brasil.	4
Figura 2	Desenho esquemático de um extrusor monorosca.	9
Figura 3	Desenho esquemático das zonas do parafuso de um extrusor.	10
Figura 4	Extrusor monorosca, marca Brabender, modelo DSE 20 DN (Duisburg, Alemanha).	31
Figura 5	Massa alimentícia pré-cozida de arroz e feijão saindo da matriz laminar (zona 3).	32
Figura 6	Formato das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz polido e feijão preto sem casca.	32
Figura 7	Fluxograma de obtenção das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão.	33
Figura 8	Parâmetros avaliados na curva viscoamilográfica das massas alimentícias pré-cozidas.	40
Figura 9	Efeito das variáveis quantitativas temperatura (°C) e umidade (%) no aumento de peso (%) das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão.	52
Figura 10	Efeito das variáveis quantitativas farinha de feijão (%) e umidade (%) no aumento de peso (%) das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão.	53
Figura 11	Efeito das variáveis quantitativas farinha de feijão (%) e temperatura (°C) no aumento de peso (%) das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão.	54
Figura 12	Efeito das variáveis quantitativas temperatura (°C) e umidade (%) no aumento de volume (%) das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão.	56
Figura 13	Efeito das variáveis quantitativas farinha de feijão (%) e umidade (%) no aumento de volume (%) das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão.	57
Figura 14	Efeito das variáveis quantitativas farinha de feijão (%) e temperatura (°C) no aumento de volume (%) das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão.	58

Figura 15	Efeito das variáveis quantitativas umidade (%) e temperatura (°C) na perda de sólidos solúveis (%) das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão.	61
Figura 16	Efeito das variáveis quantitativas farinha de feijão (%) e umidade (%) na perda de sólidos solúveis (%) das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão.	62
Figura 17	Efeito das variáveis quantitativas farinha de feijão (%) e temperatura (°C) na perda de sólidos solúveis (%) das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão.	63
Figura 18	Efeito das variáveis quantitativas farinha de feijão (%) e umidade (%) na acidez alcoólica das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão.	66
Figura 19	Efeito das variáveis quantitativas farinha de feijão (%) e umidade (%) na cromaticidade <i>a</i> das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão.	89
Figura 20	Efeito da variável quantitativa farinha de feijão (%) na cromaticidade <i>b</i> das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão.	91
Figura 21	Efeito da variável quantitativa farinha de feijão (%) na diferença de cor (ΔE) das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão.	94
Figura 22	Efeito das variáveis quantitativas farinha de feijão (%) e umidade (%) no índice de solubilidade em água (%) das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão.	99
Figura 23	Efeito da variável quantitativa umidade (%) no índice de absorção de água (g gel.g^{-1} de matéria seca) das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão.	102
Figura 24	Perfis das curvas de viscosidade de pasta dos tratamentos 1 (30 % umidade / 70 °C / 20 % farinha de feijão), 13 (35 % umidade / 80 °C / 6,36 % farinha de feijão) e 17 (35 % umidade / 80 °C / 40 % farinha de feijão).	105
Figura 25	Efeito das variáveis quantitativas farinha de feijão (%) e umidade (%) na viscosidade de pasta máxima (cP) das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão.	112
Figura 26	Efeito das variáveis quantitativas farinha de feijão (%) e umidade (%) na viscosidade de pasta mínima (cP) das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão.	115
Figura 27	Efeito das variáveis quantitativas farinha de feijão (%) e umidade (%) no breakdown (cP) das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão.	117
Figura 28	Efeito das variáveis quantitativas farinha de feijão (%) e umidade (%) na viscosidade de pasta final (cP) das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão.	120

Figura 29	Efeito das variáveis quantitativas farinha de feijão (%) e temperatura (°C) na viscosidade de pasta final (cP) das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão.	121
Figura 30	Efeito das variáveis quantitativas farinha de feijão (%) e umidade (%) no setback (cP) das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão.	124
Figura 31	Histograma de distribuição de porcentagem das notas atribuídas à impressão global das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão (1 = desgostei extremamente, 5 = não gostei nem desgostei, 9 = gostei extremamente). Consumidores sem informação a respeito do produto.	129
Figura 32	Histograma de distribuição de porcentagem das notas atribuídas à impressão global das massas alimentícias pré-cozidas a base de arroz e feijão (1 = desgostei extremamente, 5 = não gostei nem desgostei, 9 = gostei extremamente). Consumidores com informação a respeito do produto.	129
Figura 33	Histograma de distribuição de porcentagem das notas atribuídas ao sabor das massas alimentícias pré-cozidas a base de arroz e feijão (1 = desgostei extremamente, 5 = não gostei nem desgostei, 9 = gostei extremamente). Consumidores sem informação a respeito do produto.	130
Figura 34	Histograma de distribuição de porcentagem das notas atribuídas ao sabor das massas alimentícias pré-cozidas a base de arroz e feijão (1 = desgostei extremamente, 5 = não gostei nem desgostei, 9 = gostei extremamente). Consumidores com informação a respeito do produto.	130
Figura 35	Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 1 (30 % umidade/ 70 °C/ 20 % farinha de feijão).	164
Figura 36	Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 2 (30 % umidade/ 70 °C/ 60 % farinha de feijão).	164
Figura 37	Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 3 (30 % umidade/ 90 °C/ 20 % farinha de feijão).	165
Figura 38	Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 4 (30% umidade/ 90 °C/ 60 % farinha de feijão).	165
Figura 39	Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 5 (40 % umidade/ 70 °C/ 20 % farinha de feijão).	166
Figura 40	Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 6 (40% umidade/ 70 °C/ 60 % farinha de feijão).	166
Figura 41	Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 7 (40 % umidade/ 90 °C/ 20 % farinha de feijão).	167
Figura 42	Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 8 (40 % umidade/ 90 °C/ 60 % farinha de feijão).	167

Figura 43	Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 9 (26,59 % umidade/ 80 °C/ 40 % farinha de feijão).	168
Figura 44	Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 10 (43,41 % umidade/ 80 °C/ 40 % farinha de feijão).	168
Figura 45	Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 11 (35 % umidade/ 63,18 °C / 40% farinha de feijão).	169
Figura 46	Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 12 (35 % umidade/ 96,82 °C/ 40 % farinha de feijão).	169
Figura 47	Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 13 (35 % umidade/ 80 °C/ 6,36 % farinha de feijão).	170
Figura 48	Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 14 (35 % umidade/ 80 °C/ 73,64 % farinha de feijão).	170
Figura 49	Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 15 (35 % umidade/ 80 °C/ 40 % farinha de feijão).	171
Figura 50	Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 16 (35 % umidade/ 80 °C/ 40 % farinha de feijão).	171
Figura 51	Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 17 (35 % umidade/ 80 °C/ 40 % farinha de feijão).	172
Figura 52	Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 18 (35 % umidade/ 80 °C/ 40 % farinha de feijão).	172
Figura 53	Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 19 (35 % umidade/ 80 °C/ 40 % farinha de feijão).	173
Figura 54	Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 20 (35 % umidade/ 80 °C/ 40 % farinha de feijão).	173
Figura 55	Perfil da curva de viscosidade de pasta da massa controle de trigo.	174
Figura 56	Perfil da curva de viscosidade de pasta da massa controle de arroz.	174
Figura 57	Distribuição de frequência da faixa de idade dos consumidores participantes do teste de aceitação.	175
Figura 58	Distribuição de frequência da escolaridade dos consumidores participantes do teste de aceitação.	176
Figura 59	Perfil econômico dos consumidores participantes do teste sensorial de aceitação.	176
Figura 60	Levantamento da frequência da aceitação e do consumo de macarrão pelos consumidores participantes do teste de aceitação.	177

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Objetivo Geral	2
1.2	Objetivos Específicos	2
2	REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1	Massas Alimentícias	3
2.1.1	Massas alimentícias não convencionais	4
2.2	Extrusão Termoplástica	6
2.2.1	Definição, vantagens e aplicações	6
2.2.2	Descrição do processo de extrusão	8
2.2.3	Efeito dos parâmetros de extrusão sobre as propriedades tecnológicas funcionais de extrusados	11
2.3	Doença Celíaca	13
2.4	Arroz (<i>Oryza sativa</i> , L.)	14
2.4.1	Características gerais e utilização como matéria-prima	14
2.4.2	Produção e consumo	15
2.4.3	Composição química e valor nutritivo	16
2.5	Feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i> , L.)	19
2.5.1	Características gerais	19
2.5.2	Produção e consumo	19
2.5.3	Composição química e valor nutritivo	21
3	MATERIAIS E MÉTODOS	24
3.1	Material	24

3.1.1	Obtenção das matérias-primas e insumos	24
3.1.1.1	Arroz branco	24
3.1.1.2	Feijão preto	24
3.1.1.3	Insumos	24
3.1.2	Reagentes e equipamentos	24
3.2	Métodos	25
3.2.1	Produção da farinha de arroz branco	25
3.2.2	Produção da farinha de feijão preto sem casca	25
3.2.3	Delineamento experimental	26
3.2.4	Análises estatísticas	29
3.2.5	Condicionamento das matérias-primas	29
3.2.6	Processo de extrusão termoplástica	30
3.2.6.1	Condições do processo	30
3.2.6.2	Extrusão termoplástica	31
3.3	Qualidade das Massas Alimentícias Pré-Cozidas à Base de Arroz e Feijão	34
3.3.1	Teste de cozimento	34
3.3.2	Acidez alcoólica	34
3.4	Caracterização Química das Matérias-Primas e Massas Alimentícias Pré-Cozidas	35
3.4.1	Composição centesimal	35
3.4.2	Composição em minerais	36
3.4.3	Composição em vitamina B ₂	36
3.5	Caracterização Microbiológica das Matérias-Primas e Massas Alimentícias Pré-Cozidas	36
3.6	Caracterização Física das Matérias-Primas e das Massas Alimentícias Pré-Cozidas à Base de Arroz e Feijão	37

3.6.1	Classificação granulométrica	37
3.6.2	Análise de cor	37
3.7	Características Tecnológicas Funcionais das Massas Alimentícias Pré-Cozidas à Base de Arroz e Feijão	38
3.7.1	Índice de solubilidade em água (ISA) e índice de absorção de água (IAA)	38
3.7.2	Propriedades viscoamilográficas	39
3.8	Avaliação Sensorial das Massas Alimentícias Pré-Cozidas à Base de Farinha Mista de Arroz Polido e Feijão Preto sem Casca	40
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
4.1	Qualidade das Massas Alimentícias Pré-Cozidas à Base de Arroz e Feijão	46
4.1.1	Teste de cozimento	46
4.1.1.1	Tempo de cozimento	48
4.1.1.2	Aumento de peso	50
4.1.1.3	Aumento de volume	54
4.1.1.4	Perda de sólidos solúveis na água	59
4.1.2	Acidez alcoólica	64
4.2	Caracterização Química das Matérias-Primas e Massas Alimentícias Pré-Cozidas	67
4.2.1	Composição centesimal	67
4.2.2	Composição em minerais	70
4.2.3	Composição em vitamina B ₂	75
4.3	Caracterização Microbiológica das Matérias-Primas e Massas Alimentícias Pré-Cozidas	78
4.4	Caracterização Física das Matérias-Primas e Massas Alimentícias Pré-Cozidas à Base de Arroz e Feijão	81
4.4.1	Classificação Granulométrica das Matérias-Primas e Farinhas Mistas	81

4.4.2	Análise de cor	83
4.4.2.1	Luminosidade	85
4.4.2.2	Cromaticidade <i>a</i>	87
4.4.2.3	Cromaticidade <i>b</i>	89
4.4.2.4	Diferença de cor (ΔE)	92
4.5	Características Tecnológicas Funcionais das Massas Alimentícias Pré-Cozidas à Base de Arroz e Feijão	95
4.5.1	Índice de solubilidade em água (ISA)	97
4.5.2	Índice de absorção de água (IAA)	100
4.5.3	Propriedades viscoamilográficas	103
4.5.3.1	Perfil de viscosidade de pasta	105
4.5.3.2	Viscosidade de pasta inicial a 25 °C	106
4.5.3.3	Viscosidade de pasta máxima	109
4.5.3.4	Viscosidade de pasta mínima	113
4.5.3.5	Breakdown	115
4.5.3.6	Viscosidade de pasta final	118
4.5.3.7	Setback	122
4.6	Avaliação Sensorial das Massas Alimentícias Pré-Cozidas à Base de Farinha Mista de Arroz Polido e Feijão Preto sem Casca	125
5	CONCLUSÕES	132
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	133
	ANEXOS	159

1 INTRODUÇÃO

As massas alimentícias estão incorporadas à cozinha brasileira, servindo como prato principal ou complemento nas principais refeições, tendo alto índice de aceitabilidade, devido à praticidade e rapidez do seu preparo, e também à saciedade que proporcionam. Estas características justificam o fato do Brasil ser o terceiro produtor mundial de macarrão, atrás somente da Itália e Estados Unidos, com produção anual de mais de um milhão de toneladas.

A possibilidade de produzir novos tipos de massas a partir de cereais diferentes do trigo tem despertado o interesse de pesquisadores, não apenas pelo custo dessa matéria-prima, mas, principalmente, por permitir o uso de outros cereais largamente disponíveis e não adequadamente utilizados como o arroz, e matérias-primas não convencionais, como as leguminosas.

O processo de extrusão é uma alternativa viável para a produção de massas alimentícias, especialmente devido à facilidade de produção deste tipo de produto, por dispensar etapas adicionais, quando comparado ao processo tradicional de fabricação de massas. Alguns pesquisadores têm utilizado a extrusão com sucesso para a obtenção de massas pré-cozidas, sem glúten, que apresentem características de qualidade adequadas, aparência satisfatória e sejam sensorialmente aceitas.

A tecnologia de extrusão termoplástica combina a ação do trabalho mecânico com a ação do calor e pressão, modificando a estrutura do material, gerando novas formas e texturas. Além disso, é um processo tecnológico não poluente, uma vez que não gera resíduo, e que promove a inativação de enzimas, a destruição de fatores antinutricionais, a diminuição da população microbiana e favorece o desenvolvimento industrial de produtos inovadores, através do aproveitamento de uma grande quantidade de produtos e subprodutos com alta qualidade nutritiva, custo acessível e que atendam consumidores de diferentes níveis sociais, contribuindo, portanto, para a melhoria do valor nutricional de vários tipos de alimentos, como o macarrão, por exemplo. É também uma tecnologia recomendada na elaboração de alimentos com fins dietéticos, como no caso de produtos isentos de glúten, que podem ser consumidos por portadores da doença celíaca.

Dentre as matérias-primas utilizadas no presente trabalho, o arroz polido constitui importante fonte de calorias, por ser rico em amido, e proteínas na alimentação de mais da metade da população mundial. Entre os cereais, o arroz apresenta maior digestibilidade, maior valor biológico e elevado quociente de eficiência protéica, apesar de sua deficiência em lisina, e é um dos poucos cereais que podem ser incluídos na dieta dos portadores da doença celíaca. Além disso, é rico em minerais e vitaminas do complexo B. Já o feijão, é fonte de fibras, ferro, zinco e magnésio, entre outros minerais, e é um dos vegetais mais ricos em proteínas. A proteína desta leguminosa é rica em lisina, aminoácido presente em pequena quantidade no arroz, e deficiente em aminoácidos sulfurados, como a metionina e a cisteína, os quais têm excelente fonte no arroz. Assim, a combinação do arroz com o feijão fornece uma proteína de alta qualidade, além de conter baixo conteúdo de lipídeos e não conter colesterol. Em virtude dessas características nutricionais, a mistura entre o arroz e o feijão é tida como benéfica à saúde, prevenindo doenças crônicas não transmissíveis, como diabetes tipo 2, dislipidemias e hipertensão, sendo de grande valia também, pois, a maior parte da população mundial depende de alimentos de origem vegetal como principal fonte nutricional.

A doença celíaca é uma afecção inflamatória crônica caracterizada por permanente intolerância ao glúten contido nos alimentos elaborados com trigo, centeio, cevada e aveia, que em sua forma clássica manifesta-se por diarreia, distensão abdominal e desnutrição progressiva, resultante da má absorção de nutrientes gerada pela atrofia da mucosa intestinal. Pequenas quantidades de glúten ou produtos que contenham glúten são suficientes para desencadear alterações intestinais, mesmo na ausência de sintomas aparentes, entretanto, com a introdução de uma rigorosa dieta sem glúten, as manifestações clínicas desaparecem e o intestino tende a recuperar a sua capacidade de digestão e absorção.

O mercado brasileiro dispõe hoje de algumas opções de massas alimentícias sem glúten, entretanto, de modo geral, possuem elevado valor energético, reduzido teor fibras, vitaminas e minerais e baixa qualidade de proteínas. Assim, a elaboração de massas à base de arroz polido e feijão preto sem casca, se justifica tanto pela boa aceitação das massas alimentícias na culinária brasileira como pela disponibilidade das matérias-primas e tecnologia apropriada, e da possibilidade de melhorar a qualidade nutricional deste tipo de alimento, tendo em vista que há carência de massas isentas de glúten que forneçam quantidades expressivas de nutrientes que promovam a manutenção da saúde e a prevenção de co-morbidades associadas. Sendo assim, foi realizado o presente trabalho com os seguintes objetivos:

1.1 Objetivo Geral

Desenvolver massas alimentícias pré-cozidas por extrusão isentas de glúten, contendo arroz e feijão como matéria-prima, visando a sua aplicação como alimento nutritivo para toda a população, principalmente para os portadores da doença celíaca.

1.2 Objetivos Específicos

- Estabelecer os parâmetros de extrusão na elaboração de massa alimentícia pré-cozida, produzida a partir da mistura de farinha de arroz polido e farinha de feijão preto sem casca.
- Determinar e avaliar as propriedades químicas, físicas, funcionais e de qualidade das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão.
- Avaliar as condições microbiológicas das matérias-primas utilizadas e das massas alimentícias pré-cozidas cruas à base de arroz e feijão produzidas antes de serem levadas à análise sensorial.
- Avaliar as propriedades sensoriais de aceitabilidade das melhores massas alimentícias pré-cozidas elaboradas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Massas Alimentícias

Segundo o regulamento técnico para fixação de identidade e qualidade de massa alimentícia (BRASIL, 2000), massa alimentícia é o produto não fermentado, apresentado sob várias formas, recheado ou não, obtido pelo empasto, amassamento mecânico de farinha de trigo comum e/ou sêmola/semolina de trigo, e/ou farinha de trigo integral, e/ou farinha de trigo durum, e/ou sêmola/semolina de trigo durum, e/ou farinha integral de trigo durum, e/ou derivados de cereais, leguminosas, raízes ou tubérculos, adicionado ou não de outros ingredientes e acompanhado ou não de temperos e/ou complementos, isoladamente ou adicionados diretamente à massa.

As massas alimentícias apresentam alto índice de aceitabilidade, sendo um alimento rápido, versátil e de baixo custo. A simplicidade do processo de produção das massas alimentícias, aliada ao seu fácil manuseio e estabilidade durante o armazenamento, fizeram com que esse tipo de produto tivesse seu consumo popularizado nas mais diversas regiões do mundo (MENEGASSI e LEONEL, 2006).

Em termos de mercado, o Brasil ocupa o terceiro lugar na produção mundial de macarrão, estando atrás apenas da Itália e dos Estados Unidos, com um milhão de toneladas por ano, e é o quinto maior consumidor das Américas (ABIMA, 2008). O consumo *per capita* anual de massas alimentícias no país ultrapassa os 6,0 kg (Tabela 1), e aproximadamente 87 % deste consumo corresponde a massas secas, que atingiu em 2007, cerca de um milhão e cem mil toneladas de produtos vendidos (Figura 1).

No Brasil, dos diferentes tipos de massas produzidas, as massas frescas são as que possuem menor consumo *per capita* (Tabela 1), provavelmente devido a sua baixa vida de prateleira, em comparação aos demais tipos comercializados.

Tabela 1. Consumo *per capita* de massas alimentícias (kg/habitantes/ano) no Brasil.

Tipos de Massas	2003	2004	2005	2006	2007
Massas Secas	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8
Massas Instantâneas	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7
Massas Frescas	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Total de Massas Alimentícias	6,5	6,6	6,6	6,7	6,7

Fonte: Associação Brasileira das Indústrias de Massas Alimentícias (ABIMA), 2008.

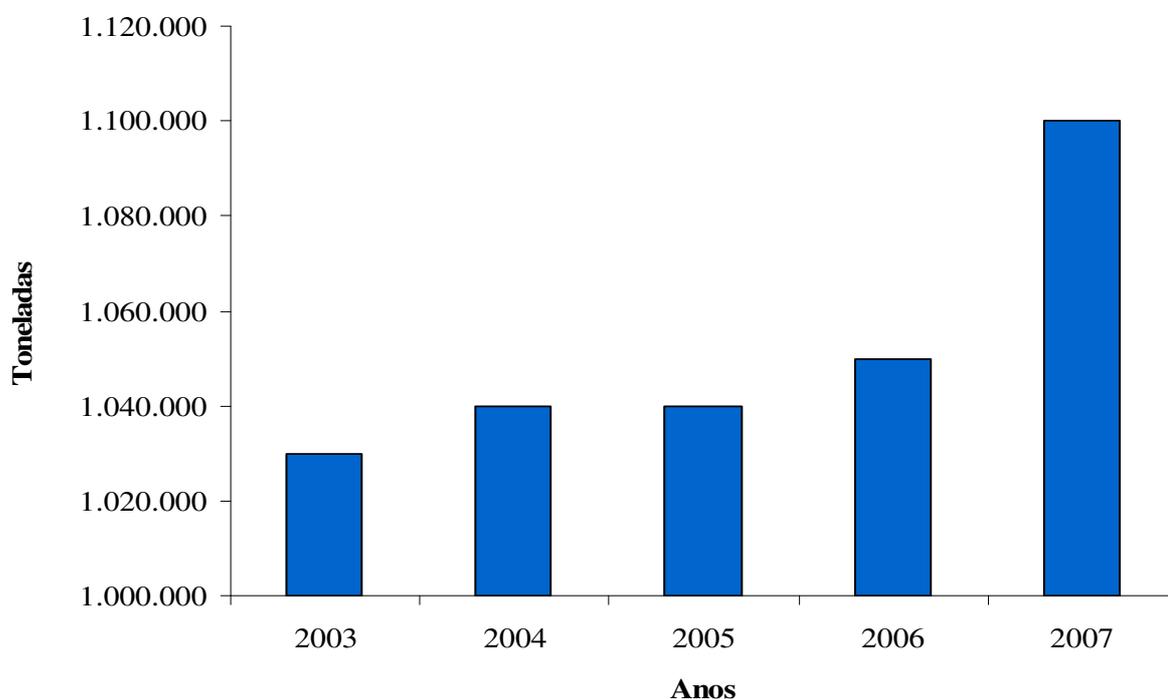


Figura 1. Vendas de massas alimentícias secas – volume (em toneladas), no Brasil. Fonte: Associação Brasileira das Indústrias de Massas Alimentícias (ABIMA), 2008.

2.1.1 Massas alimentícias não convencionais

A literatura cita diversas tecnologias para a produção de massas em escala industrial usando matérias-primas não convencionais. Em todos os casos, as técnicas envolvidas baseiam-se em tratamento à alta temperatura de uma fração da massa de amido ou farinha que, em seguida, é vigorosamente misturada aos demais ingredientes. De acordo com Milatovic e Ballini (1986) o amido assim tratado se comporta como ligante, formando uma rede.

Pagani, Resmini e Dalbon (1981) relatam tecnologia que prevê a pré-gelatinização de uma parte da matéria-prima e a posterior mistura desta porção com a massa restante não tratada; a amilose da porção pré-gelatinizada favorece a polimerização desta fração com a fração de amido não tratado, criando uma estrutura que desempenha funções similares às que o glúten desempenha nas massas à base de trigo.

O uso de aditivos também auxilia na obtenção de produtos de boa qualidade, pois, alguns reagem com as proteínas tornando a sua reticulação mais fácil, enquanto outros reagem no amido e conseqüentemente, evita-se a pegajosidade da massa durante o cozimento (PAGANI, 1986).

Em um estudo preliminar, Ormenese (1998) utilizou a farinha de arroz para a produção de massas alimentícias por meio dos processos convencionais de extrusão de macarrão e secagem à alta temperatura com a finalidade de estudar a influência da adição de dois diferentes emulsificantes nas características de cozimento da massa e verificou a importância destes na qualidade do macarrão, uma vez que os produtos obtidos apresentaram parâmetros de cozimento próximos aos do macarrão de trigo.

Nabeshima, Hashimoto e El-Dash (2003) avaliaram o efeito da adição de emulsificantes em massas alimentícias sem glúten e observaram que estes aditivos, tanto individualmente como em mistura, melhoraram a qualidade da massa, principalmente pela propriedade lubrificante que proporcionam, o que facilitou o processo de extrusão termoplástica e possibilitou o uso de temperaturas acima de 90 °C sem formação de bolhas no interior das massas.

Ormenese e Chang (2003) elaboraram macarrão de arroz utilizando 60 % de farinha de arroz, 40 % de farinha de arroz pré-gelatinizada, 2 % de monoglicérides destilados e 6,4 % de clara de ovo desidratada e observaram que o produto estudado mostrou-se similar ao padrão de trigo no que diz respeito às características de cozimento, e mais firme e menos pegajoso que o macarrão convencional. Além disso, a massa produzida foi bem aceita por portadores da doença celíaca, apresentando índices de aceitação superiores a 80 % para todas as características avaliadas e intenção de compra próxima de 90 %.

Alguns estudos também têm sido conduzidos para avaliar alimentos que tenham condições de substituir total ou parcialmente a farinha de trigo na elaboração de massas alimentícias, objetivando obter produtos alternativos, nutritivos e economicamente viáveis. Neste sentido, Oliveira et al. (2006) produziram alguns tipos de espaguete utilizando farinha de trigo e farinha do fruto da pupunheira. Os testes de cozimento mostraram que a adição de 15 % da farinha de pupunheira promoveu redução do tempo de cozimento e diminuição do volume das massas não cozidas. As características farinográficas das farinhas mistas, quando comparadas à farinha de trigo, demonstraram resultados satisfatórios.

Menegassi e Leonel (2005) desenvolveram massas alimentícias com farinhas mistas de mandioquinha-salsa e trigo nas proporções de 0, 25, 50, 75 e 100 % de farinha de mandioquinha-salsa. Os resultados obtidos mostraram redução significativa no teor de proteínas e lipídeos nas farinhas mistas com o aumento da proporção de farinha de mandioquinha-salsa e um maior teor de carboidratos totais e fibras nas maiores proporções de farinha de mandioquinha-salsa. Em relação à qualidade das massas não foi observado efeito da concentração de farinha de mandioquinha-salsa para o parâmetro aumento de volume e rendimento até o nível de 75 %, entretanto, maiores perdas de sólidos solúveis foram verificadas a medida em que houve acréscimo do teor de farinha de mandioquinha-salsa nas formulações.

De acordo com Pagani (1986), também é possível obter uma massa não-convencional de boa qualidade se forem acrescentadas à formulação, substâncias protéicas capazes de formar uma rede durante o cozimento e mesmo durante o processo. Os requisitos tecnológicos necessários para estes ingredientes são: a perfeita solubilização inicial e a rápida coagulação durante o tratamento térmico (secagem ou cozimento). A secagem à alta temperatura favorece a formação de uma rede protéica que envolve o amido gelificado durante o cozimento, não permitindo que ele se disperse na fase aquosa, o que proporciona uma massa menos pegajosa.

Santucci et al. (2003) enriqueceram macarrão tipo tubo com derivados de levedura e verificaram que a adição de 5 ou 7,5 % de derivado de levedura, tanto autolisado quanto extrato, elevou os níveis de proteína, fibra alimentar e umidade dos macarrões em comparação com a formulação padrão elaborada, assim como melhoraram os escores de aminoácidos essenciais e possibilitaram a produção de massas com qualidade satisfatória.

Há alguns milhares de anos antes de Cristo, os chineses inventaram o macarrão que originariamente era produzido com farinhas de arroz e de leguminosas. A partir de então, as massas começaram a conquistar os países ocidentais (PAGANI, 1986). Segundo Miskelly (1993) são utilizados farinhas e amidos de arroz, trigo ou mandioca para a produção de massas alimentícias na Ásia. Ainda conforme esse autor referências sobre o uso de amido de feijão, batata ou milho são encontradas.

A adição de leguminosas à massa de trigo, além dos benefícios tecnológicos que pode proporcionar, resulta em melhoria da qualidade protéica, por meio da complementação mútua de aminoácidos e do aumento no teor de proteínas totais (CABALLERO-CÓRDOBA, WANG e SGARBIERI, 1994). Assim, com o objetivo de aumentar a qualidade nutricional de massas alimentícias feitas de trigo muitos estudos já foram conduzidos com o uso de leguminosas como o feijão, a ervilha e a soja, entre outras (CASAGRANDE et al., 1999; NIELSEN, SUMMER e WHALLEY, 1980; OLIVEIRA et al., 2004).

Nicoletti (2007) produziu dois tipos de massa, uma delas à base de farinha de trigo e a outra com 25 % de farelo de soja e 75 % de quirera de arroz. O macarrão melhorado em proteína dispôs de adequado perfil de aminoácidos, principalmente essenciais, aliado a adequadas características tecnológicas e aprovação sensorial. Quanto à resposta biológica e metabólica, o autor relatou que os animais submetidos à ração elaborada com macarrão enriquecido responderam fisiologicamente com aumento de peso e diminuição de triglicerídeos e colesterol.

Mariusso (2008) desenvolveu macarrões enriquecidos com soro de leite em pó, extrato de levedura e farinha de soja desengordurada, e os resultados encontrados mostraram que as misturas acrescidas com 9 % de farinha de soja desengordurada apresentaram melhor comportamento, gerando um produto de boa qualidade nutricional, boa aceitabilidade geral e baixo custo. O acréscimo de proteínas apresentou vantagens quantitativas e qualitativas quando comparado ao produto tradicional.

De modo geral, os trabalhos que estão relacionados à substituição total da farinha de trigo por outras na elaboração de massas alimentícias, objetivam produzi-las para os portadores de doença celíaca, enquanto as propostas de elaboração de massas com substituições parciais de farinha de trigo por outras farinhas, tendem à melhora nutricional, à elaboração de produtos à base de ingredientes regionais e à incorporação de ingredientes específicos sem, contudo, interferir nas suas características sensoriais.

Estas iniciativas são importantes, pois o macarrão, em termos de valor nutricional, é um alimento deficitário, principalmente em relação à qualidade protéica, se destacando por ser rico em carboidratos.

2.2 Extrusão Termoplástica

2.2.1 Definição, vantagens e aplicações

Segundo Chiang e Johnson (1977), o princípio básico da extrusão é a transformação de um material sólido em fluido, através do calor e trabalho mecânico, comprimindo-o através de uma matriz a fim de formar um produto com características físicas e geométricas pré-determinadas. O termo termoplástico significa a capacidade de amolecer ou fundir um determinado material quando aquecido e endurecer novamente quando resfriado (GÓMEZ, 1997; GONZÁLEZ, TORRES e DE GREEF, 2002).

A extrusão termoplástica consiste em um processo térmico a uma temperatura elevada durante curto tempo, pelo qual, materiais amiláceos e/ou proteináceos umedecidos, expandíveis, são plasticizados e cozidos em um tubo, pela combinação de umidade, pressão, temperatura e cisalhamento mecânico (SMITH, 1976 e 1979). É um processo contínuo e de um único estágio, que por envolver altas temperaturas e pressões, umidade e trabalho mecânico, promove a transformação dos alimentos quanto as suas características químicas, físicas e nutricionais (ASCHERI, 1997; GUY, 2002; RIBAS et al., 2000).

No processo de extrusão termoplástica ocorrem simultaneamente diversos processos, como a mistura, o cisalhamento, o cozimento e a formatação. Sendo assim, a matéria-prima processada é submetida a diversas mudanças, entre as quais destacam-se: hidratação de amidos e proteínas, homogeneização, gelatinização do amido, liquefação de gorduras, desnaturação de proteínas, destruição de fatores antinutricionais, inativação de enzimas, diminuição da população microbiana, plastificação e expansão do material processado para criar novas formas e texturas (EL-DASH, 1981; FELLOWS, 2000; MERCIER e CANTARELLI, 1986).

Os parâmetros de viscosidade de pasta possibilitam a determinação e o estudo do grau de cozimento do produto extrusado e permite avaliar o comportamento do amido em meio aquoso, aplicando-se diferentes temperaturas durante o processo.

Ascheri (1997), González, Torres e De Greef (2002), Guy (2002), Harper (1981), Lusas e Riaz (1994) e Ribas et al. (2000) afirmam que o processo de extrusão possui uma série de vantagens entre as suas funções, tais como: cozimento rápido dos ingredientes a alta temperatura, pois, promove a digestibilidade do amido, desnatura proteínas vegetais sem alterar sua qualidade, desativa fatores tóxicos ou antinutricionais (inibidores de tripsina, ácido fítico etc.), reduz a carga microbiana e aumenta a vida de prateleira dos produtos extrusados; homogeneização e reestruturação de matérias-primas pouco atrativas em produtos com textura e formas aceitáveis; redução da perda de nutrientes, como vitaminas; produção contínua e em larga escala; ausência de efluentes, devido ao tempo de permanência do produto no extrusor, tendo a vantagem de executar várias operações unitárias num processo único, rápido e eficiente; redução do custo em relação à energia, mão-de-obra, e outros custos de processamento pelo aumento do controle automático; versatilidade, considerada uma das características mais importantes, pois permite o uso de diversos parâmetros e controle no processo, os quais se adequam ao uso de uma ampla gama de matérias-primas para produzir uma série de produtos utilizando-se uma máquina, mudando apenas as configurações dos vários constituintes das seções do extrusor.

O processo de extrusão termoplástica tem proporcionado numerosas aplicações, sobretudo na indústria alimentícia, na qual há elaboração de produtos, tais como cereais matinais, petiscos, *snacks*, macarrões, alimentos à base de cereais enriquecidos com proteína, bebidas em pó e proteínas de soja texturizada, farinhas e amidos pré-gelatinizados utilizados na formulação de sopas de preparo rápido, molhos semi-processados, produtos de confeitaria, entre outros. Esses produtos geralmente são elaborados a base de cereais, como o milho e o arroz, e de amidos de raízes e tubérculos como a mandioca e a batata (BALAGOPALAN, 2002; BOONYASIRIKOOL e CHARUNUCH, 2000; CHEYNE, BARNES e WILSON, 2005; CHUANG e YEH, 2004).

Alguns estudos elaborados nos últimos anos têm mostrado a utilização do processo da extrusão com o arroz (BORGES, 2002; CARVALHO, ASCHERI e CAL-VIDAL, 2002; GÓMEZ, 1997; MENDONÇA, 2005; SILVA, 2002; SILVA, 2007; WANG et al., 1999b). As vantagens de usar este cereal na elaboração de *snacks*, massas alimentícias, farinhas instantâneas e cereais matinais reside no fato de que o arroz não é alergênico, é livre de glúten e naturalmente tem baixo teor de sódio e somente traços de lipídios, é uma fonte importante de vitaminas e minerais e tem aproximadamente 7 % de proteína de alta qualidade (DZIEZAK, 1991 e GÓMEZ, 1997).

Trabalhos também reportam o uso da farinha de feijão na elaboração de produtos extrusados, tendo em vista os seus benefícios nutricionais como alto teor de proteínas e fibras e baixo conteúdo de lipídeos, assim como, o fato do seu consumo ter sido associado de modo inversamente proporcional à redução de doenças coronarianas e alguns tipos de câncer (AZEVEDO et al., 2003; WINHAM e HUTCHINS, 2007).

Berrios (2006) cita que a incorporação de farinhas de leguminosas causa impacto positivo nos níveis de proteínas e fibra dietética de extrusados à base de amido de milho, gerando produtos com alto valor nutricional e baixa caloria, além de proporcionar uma boa expansão. Em contrapartida, a adição de ingredientes alternativos ao amido, com alto teor de fibra e proteínas, tem demonstrado efeito significativo sobre a textura e aceitabilidade de *snacks* extrusados (LIU et al., 2000; VERONICA, OLUSOLA e ADEBOWALE, 2006).

Pesquisas têm mostrado que a extrusão termoplástica inativa os fatores antinutricionais presentes no feijão (ALONSO, AGUIRE e MARZO, 2000; SHIMELIS e RAKSHIT, 2007) e a mesma tem sido considerada um método efetivo para aumentar a digestibilidade das proteínas e do amido de extrusados à base de feijão (BERRIOS, 2006).

No tocante à produção de massas alimentícias, Leitão, Gonçalves e Vitti (1989) afirmam que a qualidade das massas alimentícias depende das características de suas matérias-primas, assim como das condições de processamento e secagem, sendo este último considerado lento, mesmo quando são empregadas altas temperaturas. Desta forma, o processo de extrusão pode minimizar este problema, pois além de apresentar os benefícios do processo térmico convencional, é rápido e oferece as possibilidades de modificar estruturas do amido e proteínas, podendo, portanto, melhorar as propriedades sensoriais (CHEN et al., 1991), como relatam alguns pesquisadores que utilizaram a extrusão termoplástica para a obtenção de massas alimentícias sem glúten (BORGES et al., 2003; COLE et al., 1990; NABESHIMA et al., 2003).

Wang et al. (1999a) desenvolveram massas alimentícias isentas de glúten e ricas em proteína, e, principalmente, em lisina, à base de farinha de ervilha pelo processo convencional e obtiveram produtos considerados de baixa qualidade, com características sensoriais pouco aceitáveis e desintegração durante o cozimento. Utilizaram, então, a tecnologia de extrusão termoplástica para a produção desta massa e os produtos resultantes apresentaram maior resistência à quebra, sabor e textura melhores e pouca alteração quando submetidos ao cozimento.

Depieri (2004) elaborou massas alimentícias instantâneas com farinha de trigo comum e semolina de trigo durum e observou que a extrusão termoplástica permitiu a obtenção de pastas de boa qualidade. Este autor ainda relata que no processo convencional de produção de pastas, a matéria-prima mais indicada é a semolina, principalmente devido ao alto teor protéico, incluindo proteínas de melhor qualidade que atendem ao perfil tecnológico ideal para a produção de massas alimentícias. Com base nos resultados encontrados, Depieri constatou que no processo de extrusão a influência da proteína na produção de pastas instantâneas é minimizada, por outro lado, neste processo, o papel do amido gelatinizado é importante na confecção de massas alimentícias instantâneas de boa qualidade.

Silva (2007) produziu macarrões pré-cozidos à base de farinha de arroz integral e farinha de milho por extrusão e os resultados descritos evidenciam a possibilidade do desenvolvimento de massas com boas qualidades de cozimento e textura e com aspectos sensoriais satisfatórios.

2.2.2 Descrição do processo de extrusão

O extrusor é composto de cinco partes principais: um mecanismo de alimentação, que pode ser vertical ou horizontal; uma rosca ou um parafuso sem fim, que transporta a matéria-prima; um cilindro ou canhão, que serve para controlar a temperatura; a matriz, que modela o produto na forma desejada, e um mecanismo de corte, essencial para a formação do produto extrusado (EL-DASH, 1981).

Na Figura 2 está representado de forma esquemática um extrusor de rosca simples.

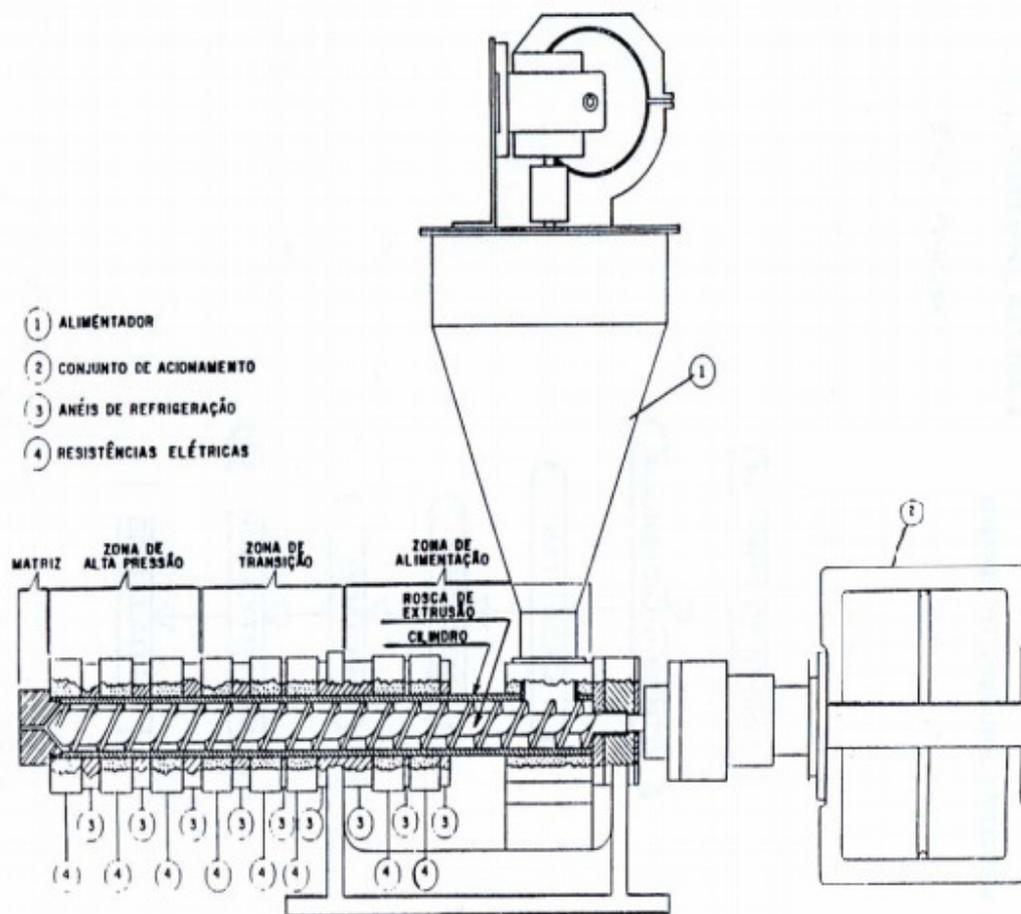


Figura 2. Desenho esquemático de um extrusor monorosca. Fonte: SEBIO, 1996.

Segundo Guy (2001), o processo de extrusão termoplástica pode ser dividido basicamente em três etapas: o pré-condicionamento, onde é feito o ajuste de umidade da matéria-prima a ser extrusada; a extrusão propriamente dita, ou seja, a inserção de matéria-prima no extrusor e a modificação da mesma em relação às suas características físico-químicas e sensoriais; e a pós-extrusão, que representa o tratamento que o produto sofre após ter sido extrusado, destacando-se a secagem.

De acordo com Gutkoski (2000), o alimentador é composto de um recipiente para receber o material extrusado e de um parafuso, localizado vertical ou horizontalmente, e tem a função de manter a alimentação constante e ininterrupta, o que é essencial para o funcionamento do extrusor, bem como para a homogeneidade e a qualidade do produto final. Enquanto o parafuso, considerado a parte mais importante do extrusor, ajuda a regular o grau de cozimento e a gelatinização. Este, mistura continuamente o material e o conduz pelo cilindro, gerando fricção mecânica e calor, que ajudam a fundir o produto.

O parafuso do extrusor divide-se em 3 seções: de alimentação, de transição e de alta pressão apresentado no esquema da Figura 3.

A função da seção ou zona de alimentação é receber o material, misturá-lo, comprimi-lo, e iniciar seu transporte através do parafuso. No transporte, o alimento se transforma numa massa contínua (estado mais homogêneo), o ar é expelido e os espaços da rosca são ocupados (GÓMEZ, 1997; SILVA, 2002).

Na seção ou zona de transição, conhecida como zona do amassado, a geometria do parafuso modifica-se gradualmente com decrescente altura da rosca, ou a presença de placas perpendiculares ao fluxo para restrição interna deste, os quais irão aumentar a taxa de cisalhamento e a energia mecânica, resultando em elevação da temperatura. O alimento nessa seção é trabalhado totalmente, transformando-se em uma massa de cozimento parcial (GÓMEZ, 1997; SILVA, 2002).

A alta pressão ou zona do cozimento final é a parte mais importante do extrusor. A sua função é receber o material comprimido, homogeneizá-lo e forçá-lo através da matriz, em pressão constante. A taxa de cisalhamento é muito alta nessa seção, fazendo com que a intensidade da mistura seja aumentada e a dissipação de energia mecânica atinja o ponto máximo. O aumento da temperatura é muito rápido e alcança o máximo antes do produto emergir da matriz, assim, a massa é cozida até o grau desejado (ASCHERI, 1997).

A matéria-prima que entra no processo é convertida em uma massa fundida, devido às altas pressões e ao grande cisalhamento, em temperaturas elevadas, dentro do extrusor, o que mantém a água em estado líquido. Quando essa massa sai pela matriz do extrusor, ao final do cilindro ou canhão, a água líquida supersaturada se vaporiza instantaneamente, devido à mudança de pressão, passando o produto de uma massa fundida a um produto poroso, após a sua solidificação à temperatura ambiente (AREAS, 1992).

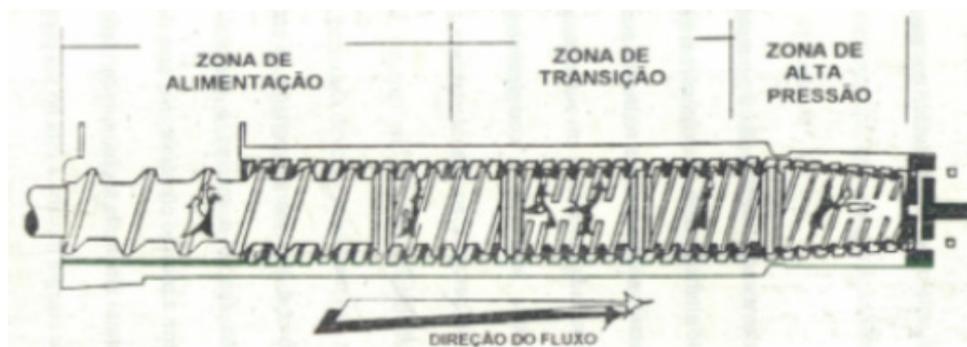


Figura 3. Desenho esquemático das zonas do parafuso de um extrusor. Fonte: SILVA (2002).

O cilindro pode ser formado de uma única peça ou dividido em seções, a fim de que sua desmontagem seja facilitada. O controle da temperatura em cada seção do extrusor pode ser feito por meio de serpentinas de ar comprimido ou camisas de água fria que circundam o cilindro, proporcionando maior controle e flexibilidade na operação (SILVA, 2002). O final do cilindro é equipado com um sistema de peças que, geralmente, possui vários orifícios, conhecida como matriz, cuja função é moldar o produto no formato desejado e trabalhar como um redutor de fluxo, aumentando a pressão na zona de cozimento do extrusor (EL-DASH, 1982).

Segundo Ribas et al. (2000) o controle do processo de extrusão é bastante complexo devido a um grande número de variáveis que o afetam. Para Fellows (2000), os dois principais fatores que influenciam nas características dos produtos extrusados são: as características das matérias-primas e as condições operacionais do extrusor. Como principais características, para a matéria-prima, são destacadas as seguintes: tipo de material, teor de umidade, estado físico, composição química (teores e tipos de amidos, proteínas, gorduras, fibras e açúcares) e pH do material. Já, como parâmetros operacionais são apontados como importantes: temperatura, pressão, diâmetro da matriz e taxa de cisalhamento, sendo esta última influenciada pelo desenho interno do extrusor e pelo seu comprimento; além da velocidade e geometria da(s) rosca(s).

2.2.3 Efeito dos parâmetros de extrusão sobre as propriedades tecnológicas funcionais de extrusados

O índice de solubilidade em água (ISA) é um parâmetro que mede o grau de degradação do grânulo de amido e depende da quantidade de moléculas solúveis e também da intensidade e do tipo de reações que ocorrem durante a extrusão. Além da gelatinização do amido, que resulta na liberação da amilose e amilopectina de seus grânulos, poderá ocorrer também a dextrinização dos componentes do amido e outras reações que conduzem à formação de compostos de baixo peso molecular, que irão influir no índice de solubilidade em água (GUTKOSKI, 1997; SEBIO e CHANG, 2000). Já o índice de absorção de água (IAA) 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 (CARVALHO, ASCHERI e CAL-VIDAL, 2002).

As propriedades de ISA e IAA são indicadoras dos fenômenos que ocorrem na extrusão (LINKO, COLONNA e MERCIER 1981). Durante a extrusão, o grânulo de amido gelatinizado, perde a integridade e também a sua capacidade de inchar quando aquecido em água, o que provoca diminuição da viscosidade à quente (95 °C), aumento da tendência a absorver água à temperatura ambiente, aumentando, conseqüentemente, a viscosidade a frio (25 °C) e o IAA. A liberação de cadeias de amilose e amilopectina aumentam o ISA (EL-DASH, GONZALES e CIOL, 1984; GOMEZ e AGUILERA, 1984).

No estudo realizado por Borba (2005) em extrusados de farinha de batata-doce, valores mais elevados de IAA foram obtidos com baixa rotação da rosca. Isso pode ter ocorrido, pois a baixa velocidade do parafuso possibilita maior tempo de residência da mistura no extrusor, e com isso, pode haver maior cocção das amostras. Gómez e Aguilera (1983) relatam que o baixo cisalhamento e/ou baixa temperatura permitem maiores cadeias de polímeros não danificados e uma grande disponibilidade de grupos hidrofílicos, aos quais ligam-se mais moléculas de água, resultando em altos valores de índice de absorção de água.

Hashimoto e Grossmann (2003) verificaram que o aumento da temperatura resulta em diminuição do índice de absorção de água devido à possível degradação do amido. Segundo Chang et al. (2001) a baixa capacidade de absorver água poderia ser desejável em produtos extrusados onde a integridade estrutural e a termoestabilidade do produto seriam importantes.

Borges (2002), Gómez (1997), Mendonça (2000) e Silva (2002) constataram que o aumento da variável ISA é notável com o incremento da temperatura e com a redução do conteúdo de umidade.

A viscosidade de pasta do amido é um outro parâmetro importante na avaliação de um produto extrusado, e está relacionada com o nível de degradação sofrido pelo grânulo de amido. Para avaliar a sua viscosidade a água é aquecida gradativamente e posteriormente resfriada (BORGES, 2002; GÓMEZ, 1997; MENDONÇA, 2000; SILVA, 2002). À medida que se aquece a solução água-amido, os grânulos de amido começam a absorver a água e a característica de birrefringência, dada pela estrutura organizacional da amilose e amilopectina, desaparece e a viscosidade da solução aumenta. Segundo Ascheri et al. (2006b), 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, o que origina sítios hidrofílicos que se ligam a moléculas de água, aumentando a solubilidade do amido e a viscosidade a quente.

Anderson et al. (1969), afirmaram que um alto valor de viscosidade inicial indica a presença de produtos gelatinizados, ao passo que uma baixa nessa viscosidade evidencia o rompimento de polímeros (amido).

Wang et al. (2005) verificaram que a viscosidade a frio a 25 °C das farinhas de trigo e soja (90:10) pré-cozidas aumentou com o aumento da temperatura de barril e da umidade.

Torres et al. (2005) afirmam que a viscosidade máxima, ou a quente, indica as possibilidades de utilização da farinha extrusada, e torna-se importante quando, por exemplo, a farinha for destinada ao preparo de sopas, tortas ou outros alimentos em que é necessário conservar a viscosidade em temperatura acima da ambiente.

Valores mais elevados de viscosidade a quente indicam tratamentos menos severos e umidade mais elevada, pois estas condições possibilitam a manutenção de maior percentual de grânulos de amido intactos. Gomez e Aguilera (1983) e Arámbula et al. (1998), confirmam que a viscosidade máxima depende da variável temperatura, sendo normalmente alta para amostras tratadas a temperaturas baixas, devido à quantidade de grânulos de amido ainda disponíveis para serem gelatinizados. Já Silva et al. (2004) observaram que a degradação dos grânulos de amido aumenta em baixa umidade, uma vez que o atrito mecânico provocado pelo parafuso é maior. Isto se reflete em menores condições de intumescimento dos grânulos, diminuindo a viscosidade.

No estudo realizado em farinhas mistas extrusadas à base de farinha de milho, derivados de levedura e caseína, Alvim, Sgarbieri e Chang (2002) observaram que uma característica marcante de todas as farinhas extrusadas é a de não apresentar aumento de viscosidade com o abaixamento da temperatura de 95 °C para 50 °C, contrariamente ao que foi observado nas mesmas farinhas mistas enquanto cruas. Este fenômeno, segundo os autores, provavelmente ocorreu pela retrogradação do amido na extrusão e pela incapacidade das proteínas, já desnaturadas pela extrusão, formarem géis, mediante aquecimento e resfriamento.

De acordo com Deshpande et al. (1983), a altura do pico de viscosidade pode refletir a habilidade dos grânulos de amido de se intumescerem, livremente, antes de suas quebras físicas. Os amidos que intumescem em maior grau são menos resistentes às quebras no cozimento e, portanto, a viscosidade pode diminuir significativamente após ter atingido o valor máximo.

Segundo Bobbio e Bobbio (2003), a viscosidade final, no ciclo de resfriamento, reflete o grau de retrogradação ou da recristalização das moléculas de amilose e amilopectina das matérias-primas. O efeito dessa retrogradação implica no aumento da viscosidade de pasta final.

2.3 Doença Celíaca

A doença celíaca é uma intolerância permanente ao glúten, presente em alguns cereais, denominada também de enteropatia glúten-sensível, que se caracteriza por atrofia total ou subtotal das vilosidades do intestino delgado proximal, levando, conseqüentemente, à má absorção da grande maioria dos nutrientes. A doença pode atingir pessoas de qualquer idade e sua manifestação depende não só do uso de glúten na dieta, mas também, da presença de fatores genéticos, imunológicos e ambientais (GUEVARA, 2002; KOTZE, 1998; WALKER, 1996).

De acordo com Landaburo e Pérez (2002) a prevalência da doença é muito variável de país para país, sendo desconhecidos dados estatísticos oficiais no Brasil. Atinge predominantemente os indivíduos de cor branca, mas no Brasil, devido à alta miscigenação racial, já foi descrita em mulatos. Manifesta-se geralmente, a partir do segundo semestre de vida, coincidindo com a introdução dos cereais na alimentação (KOTZE, 1998).

Embora até poucas décadas atrás fosse considerada uma afecção quase exclusivamente confinada a países europeus, tem sido detectada também em outros continentes com prevalência muito similar à encontrada na Europa, onde recentes estudos de rastreamento evidenciaram prevalência variando entre 0,5 e 2 % (REWERS, 2005). No Brasil, onde era considerada uma doença tradicionalmente rara, estudos de rastreamento detectaram uma prevalência variando entre 1:681 em grupo de doadores de sangue presumivelmente sadios (GANDOLFI et al., 2000) e 1:293 em grupo de adultos e crianças sem queixas gastroentéricas (PRATESI et al., 2003).

Segundo Pratesi e Gandolfi (2005) a doença celíaca pode ser considerada, mundialmente, como sendo um problema de saúde pública, principalmente devido à alta prevalência, freqüente associação com morbidade variável e não-específica e, em longo prazo, à probabilidade aumentada de aparecimento de complicações graves, principalmente osteoporose e doenças malignas do trato gastroentérico.

A doença celíaca é uma doença auto-imune que pode potencialmente afetar qualquer órgão, e não tão somente o trato gastroentérico, como previamente se supunha. A forma clássica da doença, com sintomatologia diretamente atribuível à má-absorção, é observada numa minoria de pacientes. Quando não tratada manifesta-se, freqüentemente, de forma monossintomática, através de anemia resistente ao tratamento, dermatite herpetiforme, que pode ser considerada a expressão dermatológica da doença, menarca tardia e menopausa precoce, infertilidade, abortos de repetição, depressão, sintomatologia neurológica progressiva, principalmente ataxia (falta de coordenação nos movimentos voluntários) e epilepsia (crises convulsivas) associadas a calcificações cerebrais, osteoporose e hipoplasia (redução na formação) do esmalte dentário. Expressiva parcela de pacientes, principalmente os identificados em estudos de rastreamento, relatam, antes do diagnóstico, um indefinível mal-estar geral, que aceitam como seu estado normal, apresentando nítida melhora após a instituição da dieta livre de glúten (MENDOZA e McGOUGH, 2005; PRATESI e GANDOLFI, 2005).

O tratamento da doença celíaca consiste na utilização de dieta isenta de glúten de forma permanente, devendo-se excluir os seguintes cereais e seus derivados: trigo, centeio, cevada e aveia (PENNA, MOTA e FAGUNDES NETO, 1991; SDEPANIAN, MORAIS e FAGUNDES NETO, 1999), o que leva à remissão dos sintomas e restauração da morfologia normal da mucosa (GUEVARA, 2002). As frações protéicas do glúten tóxicas ao paciente com doença celíaca são diferentes em cada um dos cereais, a saber: gliadina no trigo, hordeína na cevada, secalina no centeio e avenina na aveia (CICLITIRA e ELLIS, 1991). Estas frações protéicas, denominadas genericamente prolaminas, são solúveis em etanol.

O glúten, presente nos cereais trigo, centeio, cevada e aveia, deve ser substituído pelo milho, arroz, batata e mandioca, sendo considerados alimentos permitidos os grãos, óleos e azeites, leguminosas, hortaliças, frutas, ovos, carnes e leite, lembrando sempre que a dieta deverá atender às necessidades nutricionais de acordo com a idade do indivíduo (MORAIS, SDEPANIAN e FAGUNDES NETO, 2001; PETER e BEYER, 2005).

É de fundamental importância o cumprimento efetivo da dieta a fim de assegurar um desenvolvimento pondero-estatural e puberal adequados, boa 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 (SDEPANIAN et al., 2001; WALKER-SMITH e MURCH, 1999).

Yachha et al. (2007) realizaram estudo com crianças indianas portadoras da doença celíaca e evidenciaram que a dieta livre de glúten foi eficaz no tratamento da doença celíaca, levando a melhora dos sintomas, normalização do crescimento e estado nutricional, além de ter sido observada uma melhora acentuada na histologia do intestino delgado.

2.4 Arroz (*Oryza sativa*, L.)

2.4.1 Características gerais e utilização como matéria-prima

O arroz é nativo da Índia, sudeste da Ásia e China, e pertence à família das gramíneas, sendo um herbáceo anual e semi-aquático, embora possa sobreviver em clima tropical e subtropical (DZIEZAK, 1991). De acordo com Juliano e Hicks (1996), mais de vinte espécies do gênero *Oryza* são conhecidas, entretanto, praticamente todo o arroz cultivado pertence ao *Oryza sativa*, L.

Quanto ao processo de beneficiamento, o arroz pode ser classificado em quatro subgrupos: arroz integral, arroz parboilizado integral, arroz polido e arroz parboilizado polido (BRASIL, 1997). Dentre estes, o presente trabalho visa a produção de massas alimentícias utilizando o arroz polido.

O arroz polido é obtido após diversas etapas, sendo as mais importantes, as seguintes: descascamento, brunimento e polimento. Através da descascagem separa-se a casca da cariopse obtendo-se o arroz integral e, após a separação da casca do restante do grão, inicia-se o polimento. Segundo Kennedy, Burlingame e Nguyen (2002), nesta última fase do processo separa-se o farelo do grão propriamente dito através de uma série de cilindros, provocando a separação do germe e das camadas exteriores por abrasão, obtendo-se assim, o arroz branco.

O polimento melhora o sabor e a aparência do arroz, entretanto, por promover a perda das camadas de pericarpo, aleurona, subaleurona, embrião e pequena parte do endosperma, ele desencadeia perdas nutricionais, principalmente, vitaminas do complexo B, minerais e fibras alimentares.

Santos et al. (2004) relata que o farelo de arroz integral é um subproduto disponível no mercado brasileiro, entretanto, a presença de polissacarídeos não amiláceos em sua composição formam, em contato com o intestino, um gel que pode influenciar na absorção de alguns minerais.

De acordo com Bryant et al. (2001), devido a propriedades como hipoalergenicidade, flavor suave e capacidade de carrear flavor, o arroz pode ser usado em produtos enriquecidos. Nesse sentido, o grão de arroz tem sido amplamente utilizado na elaboração de diferentes produtos industrializados.

Os grãos quebrados e a quirera, subprodutos do beneficiamento do arroz, possuem um baixo valor de mercado, e constituem importante matéria-prima, para a elaboração de uma série de produtos que podem ser desenvolvidos através do processo de extrusão, como constituinte principal ou ingrediente em formulações na elaboração de produtos para o consumo humano e animal (ASCHERI, 2000; BORGES, 2002 e SILVA, 2002).

A farinha de arroz, por apresentar características especiais, como pequeno tamanho dos grânulos de amido, alta proporção de amidos facilmente digeríveis, ampla faixa de teor de amilose, textura suave com o cozimento e sabor brando, pode ser explorado na formulação de novos produtos, tais como alimentos infantis instantâneos, produtos cárneos, embutido, cereais matinais, macarrão, sobremesas, flans, dentre outros (BARBOSA et al., 2006; DORS, CASTIGLIONI e AUGUSTO-RUIZ, 2006; JULIANO e HICKS, 1996; NABESHIMA e EL-DASH, 2004; WANG et al., 1999b).

2.4.2 Produção e consumo

O arroz é um dos cereais mais produzidos e consumidos no mundo, caracterizando-se como principal alimento para mais da metade da população mundial. A produção anual de arroz é de aproximadamente 606 milhões de toneladas (FAO, 2007). Neste cenário, a previsão para 2009 é de que o Brasil participe com cerca de 12.247.600 t, como mostra a Tabela 2, o que corresponde a aproximadamente 2 % da produção mundial, estando entre os dez maiores produtores não-asiáticos.

Observando a Tabela 2, verifica-se que as maiores áreas produtoras de arroz concentram-se no sul do país, e conseqüentemente, esta é a região que possui produtividade mais elevada.

De acordo com informações publicadas pela Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB (2008), o Rio Grande do Sul é o principal produtor de arroz, sendo responsável por 62% da produção nacional. E, sendo o estado de Santa Catarina o segundo maior produtor nacional, devido às recentes ocorrências climáticas nesta região, sobretudo no Vale do Itajaí, onde o grão predominantemente plantado nesta região é o arroz, apesar de não ser a área mais importante do Estado para esta cultura, poderá vir a ocorrer quebra na produtividade.

Tabela 2. Comparativo de área, produtividade e produção de arroz (safras 2007/2008 e 2008/2009).

Região	Área (em mil ha)		Produtividade (em kg/ha)		Produção (em mil t)	
	2007/08 (1)	2008/09 (2)	2007/08 (1)	2008/09 (2)	2007/08 (1)	2008/09 (2)
	Previsão	Previsão	Previsão	Previsão	Previsão	Previsão
Norte	434,8	425,2	2.351	2.405	1.022,5	1.022,7
Nordeste	709,2	696,8	1.659	1.599	1.176,5	1.114,5
Centro-Oeste	369,7	375,2	2.891	2.966	1.068,7	1.113,0
Sudeste	94,4	88,8	2.534	2.616	239,2	232,3
Sul	1.266,9	1.284,3	6.751	6.825	8.552,7	8.765,1
Norte/Nordeste	1.144,0	1.122,0	1.922	1.905	2.199,0	2.137,2
Centro-Sul	1.731,0	1.748,3	5.697	5.783	9.860,6	10.110,4
Brasil	2.874,9	2.870,3	4.195	4.267	12.059,6	12.247,6

(1) Dados Preliminares: sujeitos a mudanças.

(2) Dados Estimados: sujeitos a mudanças.

Fonte: Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) – Levantamento, dezembro/2008.

Segundo a Pesquisa de Orçamentos Familiares (2002-2003), o consumo alimentar domiciliar per capita do arroz polido no Brasil foi, em média, de 25,24 kg, variando em função da faixa de renda familiar, entre aproximadamente 18 e 29 kg (IBGE, 2004).

O consumo no Brasil normalmente é na forma de grãos inteiros, descascados e polidos (CASTRO et al., 1999). Porém, aproximadamente 20 % da produção total/ano de arroz é perdida como subproduto no beneficiamento. Essas perdas podem variar de 3 a 10 %, devido ao tipo de cultivo e variedade do arroz utilizado, ajustes das máquinas e equipamentos utilizados (ASCHERI, 2000).

2.4.3 Composição química e valor nutritivo

O arroz é constituído principalmente por amido, apresentando quantidades menores de proteínas, lipídeos, fibras, açúcares livres e cinzas. Entretanto, a distribuição dos nutrientes não se dá de forma uniforme nas diferentes frações do grão. As camadas externas apresentam maiores concentrações de proteínas, lipídeos, fibras, minerais e vitaminas. Assim, o polimento resulta em redução no teor dos nutrientes, exceto de amido, originando as diferenças entre o arroz integral e o polido, como se observa no Quadro 1.

Segundo Gómez (1997), o arroz polido é principalmente uma fonte de calorias, devido ao seu alto teor de carboidratos, e seu aporte à dieta é de grande importância, considerando que este cereal é o alimento básico da dieta humana. De acordo com Kennedy e Burlingame (2003), o consumo do arroz representa aproximadamente 20 % da ingestão mundial de energia e 15 % do aporte de proteína.

O grânulo do amido do arroz é pequeno, quando comparado com o de milho (15 μm) e de trigo (30 μm), variando de 2 a 10 μm , e este componente corresponde a aproximadamente 90 % da matéria seca do arroz polido. Sua estrutura apresenta formato dodecaedro pentagonal, o qual pode ser devido à compressão do grânulo de amido durante o desenvolvimento do grão (JULIANO, 1994).

O amido é um homopolissacarídeo constituído de duas formas poliméricas de glicose: amilose, que é essencialmente linear, com ligações α (1-4) e amilopectina, altamente ramificada, tendo em média 96 % de ligações α (1-4) e 4% α (1-6). As duas moléculas estão organizadas em uma estrutura radialmente anisotrópica, semicristalina no grânulo de amido (CHAMP e FAISANT, 1996).

A amilopectina é a maior fração no amido de arroz e a proporção amilose:amilopectina, é um fator determinante na qualidade de cozimento do arroz (JULIANO et al., 1985; JULIANO, 1993). De acordo com Dziezak (1991) altos teores de amilopectina elevam a capacidade de retenção de água do grânulo de amido, reduzindo desta forma, a temperatura de gelatinização, o que torna os produtos mais úmidos, macios e pegajosos, quando cozidos.

A proteína do arroz é constituída por diferentes frações protéicas, são elas: albumina, globulina, prolamina e glutelina. A glutelina, maior fração presente no grão, correspondendo de 70 a 80 % do teor de proteína total do grão de arroz polido, contém 16,8 % de nitrogênio, sendo por isso considerado no caso do arroz o fator de 5,95 para conversão do nitrogênio em proteína. Essa fração apresenta teores mais elevados do aminoácido essencial lisina em relação às frações globulina e prolamina (SGARBIERI, 1996; TAIRA, 1995).

A qualidade da proteína depende de seu conteúdo em aminoácidos, e entre os cereais, o arroz é o que se destaca (JULIANO e HICKS, 1996; SGARBIERI, 1996). A qualidade da proteína do arroz é muito superior a do trigo, que contém pequenas quantidades de aminoácidos essenciais como treonina, metionina e, especialmente, lisina, o que fora comprovado no estudo de Fonseca et al. (1985).

O conteúdo de lipídeos no arroz polido é baixo, em geral, inferior a 1 %, no entanto, o arroz integral pode conter até 3 %, visto que a maior parte dos lipídeos do grão encontram-se nas camadas periféricas, que são perdidas com o polimento (TAIRA, 1995). É válido ressaltar que, apesar do baixo teor de gordura encontrado no arroz, a maior parte dos lipídeos é constituída por ácidos graxos insaturados (Quadro 1), que possuem papel importante em diversos processos fisiológicos e que, por não serem sintetizados pelo organismo humano, devem ser supridos pela alimentação.

Quadro 1. Composição do grão de arroz integral e polido (em 100g).

Componentes	Arroz Integral	Arroz Polido
Água (g)	10,37	11,62
Proteínas (g)	7,94	7,13
Lipídeos (g)	2,92	0,66
Carboidratos (g)	77,24	79,95
Fibra dietética total (g)	3,50	1,30
Cinzas (g)	1,53	0,64
Ácidos graxos, total saturados (g)	0,58	0,18
Ácidos graxos, total monoinsaturados (g)	1,06	0,21
Ácidos graxos, total poliinsaturados (g)	1,04	0,18

Fonte: United States Department of Agriculture (USDA), 2001.

Sgarbieri (1996) afirma que em relação às vitaminas presentes no arroz, destacam-se as do complexo B, tais como tiamina, riboflavina, niacina, ácido pantotênico, ácido fólico e biotina. E, para Dziezak (1991), o arroz também constitui boa fonte de minerais, como se observa no Quadro 2.

Quadro 2. Composição em vitaminas do complexo B e minerais do grão de arroz integral e polido (em 100g).

Componentes	Arroz Integral	Arroz Polido
Tiamina (mg)	0,40	0,07
Riboflavina (mg)	0,09	0,05
Niacina (mg)	5,09	1,60
Ácido pantotênico (mg)	1,49	1,01
Piridoxina (mg)	0,51	0,16
Folato total (mcg)	20,00	8,00
Cálcio (mg)	23,00	28,00
Ferro (mg)	1,47	0,80
Magnésio (mg)	143,00	25,00
Fósforo (mg)	333,00	115,00
Potássio (mg)	223,00	115,00
Sódio (mg)	7,00	5,00
Zinco (mg)	2,02	1,09
Cobre (mg)	0,28	0,22
Manganês (mg)	3,74	1,09
Selênio (mcg)	23,40	15,10

Fonte: United States Department of Agriculture (USDA), 2001.

Diversas pesquisas demonstram que o conteúdo mineral do arroz integral é superior em relação ao arroz polido, entretanto, fatores relacionados a sua palatabilidade e a sua baixa vida de prateleira influenciam negativamente o seu consumo entre as populações mundiais (CHOE, 2002; KENNEDY, BURLINGAME e NGUYEN, 2002). Além disso, o teor mais elevado de minerais encontrado no arroz integral não está, necessariamente, diretamente relacionado a maior biodisponibilidade dos mesmos, tendo em vista que parte destes podem estar complexados com o ácido fítico e as fibras presentes, estando, portanto, indisponíveis ao metabolismo humano.

2.5 Feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.)

2.5.1 Características gerais

O feijão comum é a leguminosa mais importante para a população mundial, principalmente, na América Latina, Índia e África, nos quais a proteína animal é limitada por razões econômicas, religiosas e culturais. É uma leguminosa originária das regiões elevadas da América Central (México, Guatemala e Costa Rica), apresenta alto teor protéico na composição centesimal, é excelente fonte de carboidrato e fibra, além de possuir vitaminas e minerais (GEIL e ANDERSON, 1994; ROSTON, 1990).

A semente de feijão é constituída, externamente, de um tegumento delicado, hilo, micrópila e rafe; internamente, de um embrião formado pela plúmula, duas folhas primárias, hipocótilo, dois cotilédones e radícula. A semente do feijão pode ter várias formas: arredondada, elíptica, reniforme ou oblonga, e tamanhos que variam de muito pequenas a grandes e apresentar ampla variabilidade de cores, ou seja, do preto, bege, roxo, róseo, vermelho, marrom, amarelo, até o branco, dependendo da cultivar. O tegumento pode ter cor uniforme ou duas, expressa na forma de estrias, manchas ou pontuações; pode apresentar brilho ou brilho intermediário ou não ter brilho (VIEIRA, PAULA JÚNIOR e BORÉM, 2006).

2.5.2 Produção e consumo

De acordo com informações publicadas pela Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) Arroz e Feijão (2008), com base em estimativas disponibilizadas pela FAO (Food and Agriculture Organization), até agosto de 2008, os principais países produtores de feijão são aqueles em desenvolvimento, como Brasil, Índia, China, Myanmar, México, Uganda e Indonésia, sendo os Estados Unidos, a exceção.

Segundo informações publicadas pela Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB (2008), o estado do Paraná foi o maior produtor nacional da primeira safra, com um terço da colheita. O cenário favorável vai permitir aos paranaenses plantar 360,6 mil hectares, 74,2 mil hectares acima do verificado na safra anterior. No Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, também ocorreram crescimentos, permitindo que as áreas cultivadas cresçam significativamente em todo o Sul, como mostra a Tabela 3.

Tabela 3. Comparativo de área, produtividade e produção de feijão (safras 2007/2008 e 2008/2009).

Colheita	Região	Área (em mil ha)		Produtividade (em kg/ha)		Produção (em mil t)	
		2007/08 (1)	2008/09 (2)	2007/08 (1)	2008/09 (2)	2007/08 (1)	2008/09 (2)
		Previsão	Previsão	Previsão	Previsão	Previsão	Previsão
1ª Safra ("Feijão das Águas")	Norte	4,9	5,4	540,0	578,0	2,6	3,1
	Nordeste	537,3	548,0	349,0	353,0	187,3	193,3
	Centro-Oeste	58,9	66,0	1921,0	1817,0	113,3	119,9
	Sudeste	274,1	293,4	1127,0	1277,0	308,9	374,8
	Sul	438,3	529,0	1440,0	1515,0	631,2	801,6
2ª Safra ("Feijão da Seca")	Norte	156,9	156,9	770,0	772,0	120,8	121,0
	Nordeste	1114,1	1114,1	404,0	398,0	450,1	443,4
	Centro-Oeste	104,7	104,7	1482,0	1421,0	155,2	148,8
	Sudeste	230,1	230,1	1348,0	1340,0	310,3	308,3
	Sul	261,1	261,1	1570,0	1501,0	409,8	391,9
3ª Safra ("Feijão de Inverno")	Nordeste	625,7	625,7	674,0	607,0	421,6	379,9
	Centro-Oeste	57,2	57,2	2750,0	2749,0	157,4	157,2
	Sudeste	121,8	122,2	2022,0	2015,0	246,3	246,3
	Sul	7,9	7,9	883,0	830,0	7,0	6,6
Total	Brasil	3993,3	4121,7	882,0	897,0	3521,8	3696,2

(1) Dados Preliminares: sujeitos a mudanças.

(2) Dados Estimados: sujeitos a mudanças.

Fonte: Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) – Levantamento, dezembro/2008.

De acordo com Wander (2005), a oferta de feijão ocorre na primeira safra, principalmente nas Regiões Sul e Sudeste e na Bahia, na região de Irecê, cuja colheita está concentrada nos meses de dezembro a março. A colheita da segunda safra acontece entre os meses de abril e julho, e a da terceira safra, em que predomina o cultivo de feijão irrigado, está concentrada nos Estados de Minas Gerais, São Paulo, Goiás, Distrito Federal e oeste da Bahia, com o produto ofertado no mercado entre julho e outubro. Embora esses períodos possam apresentar variações de ano para ano, pode-se afirmar que a colheita de feijão no Brasil ocorre praticamente o ano todo, havendo sobreposição de épocas em algumas regiões, como mostra a Tabela 3.

É notório que houve mudanças importantes no perfil do consumo alimentar nas últimas décadas, refletindo com grande impacto no perfil nutricional e de morbidade da população. Mondini e Monteiro (1994) em seu estudo sobre o padrão de alimentação da população brasileira, entre 1962 e 1988, observaram redução do consumo de alimentos como cereais e derivados, feijão, raízes e tubérculos pela população das regiões sudeste e nordeste. A Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF) 2002-2003 também mostra redução no consumo de alimentos tradicionais da dieta dos brasileiros, destacando-se o arroz e o feijão, em conjunto com as demais leguminosas, e aumento no consumo de produtos ricos em lipídeos e carboidratos simples.

Entretanto, apesar da redução do seu consumo, no Brasil, o feijão tem sido considerado, por muito tempo, como o alimento básico para a população tanto nas áreas rurais quanto urbanas (COSTA et al., 2006).

2.5.3 Composição química e valor nutritivo

O feijão é a principal fonte protéica dentre a família das leguminosas, consumida pela população brasileira, tomando-se em conta os alimentos isolados. O grão de feijão apresenta alto teor protéico, sendo excelente fonte de carboidratos e fibras, apresentando também baixo teor de lipídeos e sódio, como mostra o Quadro 3, onde está representada a composição centesimal do grão.

Quadro 3. Composição do grão de feijão preto cru (em 100g).

Componentes	Feijão Preto
Umidade (%)	14,90
Proteínas (g)	21,90
Lipídeos (g)	1,20
Carboidratos (g)	58,80
Fibra alimentar (g)	21,80
Cinzas (g)	3,80
Ácidos graxos, total saturados (g)	0,20
Ácidos graxos, total monoinsaturados (g)	0,10
Ácidos graxos, total poliinsaturados (g)	0,80

Fonte: Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação (NEPA), 2006.

A grande variabilidade na composição química de diferentes leguminosas, tais como, dependência da cultivar, localização geográfica e condições de crescimento foram descritas por Salunkhe et al. (1985). Em geral, os grãos de leguminosas apresentam teores de proteína entre 20 e 30 %; lipídios de 1 a 7 % e conteúdo mineral variando de 2 a 3 %.

Bodwell (1980) salientou a importância da qualidade da proteína e não apenas de sua quantidade. Proteína de alta qualidade foi definida por Hopkins e Steinke (1978) por apresentar boa composição em aminoácidos. Eusébio et al. (1968) e Jansen (1978) também afirmaram que a qualidade da proteína depende do padrão de aminoácidos presentes na proteína alimentar e da sua disponibilidade.

Ao lado das fontes de proteína animal, classicamente consideradas como de alto valor biológico, tem sido demonstrado que misturas de vegetais, como de um cereal e de uma leguminosa, também resultam em misturas protéicas de alto valor biológico (OLIVEIRA e VANNUCCHI, 1983). O feijão é deficiente em aminoácidos sulfurados e rico em lisina, e o arroz é deficiente em lisina e relativamente rico em aminoácidos sulfurados, sendo, portanto, considerados complementares.

A mistura de feijão com arroz tem adequado teor nitrogenado, supre os aminoácidos essenciais e tem digestibilidade ao redor de 80 %. No Brasil, o arroz e o feijão são a base alimentar da população, e o consumo concomitante destes alimentos, melhora o valor biológico das proteínas (VIEIRA, 1992).

Schieri (2002) e Schieri, Castro e Moura (2003) observaram que o consumo alimentar tradicional, baseado em arroz e feijão, foi protetor para a presença de sobrepeso e obesidade.

Além dos benefícios para o bom funcionamento do organismo, o feijão preto apresenta em sua composição diversos fatores antinutricionais como os compostos fenólicos, entre os quais os taninos, que recebem grande destaque. Estes são responsáveis pelo sabor adstringente e podem interagir com as proteínas do feijão, decrescendo a sua digestibilidade e utilização (DUARTE, 1999; WU et al., 1995). A digestibilidade das proteínas do feijão, em ratos, em geral, situa-se entre 40 e 70 %. Em humanos, esta digestibilidade atinge cerca de 60 % do nitrogênio ingerido (ANTUNES et al., 1995; BRESSANI, 1983; BRESSANI e ELIAS, 1984).

É válido ressaltar que os diferentes métodos de processamento dos alimentos melhoram o valor nutricional de leguminosas, em geral, porque promovem redução significativa dos antinutrientes que as compõem.

Khokhar e Chauhan (1986) afirmam que os métodos de cocção domésticos diminuem os fatores antinutricionais presentes nas leguminosas. Oliveira et al. (2001) em seu estudo verificaram que o processamento doméstico do feijão comum, incluindo maceração prévia à cocção com descarte da água de maceração não absorvida pelos grãos, ocasionou redução nos fatores antinutricionais fitatos (85 %), taninos (88 %) e nos fatores de flatulência rafinose (25 %), estaquiose (24,5 %) e verbascose (41,7 %).

Poltronieri, Arêas e Colli (2000) afirmam que o processo de extrusão é reconhecido como capaz de reduzir a concentração de fatores antinutricionais em produtos alimentares. Assim, esse processo pode ser considerado uma boa alternativa para produção de novos alimentos fornecedores de ferro ou mesmo alimentos fortificados de ferro.

Em contrapartida, a presença de fatores antinutricionais em um alimento deve ser cuidadosamente avaliada devido ao fato que, frente a determinadas doenças crônicas, estudos mostram que os mesmos podem ter importante contribuição como alimento funcional. Algumas pesquisas sugerem um papel positivo dos fitatos com relação à redução do risco de câncer de cólon (MESSINA e BARNES, 1991; SHAMSUDDIN, 1992), prevenção de cálculos renais (ZHOU e ERDMAN, 1995) e ação antioxidante (EMPSON, LABUZA e GRAF, 1991).

Além de ser uma boa fonte de proteínas, o feijão, possui também carboidratos complexos. A principal reserva de carboidratos está na forma de amido, com pequenas quantidades de mono e dissacarídeos, como por exemplo, a sacarose. Apresentam ainda substâncias pécticas, arabinogalactanas e xiloglicanas (GONÇALVES e SOUZA, 1998), e são boa fonte de amido resistente (SAURA-CALIXTO et al., 1992).

Relatos recentes mostram que o amido das leguminosas pode ser constituído por frações resistentes à digestão cuja classificação nutricional corresponde ao amido nativo resistente tipo 2, encontrado especialmente em banana verde, batata crua, alimentos processados com gelatinização incompleta e outros vegetais crus ou verdes (FREITAS, 2002). A resistência à hidrólise enzimática encontra-se relacionada ao tipo de cristal do amido, cujo padrão de cristalinidade e composição química variam segundo a origem botânica e grau de maturação do vegetal (GALLANT, BOUCHET e BALDWIN, 1997; GUILBOT e MERCIER, 1987). Esta fração do amido apresenta comportamento similar ao da fibra alimentar, e tem sido relacionada a efeitos benéficos locais (prioritariamente no intestino grosso) e sistêmicos, através de uma série de mecanismos (LOBO e LEMOS SILVA, 2003).

A relação amilose:amilopectina constitui outra característica relevante no processo digestivo, devido à facilidade pela qual a amilose, quando retrogradada por processamento hidrotérmico, origina um polímero resistente à digestão, denominado amido resistente tipo 3, que se encontra relacionado à etiologia e redução do risco de patologias crônicas não transmissíveis, como por exemplo o câncer de cólon (ANNISION e TOPPING, 1994; CAMBRODÓN e MARTÍN-CARRÓN, 2001).

Segundo Kutos et al. (2003), os feijões constituem boa fonte de fibra alimentar, especialmente, fibras solúveis, sendo o consumo de alimentos ricos nesta fração de fibra, eficaz na redução dos níveis séricos de colesterol total e, conseqüentemente, na redução de doenças cardiovasculares (GLORE et al., 1994).

Além das características acima descritas com relação a sua composição centesimal, o feijão possui vitaminas, principalmente do complexo B e minerais, importantes para diversas funções metabólicas (ROSTON, 1990; GEIL e ANDERSON, 1994), sendo as leguminosas boas fontes de ferro (MARTÍNEZ, ROS e PERIAGO, 1999), como se verifica no Quadro 4. Araújo (1996) menciona a riqueza mineral do feijão, destacando o potássio, o fósforo, o cálcio, o zinco e o magnésio.

Quadro 4. Composição em vitaminas do complexo B e minerais do grão de feijão preto cru (em 100g).

Componentes	Feijão Preto
Tiamina (mg)	0,12
Riboflavina (mg)	Tr*
Niacina (mg)	4,60
Piridoxina (mg)	0,59
Cálcio (mg)	111,00
Ferro (mg)	6,50
Magnésio (mg)	188,00
Fósforo (mg)	471,00
Potássio (mg)	1416,00
Sódio (mg)	Tr*
Zinco (mg)	2,90
Cobre (mg)	0,83

*Tr: Traços

Fonte: Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação (NEPA), 2006.

Dada a sua composição, o feijão proporciona vários benefícios à saúde, sendo indicado na prevenção e no tratamento de várias doenças como: distúrbios cardíacos, diabetes mellitus, obesidade e câncer. Os feijões são alimentos que preenchem as principais recomendações dietéticas para a boa saúde: aumento do consumo de fibras, amido e outros carboidratos complexos e diminuição no consumo de lipídios e sódio. Assim, as principais instituições internacionais de apoio e promoção à saúde indicam a ingestão diária de uma ou mais porções de feijão (GEIL e ANDERSON, 1994; SATHE, DESPHANDE e SALUNKE, 1984).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Material

3.1.1 Obtenção das matérias-primas e insumos

3.1.1.1 Arroz branco

O arroz branco polido (*Oryza sativa*, L.) utilizado no experimento foi da marca Caçarola®, classe longo fino, tipo 1, obtido no comércio da cidade do Rio de Janeiro, em sacos de 1 kg e mantidos à temperatura ambiente até o processo de moagem.

3.1.1.2 Feijão preto

O feijão preto (*Phaseolus vulgaris*, L.) foi obtido no comércio da cidade do Rio de Janeiro, em sacos de 1 kg, da marca Preto Bem®, grupo 1, tipo 1 e mantidos à temperatura ambiente até o processo de moagem.

3.1.1.3 Insumos

Para a formulação das massas alimentícias foram utilizados sal refinado, da marca ITA®, adquirido no comércio local e emulsificante extraído do arroz, da marca Nu-Rice® (Ribus, Inc., Saint Louis, Missouri, USA). As massas foram formuladas com 2,0 % de sal e 1,5 % de emulsificante em cada tratamento.

3.1.2 Reagentes e equipamentos

Nas análises químicas foram empregados reagentes de grau analítico e de diversas procedências.

Na execução das análises químicas, físicas, funcionais e sensoriais além das vidrarias, equipamentos e utensílios indispensáveis a um laboratório, foram utilizados os seguintes equipamentos específicos:

- Agitador de peneiras para análise granulométricas, marca Granutest, modelo RO-TAP RX-29-10, equipado com um conjunto de peneiras arredondadas e vibratórias, com malhas de 850 µm a 75 µm;
- Agitador tipo Vortex, marca Genie 2 Scientific Industries;
- Agitador horizontal mecânico, da marca Eberback 625, tipo Shaker Bath;
- Balança analítica, marca Mettler Toledo, modelo AG 204;
- Balança eletrônica, marca Mettler Toledo, modelo SB 12001;

- Banho-maria, marca Eberbach, Shaker Bath, cat n. 6250;
- Centrífuga, marca Hermle, modelo Z383;
- Cromatógrafo líquido de alta eficiência, modelo Alliance, marca Waters 2695 com detector de fluorescência da marca Waters 2475;
 - Descascador de arroz Kolbach;
 - Estufa com circulação de ar, marca Fabbe-Primar;
 - Espectrofotômetro de emissão de plasma ICP Spectroflama flame;
 - Extrusor monorosca, marca Brabender, modelo DSE 20DN, acoplado ao reômetro de torque do-corder DSE 330, equipado com resistências elétricas nas três zonas ao longo do cilindro, sistema de alimentação e velocidade de rosca controlada em rpm (Duisburg, Alemanha);
 - Moinho de discos, marca Perten, modelo 3600, Hz 60, W 750, RPM 1680;
 - Moinho de discos, marca Laboratory Mill 3600;
 - Moinho granulador de facas e martelos, marca Treu, 7,5 cv., modelo M-738-311, com peneira de 1 mm;
 - Viscoanalisador rápido (RVA), modelo RVA-4, marca Newport Scientific Pty. Ltd., Sidney, Austrália.

3.2 Métodos

3.2.1 Produção da farinha de arroz branco

Os grãos de arroz branco foram retirados dos sacos em que são comercializados e moídos em moinho de facas e martelo, com peneira de abertura de 1 mm, obtendo-se então a farinha de arroz branco.

3.2.2 Produção da farinha de feijão preto sem casca

Para a elaboração da farinha de feijão preto sem casca, inicialmente, foi necessário promover o descascamento dos grãos. O descascamento foi realizado através de maceração e secagem em estufa, assim como, utilizando o descascador de arroz adaptado para leguminosa (FELBERG e CABRAL, 2001). As condições de operação selecionadas, tais como tempo e temperatura de secagem, foram definidas com base em estudos preliminares (Anexo A).

Os grãos de feijão foram limpos e selecionados para retirada de sujidades (pedras, sementes estranhas, pedaços de caules e outros) e de grãos quebrados e pequenos. Em seguida, o feijão foi macerado por 17 horas, procedeu-se o descarte da água de remolho e posteriormente os grãos foram levados à estufa a 100 °C por 60 minutos. Os grãos foram descascados por meio da passagem entre discos paralelos horizontais com 4 mm de abertura, separando-se cotilédones das cascas e afins.

Foi feita, então, a separação dos grãos que foram descascados integralmente dos que apresentaram descascamento parcial. Os grãos descascados parcialmente, e que apresentaram facilidade para a remoção das cascas, tiveram a conclusão do seu descascamento realizada de forma manual. Logo após, as partes separadas dos grãos foram submetidas à moagem em moinho de facas e martelo, com peneira de abertura de 1mm, obtendo-se então a farinha de feijão preto sem casca.

3.2.3 Delineamento experimental

Foram consideradas as variáveis independentes: temperatura de processamento (°C), umidade da mistura da farinha no processamento (%) e formulação (% de farinha de feijão preto sem casca na mistura com farinha de arroz branco polido).

Para analisar o efeito combinado dessas variáveis nas características tecnológicas dos extrusados, estabeleceu-se um experimento estatisticamente delineado em metodologia de superfície de resposta do tipo central composto rotacional de 2ª ordem (BOX, HUNTER e HUNTER, 1978). 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:

$$xi = \left(\frac{xi - Z}{\Delta xi} \right) \quad (1)$$

Onde:

xi = valor codificado da variável Xi

Xi = valor real da variável

Z = valor real da variável no ponto central

Δxi = valor do intervalo de variação do xi

Esse delineamento também apresenta dois níveis de variáveis axiais, que são codificados como $-\alpha$ e $+\alpha$. O valor de α é a função ($F = 2^k$) do número de variáveis independentes ($k = 3$), no caso deste experimento, sendo definido conforme a equação abaixo:

$$\alpha = (F)^{1/4} = (2^k)^{1/4} = (2^3)^{1/4} = 1,682 \quad (2)$$

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 em estudos anteriores. Para análise de resultados experimentais, a metodologia descreve o comportamento de um sistema no qual estão combinadas as variáveis independentes (X_k), a variável dependente ou resposta (Y_i). A resposta é uma função dos níveis nos quais estes fatores foram combinados e definidos por Box e Draper (1967) como se segue na equação 3:

$$Y_i = F(X_1, X_2, \dots, X_k) \quad (3)$$

Através 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:

$$Y_i = \left(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{33} X_3^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \varepsilon \right) \quad (4)$$

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

$\beta_{11}, \beta_{23}, \beta_{33}$ = coeficientes das variáveis quadráticas

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

ε = erro experimental

Tanto os níveis codificados quanto os axiais e os fatores têm seus valores reais apresentados na Tabela 4 e o delineamento completo na Tabela 5. As faixas entre o limite inferior e o superior, para cada variável, foram determinadas com base em dados da literatura.

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

Variáveis	Níveis				
	- $\alpha = 1,682$	- 1	0	+ 1	+ $\alpha = 1,682$
X_1	26,59	30	35	40	43,41
X_2	63,18	70	80	90	96,82
X_3	6,36	20	40	60	73,64

X_1 = Umidade da mistura no processamento (%).

X_2 = Temperatura (°C).

X_3 = Formulação: (%) farinha de feijão preto sem casca na mistura com arroz polido.

Tabela 5. Delineamento completo do desenho experimental.

Tratamentos	Níveis codificados das variáveis			Níveis decodificados das variáveis		
	x_1	x_2	x_3	X_1	X_2	X_3
01	- 1	- 1	- 1	30	70	20
02	- 1	- 1	+ 1	30	70	60
03	- 1	+ 1	- 1	30	90	20
04	- 1	+ 1	+ 1	30	90	60
05	+ 1	- 1	- 1	40	70	20
06	+ 1	- 1	+ 1	40	70	60
07	+ 1	+ 1	- 1	40	90	20
08	+ 1	+ 1	+ 1	40	90	60
09	- α	0	0	26,59	80	40
10	+ α	0	0	43,41	80	40
11	0	- α	0	35	63,18	40
12	0	+ α	0	35	96,82	40
13	0	0	- α	35	80	6,36
14	0	0	+ α	35	80	73,64
15	0	0	0	35	80	40
16	0	0	0	35	80	40
17	0	0	0	35	80	40
18	0	0	0	35	80	40
19	0	0	0	35	80	40
20	0	0	0	35	80	40

X_1 e x_1 = Umidade da mistura no processamento (%).

X_2 e x_2 = Temperatura (°C).

X_3 e x_3 =Formulação: (%) farinha de feijão preto sem casca na mistura com arroz polido.

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

3.2.4 Análises estatísticas

O ajuste dos dados experimentais ao modelo utilizado foi testado pela análise de variância (ANOVA) a partir do uso do 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).

A adequação do modelo polinomial foi avaliada comparando-se a proporção da variação explicada (R^2) e pelo método de seleção para frente (*forward selection*) até que o valor das somas dos quadrados do erro (SSE) não varie ou até completar os coeficientes do modelo proposto.

O processamento dos dados e a análise estatística foram realizados com auxílio do programa computacional *Statistica*, versão 6.0, com as variáveis independentes codificadas.

Os gráficos de superfície de resposta foram desenhados, com auxílio do programa *Statistica*, versão 6.0, por meio do modelo matemático proposto nos níveis reais das variáveis, mantendo-se a resposta em função do eixo Z, com eixos X e Y representando as variáveis independentes, ao mesmo tempo em que as demais variáveis foram mantidas constantes no ponto central (correspondente ao nível codificado 0).

Para a análise de regressão do modelo quadrático de variáveis independentes, utilizou-se a equação 5 para a elaboração dos gráficos bidimensionais.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_n^n (X - Z / \Delta x_i + \varepsilon) \quad (5)$$

Onde:

Y_i = função resposta

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

β_n^n = coeficiente linear, quadrático ou de interação, estimado pelo método dos mínimos quadrados

X = valor decodificado da variável

Z = valor real da variável no ponto central

Δx_i = valor de intervalo de variação absoluto entre o ponto central e ± 1

ε = erro experimental

Para as variáveis resposta que não geraram modelo preditivo e nem tendência, isto é, quando o valor do coeficiente de regressão (R^2) foi inferior a 0,70, os resultados foram discutidos através de comparação de médias analisadas pelo teste de Tukey (GOMES, 2000), utilizando o programa *Xlstat*, versão 7.5.

3.2.5 Condicionamento das matérias-primas

As amostras de matérias-primas foram condicionadas para os diferentes níveis de umidade e formulação, conforme o delineamento experimental descrito na Tabela 5.

Os teores de umidade inicial das farinhas mistas foram determinados por gravimetria através da dessecação do material a 105 °C até peso constante (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 1985).

Após a determinação da umidade das farinhas mistas, utilizou-se a equação a seguir para estabelecer a quantidade de água a ser adicionada às amostras, a fim de se alcançar os níveis de umidade estabelecidos para cada formulação. O emulsificante e o sal foram adicionados nesta etapa.

$$Y = \left[\frac{(U_f - U_i) \times P_a}{100 - U_f} \right] \quad (6)$$

Onde:

Y = quantidade de água a ser adicionada (mL)

U_f = umidade final da amostra (%)

U_i = umidade inicial da amostra (%)

P_a = peso da amostra (g)

A água potável foi adicionada lentamente às amostras, e, em seguida, procedeu-se a homogeneização das mesmas. A seguir, todas as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos individuais e armazenadas sob refrigeração durante 24 horas, para se obter distribuição e absorção mais uniforme da água. Após este período, as farinhas mistas foram submetidas ao processo de extrusão.

3.2.6 Processo de extrusão termoplástica

3.2.6.1 Condições do processo

As massas alimentícias pré-cozidas pelo processo de extrusão termoplástica foram elaboradas na Planta Piloto IV (Cereais) da Embrapa Agroindústria de Alimentos no Rio de Janeiro.

Para a elaboração dos extrusados foi utilizado um extrusor marca Brabender, modelo 20DN, de parafuso único, cujos parâmetros constantes foram: velocidade de rotação do parafuso: 90 rpm, taxa de compressão do parafuso: 2:1, taxa de alimentação: 2,5 kg/h e matriz de saída laminar de 1 mm de espessura.

O extrusor possui três zonas de aquecimento no cilindro, controladas por termostato e um registrador de pressão na saída da matriz (Figura 4).



Figura 4. Extrusor monorosca, marca Brabender, modelo DSE 20 DN (Duisburg, Alemanha).

3.2.6.2 Extrusão termoplástica

A extrusão de cada amostra foi iniciada após as três zonas do parafuso (alimentação, transição e alta pressão) alcançarem as temperaturas desejadas. A temperatura da zona 1 foi mantida fixa em 50 °C e a zona 2 teve sua temperatura sustentada durante todo o processo de extrusão em 60 °C, enquanto a temperatura da zona 3 variou conforme o delineamento experimental (Tabela 5).

Uma vez atingido o equilíbrio no processo, verificado no painel de controle das temperaturas delineadas, as amostras foram trabalhadas. Após, aproximadamente, 4 minutos do início do processo, o produto extrusado foi coletado, tendo em vista que o material apresentava-se homogêneo, isento de bolhas em sua superfície (Figura 5).

Logo após a extrusão, as massas alimentícias foram cortadas com uma tesoura, em tiras finas de 15 a 20 cm de comprimento, como mostra a Figura 6, dispostas em bandejas e encaminhadas para serem secas em estufa com circulação de ar, com temperatura de 50 °C por cerca de 75 minutos, a fim de que a umidade final dos extrusados atingisse de 9 a 11 %.

A secagem foi realizada segundo metodologia proposta por Silva (2007), que consiste em colocar o material em estufa juntamente com um recipiente contendo água potável na parte inferior do equipamento, durante uma hora, para que a umidade relativa fique mais elevada a fim de que a massa mantenha a sua integridade. Após este período o recipiente deve ser retirado, entretanto, as amostras devem permanecer por mais quinze minutos, para que se restabeleça a umidade relativa interna.

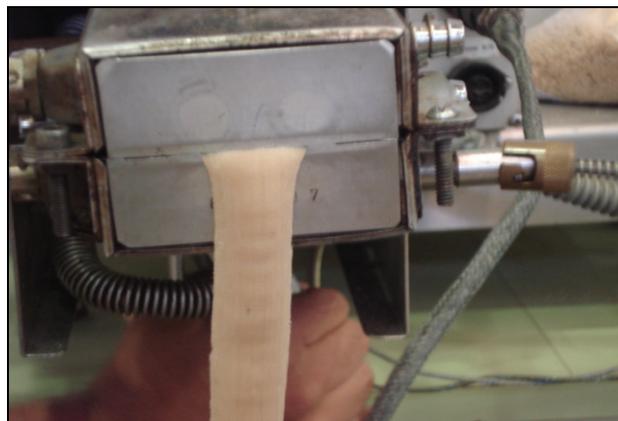


Figura 5. Massa alimentícia pré-cozida de arroz e feijão saindo da matriz laminar (zona 3).



Figura 6. Formato das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz polido e feijão preto sem casca.

Em seguida à saída da estufa, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, lacradas, etiquetadas e armazenadas em local seco à temperatura ambiente para posterior utilização nas análises químicas, microbiológicas, físicas e tecnológicas funcionais e sensoriais. As imagens dos 20 tipos de massas alimentícias elaboradas encontram-se no Anexo B.

Para a realização de algumas das análises, tais como viscosidade de pasta, índice de solubilidade em água, índice de absorção de água, composição centesimal, acidez alcoólica e perfil de vitaminas e minerais, foi necessária a moagem dos extrusados em dois moinhos de discos; inicialmente utilizou-se um com abertura de peneira equivalente a 1,0 mm, da marca Laboratory Mill 3600, e posteriormente outro com abertura de peneira de 0,8 mm, da marca Perten 3600 (1680 rpm), obtendo-se assim a farinha dos extrusados.

Na Figura 7 encontra-se o fluxograma de obtenção das massas alimentícias pré-cozidas à base de farinha mista de arroz polido e feijão preto sem casca.

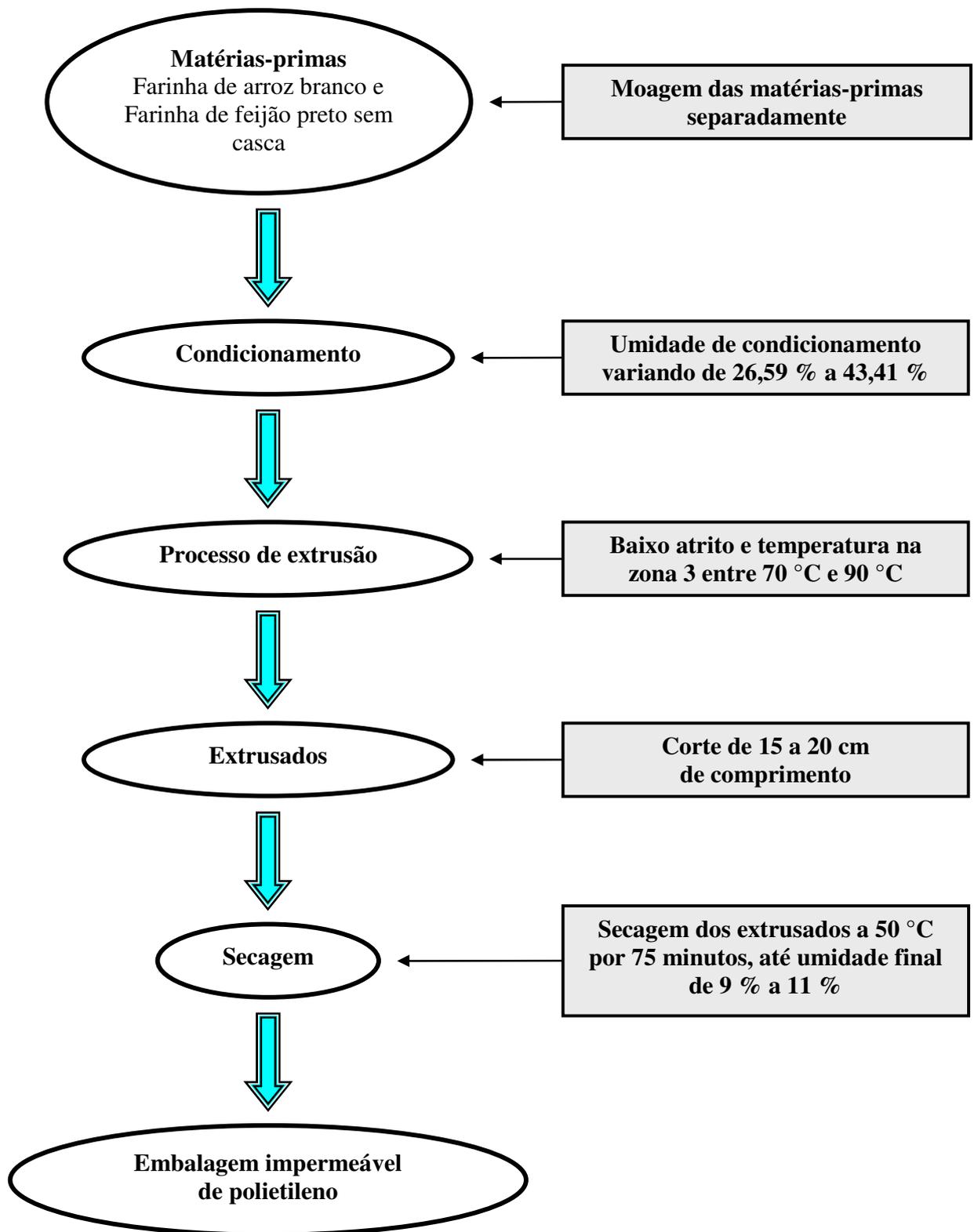


Figura 7. Fluxograma de obtenção das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão.

3.3 Qualidade das Massas Alimentícias Pré-Cozidas à Base de Arroz e Feijão

3.3.1 Teste de cozimento

O teste de cozimento foi realizado segundo o método nº 16-50 da AACC (1995), em triplicata, para todas as massas alimentícias elaboradas no presente estudo, assim como para duas massas comerciais, uma produzida com sêmola de trigo, da marca Dona Benta® e outra com arroz polido, da marca Bifum® (controles). Os parâmetros avaliados estão descritos a seguir.

- Tempo de cozimento: Foi determinado pela cocção de 10 g de amostra em 140 mL de água destilada em ebulição, até atingir o tempo de cozimento, o qual caracteriza-se pela gelatinização do amido em toda seção da massa. Este ponto foi determinado pela compressão do produto cozido entre duas lâminas de vidro até o desaparecimento do eixo central, a cada 15 segundos, após 5 minutos de cozimento.

- Aumento de peso do produto cozido: O aumento de peso foi determinado pela pesagem de 10 g de massa antes e após a cocção, usando-se o tempo de cozimento ideal de cada amostra. O resultado do aumento de peso é a razão entre o peso da massa cozida pelo peso da massa crua, expresso em porcentagem (%).

- Aumento de volume do produto cozido: O aumento de volume das massas foi determinado antes e após o cozimento. O volume da massa crua e da massa cozida foi determinado pelo deslocamento de hexano em proveta de 100 mL, contendo 50 mL de hexano. A razão entre os dois, em porcentagem, expressa o resultado do aumento de volume.

- Perda de sólidos solúveis ou resíduos na água de cozimento (Sól.): A quantidade de sólidos perdidos na água de cozimento foi determinada pela evaporação de 25 mL da água utilizada no cozimento em estufa a 105 °C até peso constante. A porcentagem dos sólidos perdidos foi calculada de acordo com a equação 7:

$$\text{Sól.(\%)} = \left(\frac{\text{Peso do resíduo evaporado (g)} \times \text{Volume da água de cozimento (mL)}}{\text{Peso da amostra (g)} \times \text{Volume da alíquota (mL)}} \right) \times 100 \quad (7)$$

3.3.2 Acidez alcoólica

A acidez alcoólica das massas alimentícias à base de arroz e feijão e das massas controle (trigo e arroz) foi realizada segundo o método oficial modificado adotado pelo Laboratório SPFP do ITAL, publicado no Diário Oficial do Estado de São Paulo em 28 de julho de 1970 (Decreto nº. 52 504), em duplicata.

Para a realização da análise de acidez alcoólica, as massas secas foram moídas em moinhos de disco Perten e peneiradas na granulometria de 341 µm. Foram pesados 4 g de cada amostra, que foram colocados em erlenmeyer de 250 mL de capacidade, já contendo 100 mL de álcool etílico a 50 %. As amostras foram então digeridas durante 3 horas, à temperatura ambiente, sob agitação constante, a fim de manter a homogeneização do material. Após a digestão, o material foi filtrado utilizando-se funil e papel de filtro comum.

O filtrado claro e limpo foi recebido em erlenmeyer de 250 mL e titulado com solução de hidróxido de sódio a 0,1 M, adicionando-se antes ao filtrado 3 gotas de solução alcoólica de fenolftaleína a 1 %, até a mudança de cor.

A acidez alcoólica (AA) das massas alimentícias analisadas foi determinada através da equação abaixo:

$$AA = \left(\frac{A \times 25}{10} \right) \quad (8)$$

Onde:

A = mL de NaOH 0,1 M gasto na titulação

25 = pelo fato de ter tomado 4 g de amostra

3.4 Caracterização Química das Matérias-Primas e Massas Alimentícias Pré-Cozidas

3.4.1 Composição centesimal

As análises de composição centesimal foram realizadas em triplicata, segundo a metodologia descrita pela Association of Official Agricultural Chemists (2005), American Association of Cereal Chemists (1995) e Silva e Queiroz (2006), nos laboratórios de análise físico-química da Embrapa Agroindústria de Alimentos – RJ e do Instituto de Zootecnia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (IZ/UFRuralRJ), para as matérias-primas (farinha de arroz polido e farinha de feijão preto sem casca) e melhores massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão (T₁, T₁₃ e T₁₇)¹, definidas considerando-se a aparência e os resultados obtidos nos testes de qualidade das massas.

Para a determinação de umidade utilizou-se o método gravimétrico, através da perda de peso da amostra submetida a aquecimento em estufa a 105 °C, até a obtenção de peso constante do produto dessecado, de acordo com o método 934.01, da AOAC (2005).

O extrato etéreo foi determinado utilizando-se o extrator Soxhlet, segundo a metodologia da AOAC (2005), método 945.38. O teor de lipídio foi obtido por meio da extração com solvente orgânico, éter de petróleo, seguido da remoção, por evaporação do solvente.

O teor de nitrogênio total da amostra foi determinado pelo procedimento tradicional do Kjeldahl modificado, segundo a metodologia da AACC (1995), método 46-13, utilizando mistura de catalisador Na₂SO₄, CuSO₄ e Se, e como titulante H₂SO₄ 0,1 M. Para o cálculo da proteína a partir do teor de nitrogênio total foram usados fatores de conversão da FAO/73 (GREENFIELD e SOUTHGATE, 1992). Para a farinha de arroz, utilizou-se o fator 5,95, para farinha de feijão e para as farinhas mistas extrusadas (T₁, T₁₃ e T₁₇)¹ o fator foi 6,25.

As cinzas foram determinadas por incineração do material em mufla a 550 °C, segundo a metodologia da AOAC (2005), método 923.03.

¹ T₁ = 30 % umidade – 70 °C – 20 % farinha de feijão na mistura com arroz polido; T₁₃ = 35 % umidade – 80 °C – 6,36 % farinha de feijão na mistura com arroz polido; T₁₇ = 35 % umidade – 80 °C – 40 % farinha de feijão na mistura com arroz polido.

O teor de fibra bruta foi determinado segundo metodologia descrita por Silva e Queiroz (2006), cujo princípio baseia-se na determinação do resíduo orgânico insolúvel da amostra após uma digestão ácida e outra alcalina.

Os carboidratos totais ou fração nifext (livre de nitrogênio) foram determinados pela diferença entre a massa seca total (100 %) e a soma das porcentagens determinadas de umidade, cinzas, proteína, extrato etéreo e fibra bruta. A fração livre de nitrogênio representa a concentração de carboidratos totais, excluindo-se a fibra bruta.

O valor calórico foi expresso em Kcal.100g⁻¹ e foi calculado empregando-se os fatores de conversão de ATWATER, de 4 Kcal.g⁻¹ para proteína e carboidratos e de 9 Kcal.g⁻¹ para lipídeos (USDA, 2006).

3.4.2 Composição em minerais

Foram realizadas análises em duplicata para determinação do teor de alumínio, cádmio, cálcio, cobre, cromo, ferro, fósforo, magnésio, manganês, molibdênio, potássio, selênio, sódio e zinco, de acordo com os procedimentos da AOAC (2005), método 990.08, item 9.2.39, nas farinhas de arroz polido e feijão preto sem casca e nas massas alimentícias referente aos tratamentos T₁, T₁₃ e T₁₇², no Laboratório de Minerais da Embrapa Agroindústria de Alimentos.

A quantificação dos minerais foi realizada em espectrofotômetro de emissão de plasma ICP Spectroflama Flame, sendo a determinação feita por espectrometria de emissão atômica, após uma digestão completa da amostra com ácido nítrico e ácido perclórico.

3.4.3 Composição em vitamina B₂

A quantificação da vitamina B₂ (riboflavina) foi realizada em duplicata nas farinhas cruas de arroz e feijão e nos tratamentos submetidos à análise sensorial (T₁, T₁₃ e T₁₇)², no Laboratório de Cromatografia Líquida da Embrapa Agroindústria de Alimentos, de acordo com o método European Standard EN14152 (2003), utilizando-se um cromatógrafo de alta eficiência, modelo Alliance 2695, marca Waters, com detector de fluorescência 2475, marca Waters.

3.5 Caracterização Microbiológica das Matérias-Primas e Massas Alimentícias Pré-Cozidas

As análises microbiológicas das farinhas recém-preparadas de arroz polido e feijão preto sem casca e das massas alimentícias cruas selecionadas para serem submetidas à análise sensorial (T₁, T₁₃ e T₁₇)² foram realizadas pelo Laboratório de Microbiologia do Instituto de Tecnologia de Alimentos da UFRuralRJ. As amostras foram encaminhadas ao laboratório em embalagens de polietileno estéreis e com vácuo.

² T₁ = 30 % umidade – 70 °C – 20 % farinha de feijão na mistura com arroz polido; T₁₃ = 35 % umidade – 80 °C – 6,36 % farinha de feijão na mistura com arroz polido; T₁₇ = 35 % umidade – 80 °C – 40 % farinha de feijão na mistura com arroz polido.

Para as farinhas, foram realizadas análises de coliformes a 35 °C e coliformes a 45 °C, bolores, leveduras, *Salmonella* sp. e *Bacillus cereus*, enquanto para as massas alimentícias, coliformes a 35 °C e coliformes a 45 °C, bolores, leveduras, *Salmonella* sp., *Bacillus cereus* e *Estafilococos* coagulase positiva.

A preparação das amostras para as análises microbiológicas foi precedida de diluições decimais (exceto para *Salmonella* sp.). Vinte e cinco gramas da amostra foram homogeneizadas com 225 mL do diluente (água peptonada 0,1 %) em homogeneizador Stomacher (Seward, GB), obtendo-se a diluição 10-1. Diluições decimais subsequentes foram preparadas quando necessário, sendo adotadas as metodologias recomendadas pelo Órgão de Inspeção Sanitária Brasileiro (BRASIL, 2003) e Downes e Ito (2001).

3.6 Caracterização Física das Matérias-Primas e Massas Alimentícias Pré-Cozidas à Base de Arroz e Feijão

3.6.1 Classificação granulométrica

O tamanho das partículas da farinha de arroz branco, farinha de feijão preto sem casca e das farinhas mistas extrusadas, estas últimas obtidas a partir da moagem dos melhores tratamentos das massas alimentícias pré-cozidas (T₁, T₁₃ e T₁₇)³, foi determinado utilizando um agitador de peneiras da marca RO-TAP, modelo RX-29-10. A classificação granulométrica foi realizada em duplicata para cada uma das amostras.

Para a classificação granulométrica foram peneiradas 100 g de cada amostra de farinha acima descrita, durante 10 minutos, em um conjunto de sete peneiras arredondadas e vibratórias, com aberturas de malhas de 40; 50; 60; 80; 100; 150; 200 mesh (420, 300, 250, 180, 150, 105 e 75 µm, respectivamente) e uma base.

Em seguida, os conteúdos retidos em cada peneira foram pesados e expressos em porcentagens de retenção, seguindo o procedimento padrão descrito por Germani, Benassi e Carvalho (1997).

3.6.2 Análise de cor

A análise instrumental de cor foi realizada por reflectância no S & M Colour Computer modelo SM - 4 - CH da Suga, no sistema Hunter com abertura de 30 mm de diâmetro, nas farinhas de arroz polido e feijão preto sem casca, nos 20 tratamentos referentes às massas alimentícias pré-cozidas elaboradas no presente estudo e em duas massas comerciais, uma à base de sêmola de trigo e outra à base de arroz branco polido, utilizadas como controle. Foram realizadas quatro repetições para cada amostra disposta em placa de Petri com 5 cm de diâmetro e 2 cm de altura.

³ T₁ = 30 % umidade – 70 °C – 20 % farinha de feijão na mistura com arroz polido; T₁₃ = 35 % umidade – 80 °C – 6,36 % farinha de feijão na mistura com arroz polido; T₁₇ = 35 % umidade – 80 °C – 40 % farinha de feijão na mistura com arroz polido.

Os parâmetros de cor medidos em relação à placa branca ($L = 90,20$; $a = -2,34$; $b = 1,38$) foram luminosidade, cromaticidade a e cromaticidade b , e para a determinação dos mesmos, as massas secas foram trituradas até 20 mesh (850 μm), como descrito por Bergman, Gualberto e Weber (1994).

Os limites de cada um desses parâmetros foram os seguintes:

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

A diferença total de cor (ΔE) foi calculada a partir da equação 9, como segue abaixo:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad (9)$$

3.7 Características Tecnológicas Funcionais das Massas Alimentícias Pré-Cozidas à Base de Arroz e Feijão

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

As determinações dos índices de absorção de água e solubilidade em água foram realizadas segundo os princípios básicos do método descrito por Anderson et al. (1969) modificado, em quadruplicata, em todos os tratamentos e nas massas comerciais estabelecidas como controle (trigo e arroz).

Para a realização destas análises, em tubos de centrífuga, previamente tarados, pesou-se cerca de 1 g de cada amostra, em base seca, e com granulometria de 105 μm . Foram adicionados 5 mL de água destilada, procedeu-se a homogeneização do material, e, em seguida, adicionou-se mais 5 mL de água destilada. Logo após, a fim de garantir a homogeneização perfeita do material, foi realizada a agitação mecânica dos tubos em um agitador tipo Vortex.

Posteriormente, os tubos foram levados para um agitador horizontal mecânico, da marca Eberback 625, tipo Shaker Bath por 30 minutos e após este período foram centrifugados por 15 minutos sob rotação de 3500 rpm em centrífuga da marca Hermle, modelo Z383.

O líquido sobrenadante obtido após a centrifugação foi vertido cuidadosamente sobre uma placa de Petri previamente tarada, e transferido para uma estufa com circulação de ar a 105 °C por 4 horas. Depois, as placas foram transferidas para um dessecador por 30 minutos para resfriar e atingir a temperatura ambiente e, em seguida, foram pesadas.

A equação utilizada para o cálculo do índice de solubilidade em água está abaixo descrita:

$$\text{ISA} = \left[\frac{\text{Peso do resíduo da evaporação (g)}}{\text{Peso da amostra (g)}} \right] \times 100 = \% \quad (10)$$

Logo após a retirada do líquido sobrenadante, os tubos foram pesados e assim, juntamente com o peso da amostra e o peso do resíduo que se solubilizou na água destilada, foi encontrado o IAA do material extrusado.

O cálculo para este índice foi realizado de acordo com a equação adaptada por Hashimoto e Grossmann (2003), como segue:

$$IAA = \left[\frac{\text{Peso do resíduo da centrifugação (g)}}{\text{Peso da amostra (g)}} \right] = \text{g gel/g matéria seca} \quad (11)$$

3.7.2 Propriedades viscoamilográficas

A viscosidade de pasta das amostras foi determinada com o uso do analisador rápido de viscosidade (Rapid Visco Analyser – RVA), série 4, da marca *Newport Scientific*, provido do software *Thermocline for Windows*, utilizando-se a sua metodologia para materiais extrusados. As análises foram feitas em duplicata, para cada tratamento e nas massas controle (trigo e arroz).

Para a realização desta análise, as amostras extrusadas e secas foram moídas em moinho de disco e peneiradas no agitador de peneiras RO-TAP modelo RX-29-10. A fração retida entre as peneiras de 125 e 250 µm foi utilizada para esta análise, pois segundo Becker, Hill e Mitchell (2001) a diferença do tamanho de partículas entre as amostras pode ocasionar má interpretação dos resultados obtidos.

Foram utilizadas 3 g de farinha extrusada, com umidade corrigida para 14 %, em base úmida, e em seguida adicionou-se água destilada até a obtenção do peso final de 28 g, conforme metodologia descrita por Ascheri et al. (2006b).

O perfil de análise utilizado foi “extrusion 1 no-alcohol”, que apresenta como característica a manutenção inicial do sistema a 25 °C durante 2 minutos. O aquecimento ocorreu em seguida e aos sete minutos a temperatura máxima foi atingida (95 °C), onde permaneceu por 3 minutos. Logo após, o resfriamento foi iniciado até a temperatura de 25 °C, totalizando vinte minutos de análise.

Para interpretação dos amilogramas foram utilizados os seguintes parâmetros, como mostrado na Figura 8:

- a) Viscosidade inicial ou viscosidade a frio (VInicial): é o valor da viscosidade em cP (Centipoise), na temperatura de 25 °C, no início do ciclo de aquecimento;
- b) Viscosidade máxima (VMáxima): é o valor da viscosidade no ponto máximo da curva, obtido durante o ciclo de aquecimento, expresso em cP;
- c) Viscosidade mínima após o ciclo de aquecimento a 95 °C (VMínima);
- d) Quebra de viscosidade (QV) ou “Breakdown”: é a diferença entre a viscosidade máxima e mínima durante a manutenção a 95 °C;
- e) Viscosidade final no ciclo de resfriamento (VFinal): é o valor da viscosidade em cP, ao final da análise (a 25 °C);
- f) Tendência à retrogradação (TR) ou “Setback”: é a diferença entre a viscosidade final e o menor valor de viscosidade durante a manutenção à 95 °C.

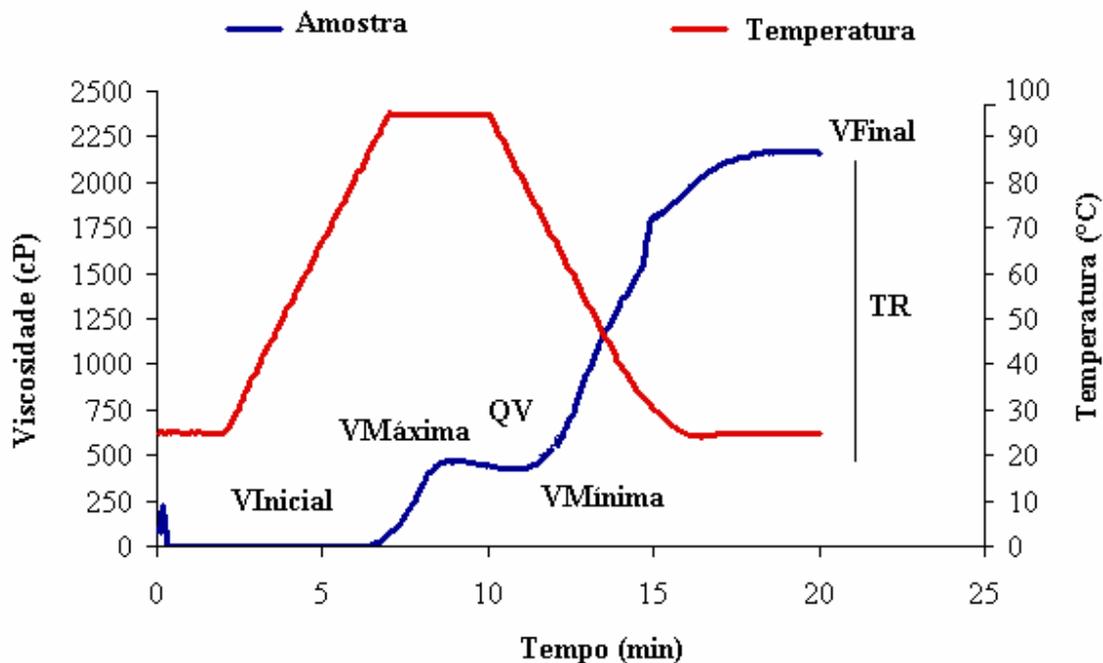


Figura 8. Parâmetros avaliados na curva viscoamilográfica das massas alimentícias pré-cozidas.

3.8 Avaliação Sensorial das Massas Alimentícias Pré-Cozidas à Base de Farinha Mista de Arroz Polido e Feijão Preto sem Casca

As três melhores massas alimentícias pré-cozidas por extrusão termoplástica à base de arroz e feijão, qualificadas em função de suas propriedades de cozimento, foram submetidas ao teste sensorial de aceitação, sendo elas correspondentes aos seguintes tratamentos: T_1 = 30 % de umidade, 70 °C, 20 % de farinha de feijão; T_{13} = 35 % de umidade, 80 °C e 6,36 % de farinha de feijão; T_{17} = 35 % de umidade, 80 °C, 40 % de farinha de feijão.

O teste de aceitação das amostras selecionadas foi realizado por 81 provadores não treinados, de ambos os sexos. Avaliou-se a impressão global ou aceitação geral (que é traduzida pelo conjunto, relativa à primeira impressão causada pelo produto como um todo – aparência, cor, consistência, aroma), o sabor, a textura e a intenção de compra das massas alimentícias.

Para a avaliação da impressão global das amostras e sabor foi utilizada uma escala hedônica estruturada de 9 pontos (9 = gostei extremamente, 5 = não gostei nem desgostei, 1 = desgostei extremamente). Já para a intenção de compra foi utilizada escala estruturada de 7 pontos (7 = certamente compraria, 1 = certamente não compraria).

Os testes foram realizados no Laboratório de Análise Sensorial da Embrapa Agroindústria de Alimentos, no Rio de Janeiro, em cabines individuais, sob iluminação branca.

As massas alimentícias pré-cozidas foram preparadas em seus tempos ótimos de cozimento, não sendo acrescentado óleo, nem sal na água de cocção. Estes, então, após o cozimento, foram drenados durante 5 minutos e em seguida, acrescidos de molho de tomate. O preparo do molho e os materiais utilizados no teste de aceitação estão detalhados no Anexo C. Quando necessário, as massas foram aquecidas em forno de microondas por 15 segundos.

Foram servidos 15 g de cada uma das amostras, com molho de tomate, em pires brancos de porcelana codificados com números em três dígitos e apresentados aos consumidores de forma balanceada e aleatória, sendo utilizada uma ficha técnica de controle dos provadores (Quadro 5).

Junto às amostras foi oferecida água mineral à temperatura ambiente e biscoito tipo água *light* Piraquê® para a limpeza do palato, e as fichas técnicas socioeconômica e de avaliação das massas, conforme os modelos apresentados nos Quadros 6 e 7, respectivamente.

Com a finalidade de verificar possíveis influências e variações nas respostas obtidas, nenhuma informação a respeito da composição e benefícios das massas alimentícias foi fornecida aos 40 primeiros provadores no momento do teste. Dessa forma, os 41 provadores subsequentes receberam previamente ao teste um folder explicativo (Quadro 8). O perfil detalhado dos consumidores que participaram do teste de aceitação está descrito no Anexo F.

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e para comparação entre as médias, foi utilizado o teste de Tukey, ao nível de significância de 5 % de probabilidade, utilizando o programa *Xlstat*, versão 7.5. Em função da escala utilizada, foi realizada uma análise de histograma de frequência da distribuição das notas dadas pelos provadores.

Quadro 6. Ficha técnica de avaliação socioeconômica dos produtores.



ESTUDO SOBRE MACARRÃO

1. Nome: _____ Data: _____

2. Sexo: feminino masculino

3. Idade: 18-25 26-35 36-45 46-55 56-65 > 66

4. Grau de escolaridade:

Fundamental ou 1º Grau
 Fundamental ou 1º Grau incompleto
 Médio ou 2º Grau
 Médio ou 2º Grau incompleto
 Universitário
 Universitário incompleto
 Pós-graduação

5. Renda familiar mensal: (Salário Mínimo = R\$ 415,00)

1 a 5 salários/mês >5 a 10 salários/mês
 >10 a 20 salários/mês >20 a 30 salários/mês >30 salários/mês

6. Você gosta de macarrão? sim não

7. Você consome macarrão? sim não

8. Com que frequência?

Nunca Raramente Esporadicamente Frequentemente Diariamente

9. Você gosta de experimentar novos produtos?

Definitivamente NÃO Definitivamente SIM

Quadro 7. Ficha técnica de avaliação dos provadores.



Amostra N°: _____

Você está recebendo uma amostra de **macarrão**. Por favor, prove-a e avalie de forma global, utilizando a escala abaixo, o quanto você gostou ou desgostou dessa amostra.

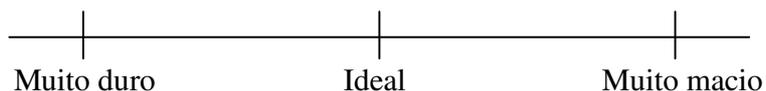
desgostei desgostei desgostei desgostei não gostei e gostei gostei gostei gostei
extremamente muito moderadamente ligeiramente nem desgostei ligeiramente moderadamente muito extremamente

Por favor, marque na escala abaixo o quanto você gostou do **sabor** do macarrão.

desgostei desgostei desgostei desgostei não gostei e gostei gostei gostei gostei
extremamente muito moderadamente ligeiramente nem desgostei ligeiramente moderadamente muito extremamente

Por favor, dê a sua opinião em relação à seguinte característica:

Textura:



Cite o que você mais **gostou** neste produto _____

Cite o que você mais **desgostou** neste produto _____

Indique na escala abaixo sua atitude se você encontrasse esta amostra à venda. Você compraria este produto?

Certamente não compraria Certamente compraria

Quadro 8. Folder informativo fornecido aos provadores na avaliação sensorial das massas.

MASSA ALIMENTÍCIA PRÉ-COZIDA DE ARROZ E FEIJÃO



Para os que buscam uma massa altamente nutritiva e de preparo rápido, esta é uma excelente opção. O macarrão pré-cozido de arroz e feijão leva apenas 6 minutos para cozinhar e auxilia no controle do colesterol e na regularização intestinal, pois contém fibras.

Esta massa **não contém glúten**. O glúten é uma proteína existente no trigo, aveia, cevada e centeio, e que provoca alergia nas pessoas que são intolerantes a ela.

Além dos celíacos, as pessoas que não apresentam intolerância ao glúten também podem consumir esta massa, pois ela é leve, de sabor suave e agradável e é rica em nutrientes essenciais ao bom funcionamento do organismo, como proteínas, vitaminas e minerais.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Qualidade das Massas Alimentícias Pré-Cozidas à Base de Arroz e Feijão

4.1.1 Teste de cozimento

O comportamento das massas alimentícias durante e após o cozimento é o parâmetro de qualidade de maior importância para os consumidores desse produto. Diversos autores (AUTRAN, ABECASSIS e FEILLET, 1986; D'EGIDIO et al., 1990; MATSUO et al., 1982) mencionam que as diferenças na qualidade de cozimento das massas tradicionais podem ser explicadas pela variação no teor e na composição da proteína do trigo e do seu material farináceo, sendo o teor protéico responsável por dois terços dessas diferenças e a variação da composição da proteína responsável pelo um terço restante (KRUGER, MATSUO e DICK, 1996).

No caso de massas alimentícias não convencionais, elaboradas sem o glúten, procura-se formar uma estrutura semelhante a que o glúten proporciona através do emprego de tecnologias que explorem as propriedades funcionais do amido presente na matéria-prima ou através da adição de farinhas ricas em proteínas ou de aditivos, como afirma Pagani (1986).

Segundo Leitão et al. (1990), as características mais interessantes no teste de cozimento são o grau de cozimento, a resistência ao colamento, capacidade de absorção de água e aumento de volume. Ainda de acordo com este autor, a natureza e a qualidade da matéria-prima utilizada, as características do formato do produto acabado, o sistema de processamento, secagem e o próprio sistema de cozimento, influenciam este teste.

Dentre as massas alimentícias elaboradas com base no delineamento experimental, foram escolhidas as três melhores massas pré-cozidas à base de arroz e feijão para serem submetidas à análise sensorial, à caracterização química e microbiológica e à classificação granulométrica. Para a realização desta escolha foram considerados a aparência geral, o comportamento e a resistência ao cozimento, a perda de sólidos solúveis em água, principal responsável pela cor da água de cocção, o aumento de peso, que reflete diretamente o rendimento das massas e a acidez alcoólica.

Na Tabela 6 estão dispostos os resultados obtidos na caracterização das massas alimentícias pré-cozidas e das massas comerciais de trigo e arroz (controles) quanto ao teste de cozimento, que inclui, tempo de cozimento, aumento de peso, aumento de volume, perda de sólidos solúveis em água e acidez alcoólica, importante na avaliação da qualidade de modo geral.

Analisando a Tabela 6, observa-se que os maiores valores de aumento de peso e volume foram encontrados para as massas referentes aos pontos centrais (T₁₅ ao T₂₀), já os menores valores de sólidos solúveis foram encontrados para as massas referentes aos tratamentos T₁₃, T₁ e T₅ (3,35, 3,79 e 5,02 %, respectivamente). As massas T₇, T₁₃ e T₁ apresentaram os menores valores para acidez alcoólica, que foram, respectivamente de 2,69, 2,94 e 3,13 %. Por se tratarem de massas pré-cozidas, o tempo de cozimento de todas as massas alimentícias foi inferior ao tempo de cozimento da massa convencional de trigo.

Desta forma, considerando a aparência e todos os aspectos relacionados ao comportamento das massas alimentícias durante e após a realização do teste de cozimento foram escolhidas as melhores massas alimentícias, representadas pelos tratamentos T₁, T₁₃ e T₁₇.

Tabela 6. Resultados da caracterização da qualidade das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz polido e feijão preto sem casca e controles.

Tratamentos	X ₁	X ₂	X ₃	TC (min)	AP (%)	AV (%)	SS (%)	AA (%)
1	30	70	20	6'30"	210,98	124,13	3,79	3,13
2	30	70	60	6'30"	206,44	224,36	7,64	5,19
3	30	90	20	6'00"	211,47	126,04	5,22	3,38
4	30	90	60	5'45"	197,69	200,00	6,71	5,31
5	40	70	20	5'45"	221,82	121,67	5,02	3,88
6	40	70	60	5'15"	203,39	271,43	6,37	5,13
7	40	90	20	5'00"	221,15	104,25	5,97	2,69
8	40	90	60	5'15"	209,09	229,73	8,30	5,31
9	26,59	80	40	6'30"	202,08	229,91	7,08	3,25
10	43,41	80	40	5'00"	210,77	227,35	7,38	4,44
11	35	63,18	40	5'30"	201,29	266,67	6,46	6,00
12	35	96,82	40	6'30"	226,66	123,74	6,72	5,31
13	35	80	6,36	5'45"	217,53	163,06	3,35	2,94
14	35	80	73,64	5'15"	193,99	215,57	8,88	8,00
15	35	80	40	6'20"	214,97	281,12	6,93	5,00
16	35	80	40	5'45"	207,46	276,88	6,95	5,13
17	35	80	40	5'45"	206,64	286,55	6,70	5,31
18	35	80	40	5'45"	212,69	284,76	7,12	5,75
19	35	80	40	6'00'	209,86	285,71	6,92	5,50
20	35	80	40	6'15"	212,51	285,71	7,12	6,25
Controle Trigo*	-	-	-	8'00"	241,92	110,1	6,80	3,38
Controle Arroz**	-	-	-	5'00"	171,85	117,6	3,35	2,13

X₁: Umidade (%).

X₂: Temperatura (°C).

X₃: Farinha de feijão (%) na mistura com arroz polido.

TC: Tempo de Cozimento (min).

AV: Aumento de Volume (%).

AP: Aumento de Peso (%).

SS: Perda de Sólidos Solúveis (%).

AA: Acidez Alcoólica (%).

*Massa comercial à base de sêmola de trigo.

**Massa comercial isenta de glúten à base de arroz polido.

4.1.1.1 Tempo de cozimento

A análise de variância (ANOVA), o teste F, os coeficientes de regressão e as respectivas probabilidades estão apresentados na Tabela 7. O coeficiente de determinação (0,68851) apresentou um valor muito baixo para que o modelo seja considerado preditivo. Desta forma, como o R^2 foi inferior a 0,70, não foram construídos gráficos de superfície de resposta nem foi gerado o modelo da equação, no entanto, os resultados foram discutidos através de comparação de médias realizadas pelo teste de Tukey (Tabela 8).

Tabela 7. Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada ao tempo de cozimento (s) das massas alimentícias pré-cozidas de farinha mista de arroz e feijão, em função da umidade, temperatura e percentual de farinha de feijão.

Fator	Teste F	Coeficiente de Regressão	P
Intercepto	--	358,3074	3,81E-08***
X ₁	3,73E+01	-2,65E+01	1,71E-03**
X ₁ ²	1,16E+00	-4,54E+00	3,31E-01 ^{n.s.}
X ₂	1,04E-01	-1,40E+00	7,60E-01 ^{n.s.}
X ₂ ²	3,24E-02	7,59E-01	8,64E-01 ^{n.s.}
X ₃	1,85E+00	-5,89E+00	2,32E-01 ^{n.s.}
X ₃ ²	5,44E+00	-9,85E+00	6,69E-02 ^{n.s.}
X ₁ X ₂	4,38E-01	3,75E+00	5,37E-01 ^{n.s.}
X ₁ X ₃	0,00E+00	0,00E+00	1,00E+00 ^{n.s.}
X ₂ X ₃	4,38E-01	3,75E+00	5,37E-01 ^{n.s.}
Falta de ajuste	3,21E+00	--	1,13E-01 ^{n.s.}
R²		0,68851	

X₁: Umidade (%).

X₂: Temperatura (°C).

X₃: Farinha de feijão (%) na mistura com arroz polido.

-- Não determinado.

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

** = Significativo ao nível de 1 % de probabilidade.

*** = Significativo ao nível de 0,1 % de probabilidade.

Tabela 8. Teste de Tukey do tempo de cozimento das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz polido e feijão preto sem casca.

Tratamentos	Tempo de Cozimento (s)
1	390 ± 0,00 ^a
2	390 ± 0,00 ^a
3	360 ± 0,00 ^c
4	345 ± 0,00 ^d
5	345 ± 0,00 ^d
6	315 ± 0,00 ^f
7	300 ± 0,00 ^g
8	315 ± 0,00 ^f
9	390 ± 0,00 ^a
10	300 ± 0,00 ^g
11	330 ± 0,00 ^e
12	390 ± 0,00 ^a
13	345 ± 0,00 ^d
14	315 ± 0,00 ^f
15	390 ± 0,00 ^a
16	345 ± 0,00 ^d
17	345 ± 0,00 ^d
18	345 ± 0,00 ^d
19	360 ± 0,00 ^c
20	375 ± 0,00 ^b

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

** Média ± desvio-padrão.

Para Cruz e Soares (2004), o tempo de cozimento é uma função da coesão da massa, pela interação das proteínas dos grupos gliadina e glutenina e do amido presente.

O tempo de cozimento das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão variou de 300 s (5 min.) a 390 s (6 min. e 30 s). Observando a Tabela 6, nota-se que as melhores massas alimentícias pré-cozidas tiveram tempo de cozimento de: 390 s (6 min. e 30s) para T₁ (30 % umidade, 70 °C, 20 % de farinha de feijão) e 345 s (5 min. e 45 s) para T₁₃ (35 % umidade, 80 °C, 6,36 % de farinha de feijão) e T₁₇ (35 % umidade, 80 °C, 40 % de farinha de feijão).

Em média, o tempo de cozimento das massas pré-cozidas do presente estudo foi de 349 s (5 min. e 49 s), valor inferior ao encontrado para a massa comercial de trigo (8 min.) e pouco superior ao da massa à base de arroz (5 min.).

Borges et al. (2003) elaboraram massas pré-cozidas por extrusão termoplástica com matérias-primas não convencionais, sendo elas a farinha integral de quinoa e farinha de arroz polido, utilizando temperaturas de 60 °C e 77 °C e matriz de 1 mm de espessura. As massas apresentaram tempo de cozimento médio de 360 s (6 min.). Resultado semelhante foi encontrado por Silva (2007) para massas pré-cozidas à base de farinha mista de arroz integral e milho.

De modo geral, verifica-se que as massas alimentícias com umidade mais elevada apresentaram menor tempo de cozimento. Os menores valores para o tempo de cozimento foram encontrados para as massas referentes aos tratamentos T₇ e T₁₀, com 40 % e 43,41 % de umidade, respectivamente.

Silva (2007) e Oliveira et al. (2004) observaram que a elevação da umidade da farinha mista crua e da temperatura resultou na diminuição do tempo ótimo de cozimento das massas pré-cozidas. Isso pode ocorrer devido ao processo de gelatinização ser mais extenso, resultando em menor tempo de cocção.

4.1.1.2 Aumento de peso

Os parâmetros de aumento de peso e aumento de volume estão relacionados à capacidade de absorção de água das massas, podendo então, refletir o rendimento das massas, e dependem do formato do macarrão.

Os valores de aumento de peso para as massas alimentícias pré-cozidas T₁, T₁₃ e T₁₇⁴, escolhidas como os melhores tratamentos, foram de 210,98 %, 217,53 % e 206,64 %, respectivamente. As massas comerciais avaliadas apresentaram aumento de peso de 241,92 % (trigo) e 171,85 % (arroz).

Desta forma, considerando que o aumento de peso é um parâmetro de qualidade de massas alimentícias que está diretamente relacionado ao rendimento da massa após o cozimento, comparando as massas pré-cozidas à base de farinha mista de arroz polido e feijão preto sem casca com as massas controle à base de sêmola de trigo e arroz polido, pode-se dizer que as mesmas apresentam resultados satisfatórios.

Os parâmetros de qualidade propostos por Ciacco e Chang (1986), consideram que as massas alimentícias de características adequadas são aquelas que apresentam aumento de peso acima de 200 %. Para Donnely (1979), o aumento de peso deve estar entre 200 e 250 %. Entretanto, para Hummel (1966) os valores mínimos satisfatórios devem ser da ordem de 100 %. Desta forma, seguindo os critérios deste autor, todas as massas alimentícias à base de arroz e feijão apresentaram aumentos de peso adequados, conforme mostra a Tabela 6.

De acordo com os resultados expressos na Tabela 9, para a variável aumento de peso, verifica-se que o intercepto foi altamente significativo ($p < 0,001$), indicando que o ponto central foi escolhido corretamente.

⁴ T₁ = 30 % umidade – 70 °C – 20 % farinha de feijão na mistura com arroz polido; T₁₃ = 35 % umidade – 80 °C – 6,36 % farinha de feijão na mistura com arroz polido; T₁₇ = 35 % umidade – 80 °C – 40 % farinha de feijão na mistura com arroz polido.

Tabela 9. Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada ao aumento de peso (%) das massas alimentícias pré-cozidas de farinha mista de arroz e feijão, em função da umidade, temperatura e percentual de farinha de feijão.

Fator	Teste F	Coeficiente de Regressão	P
Intercepto	--	210,6353	1,90E-10***
X ₁	1,30E+01	3,18E+00	1,54E-02*
X ₁ ²	1,82E+00	-1,16E+00	2,36E-01 ^{n.s.}
X ₂	1,07E+01	2,89E+00	2,22E-02*
X ₂ ²	3,09E+00	1,51E+00	1,39E-01 ^{n.s.}
X ₃	5,38E+01	-6,47E+00	7,38E-04***
X ₃ ²	2,63E+00	-1,39E+00	1,66E-01 ^{n.s.}
X ₁ X ₂	2,08E+00	1,66E+00	2,09E-01 ^{n.s.}
X ₁ X ₃	1,74E+00	-1,52E+00	2,44E-01 ^{n.s.}
X ₂ X ₃	9,70E-02	-3,59E-01	7,68E-01 ^{n.s.}
Falta de ajuste	4,79E+00	--	5,54E-02 ^{n.s.}
R²		0,75610	

X₁: Umidade (%).

X₂: Temperatura (°C).

X₃: Farinha de feijão (%) na mistura com arroz polido.

-- Não determinado.

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

* = Significativo ao nível de 5 % de probabilidade.

*** = Significativo ao nível de 0,1 % de probabilidade.

O coeficiente de determinação observado (0,75610) explica 76 % da variação total do aumento de peso em torno da média e 24 % atribui-se aos resíduos. Não se evidencia falta de ajuste do modelo aos dados experimentais, tendo em vista que a variação devido à falta de ajuste não é estatisticamente significativa ($P > 0,05$).

Com relação às variáveis, nota-se que houve contribuição linear do percentual de farinha de feijão ($P < 0,001$), umidade ($P < 0,05$) e temperatura ($P < 0,05$), com maiores efeitos para os fatores X₃ e X₁. O menor efeito foi exercido pelo fator linear X₂.

Por meio da análise de variância e na probabilidade estatística (Tabela 9), somente os coeficientes de regressão significativos ao nível de 95 a 99,9 % de confiança foram selecionados para o desenvolvimento da equação do modelo matemático proposto para as variáveis independentes codificadas (equação 12), que fica restrita como:

$$\text{Aumento de Peso} = 210,64 + 3,18X_1 + 2,89X_2 - 6,47X_3 \quad (12)$$

As Figuras 9 a 11 mostram a tendência linear das variáveis temperatura, umidade e percentual de farinha de feijão sobre o aumento de peso.

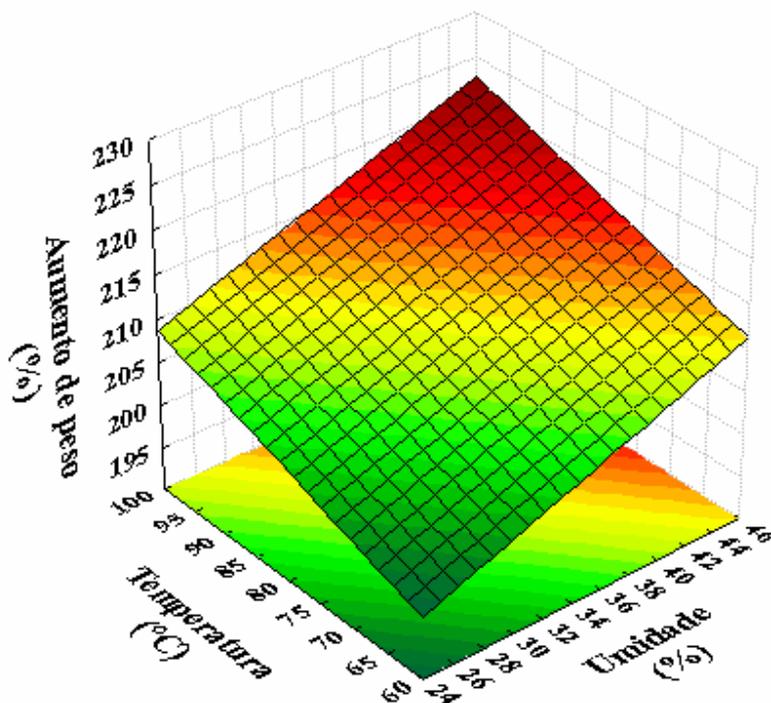


Figura 9. Efeito das variáveis quantitativas temperatura (°C) e umidade (%) no aumento de peso (%) das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão.

Na Figura 9, observa-se que o aumento linear da umidade desencadeia elevação no aumento de peso, tendo pouca influência da temperatura. Os maiores valores foram encontrados para os tratamentos 12 (226,66 %), 5 (221,82 %) e 7 (221,15 %), que foram submetidos à temperatura de 96,82 °C, 70 °C e 90 °C, respectivamente, e a umidade da mistura foi 35 % para T₁₂ e 40 % para T₅ e T₇.

A Figura 10 permite verificar o efeito das variáveis percentual de farinha de feijão e umidade na variável resposta. Nota-se que, de acordo com o efeito negativo da variável linear percentual de farinha de feijão, esta contribuição é inversamente proporcional. A partir do momento em que há uma diminuição nas proporções de feijão e incremento da umidade, os valores de aumento de peso tendem a se elevar. Como mostra a Tabela 6, os melhores aumentos de peso foram alcançados pelas massas que continham em sua formulação de 20 a 40 % de farinha de feijão preto sem casca.

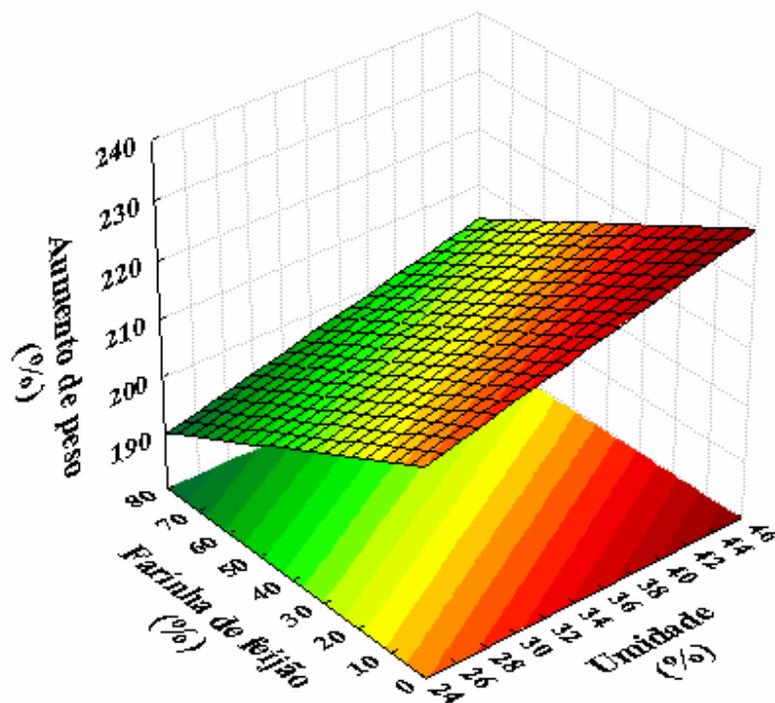


Figura 10. Efeito das variáveis quantitativas farinha de feijão (%) e umidade (%) no aumento de peso (%) das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão.

Analisando a Figura 11, observa-se o efeito de maior magnitude apresentado pelo percentual de farinha de feijão presente nas massas alimentícias pré-cozidas. A temperatura, neste estudo, exerce pouca influência sobre o aumento de peso.

Os menores valores de aumento de peso (Tabela 6) foram obtidos pelas massas referentes aos tratamentos 14 (193,99 %) e 4 (197,69 %), que contém os respectivos teores de farinha de feijão, 73,64 % e 60 %, e foram processados a 80 e 70 °C.

Assim como no presente estudo, Silva (2007) relatou ter encontrado maior aumento de peso (235,17 %) na massa alimentícia pré-cozida à base de arroz integral e milho que foi submetida a alta temperatura e umidade intermediária (90 °C e 35 %), e continha baixo percentual de farinha de milho (20 %) na formulação.

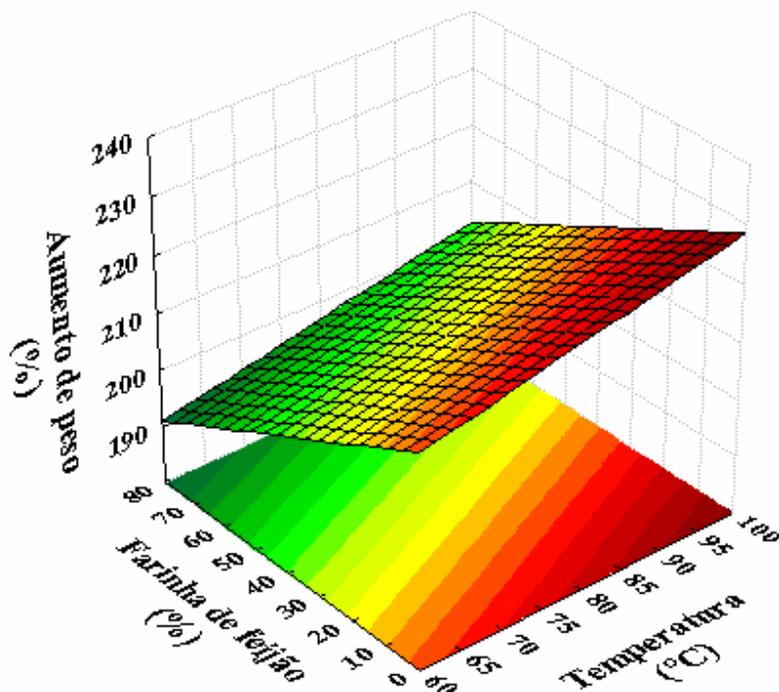


Figura 11. Efeito das variáveis quantitativas farinha de feijão (%) e temperatura (°C) no aumento de peso (%) das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão.

4.1.1.3 Aumento de volume

De acordo com Ormenese et al. (2001), o que se espera do aumento de volume de massas que contenham outros tipos de farinha em sua composição, além da farinha de trigo, é que quanto maior seja a porcentagem dessas outras farinhas, menor seja o aumento de volume, já que este além de depender do tempo de cozimento e do formato da massa, depende também, segundo Menegassi e Leonel (2006), do conteúdo e qualidade de proteínas, as quais no processo de mistura da massa, hidratam e absorvem água, participando do aumento de volume da mesma. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 6.

Os valores de aumento de peso para os melhores tratamentos de massa alimentícia selecionados foram 124,13 % para T₁, elaborado com 20 % de farinha de feijão, 30 % de umidade e extrusado a 70 °C; 163,06 % para T₁₃, processado a 80 °C e produzido com 6,36 % de farinha de feijão e 35 % de umidade; 286,55 % para T₁₇, com 40 % de farinha de feijão, 35 % de umidade e submetido à temperatura de extrusão de 80 °C. As massas comerciais de trigo e arroz apresentaram resultados inferiores: 110,10 % e 117,60 %, respectivamente.

Analisando a Tabela 6, verifica-se que 70 % das massas alimentícias à base de arroz polido e feijão preto sem casca estão dentro dos padrões de qualidade de massas, citados por Hummel (1966), que classifica como adequado o aumento de volume na faixa de 200 a 300 %. De modo geral, as massas elaboradas no presente estudo apresentaram valores mais elevados que as massas controle de trigo e de arroz analisadas.

Casagrandi et al. (1999) elaboraram macarrões com farinha de trigo adicionada de farinha de feijão-guandu. As massas com 5, 10 e 15 % de farinha de feijão-guandu obtiveram, respectivamente, 184,5 %, 202,8 % e 191,7 % de aumento de volume. O macarrão de arroz produzido por Ormenese e Chang (2003) e as massas pré-cozidas à base de farinha de arroz integral e farinha de milho elaboradas por Silva (2007) apresentaram os respectivos valores médios de aumento de volume: 175 % e 62,1 %.

A Tabela 10 contém os valores do teste F, coeficientes de regressão e as respectivas probabilidades.

Tabela 10. Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada ao aumento de volume (%) das massas alimentícias pré-cozidas de farinha mista de arroz e feijão, em função da umidade, temperatura e percentual de farinha de feijão.

Fator	Teste F	Coeficiente de Regressão	P
Intercepto	--	284,2419	8,53E-11***
X ₁	1,21E+01	3,53E+00	1,76E-02*
X ₁ ²	6,18E+02	-2,45E+01	1,97E-06***
X ₂	5,41E+02	-2,36E+01	2,74E-06***
X ₂ ²	1,36E+03	-3,63E+01	2,78E-07***
X ₃	1,51E+03	3,94E+01	2,13E-07***
X ₃ ²	1,52E+03	-3,84E+01	2,11E-07***
X ₁ X ₂	1,20E+01	-4,58E+00	1,81E-02*
X ₁ X ₃	9,09E+01	1,26E+01	2,15E-04***
X ₂ X ₃	2,27E+01	-6,32E+00	5,02E-03**
Falta de ajuste	1,57E+02	--	1,73E-05***
R²		0,86686	

X₁: Umidade (%).

X₂: Temperatura (°C).

X₃: Farinha de feijão (%) na mistura com arroz polido.

-- Não determinado.

* = Significativo ao nível de 5 % de probabilidade.

** = Significativo ao nível de 1 % de probabilidade.

*** = Significativo ao nível de 0,1 % de probabilidade.

Analisando a Tabela 10, verifica-se que todas as variáveis contribuíram na variação do ajuste do modelo utilizado aos valores observados. A variável quadrática do percentual de farinha de feijão apresentou efeito de maior magnitude seguida pela variável linear do percentual de farinha de feijão e quadrática da temperatura. A interação entre umidade e temperatura exerceu o menor efeito.

A equação da regressão quadrática aplicada apresentou coeficiente de determinação (0,86686) que explica 87 % da variação total do aumento de volume em torno da média e 13 % atribui-se aos resíduos, entretanto foi evidenciada falta de ajuste do modelo aos dados experimentais ($P < 0,001$).

A equação do modelo matemático proposto para as variáveis independentes codificadas (equação 13) foi desenvolvida fazendo uso dos coeficientes de regressão significativos ao nível de 95 a 99,9 % de confiança e fica restrita como:

$$\text{Aumento de Volume} = 284,24 + 3,53X_1 - 24,53X_1^2 - 23,57X_2 - 36,34X_2^2 + 39,37X_3 - 38,42X_3^2 - 4,58X_1X_2 + 12,63X_1X_3 - 6,32X_2X_3 \quad (13)$$

Observa-se na Figura 12 a influência da temperatura e da umidade nos valores de aumento de volume. Nas condições experimentais estabelecidas, o aumento de volume apresenta valores mais elevados com as variáveis, temperatura e umidade, em níveis centrais (80 °C e 35 %). À medida que se aumenta a temperatura e a umidade, o aumento de volume diminui.

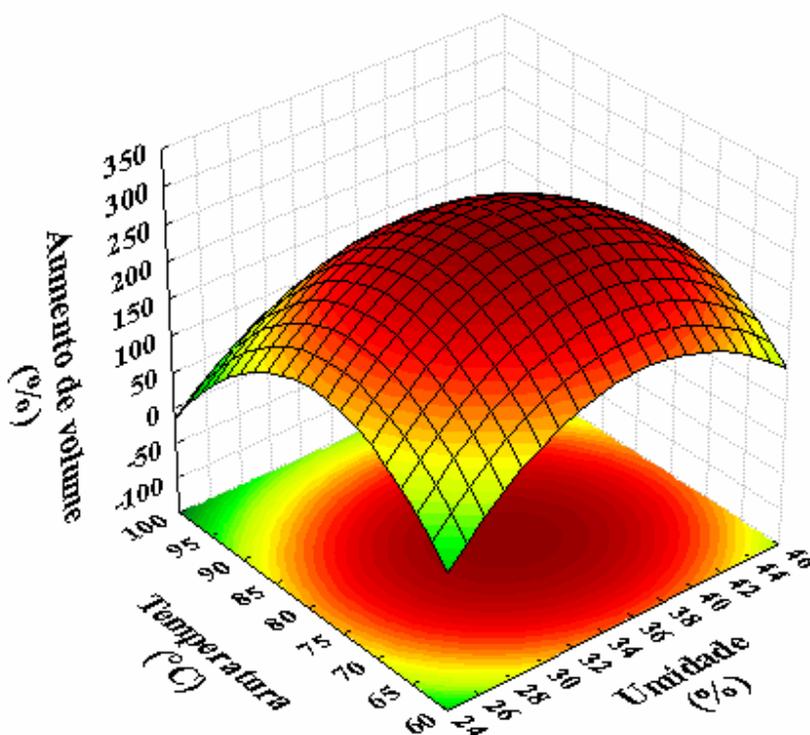


Figura 12. Efeito das variáveis quantitativas temperatura (°C) e umidade (%) no aumento de volume (%) das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão.

Pela análise da superfície de resposta gerada pelo modelo (Figura 13), verifica-se que os maiores valores de aumento de volume foram obtidos nas regiões centrais de percentual de farinha de feijão e umidade. Enquanto os menores valores localizam-se nas condições inferiores de percentual de farinha de feijão nas formulações combinadas com alta e baixa umidade da mistura.

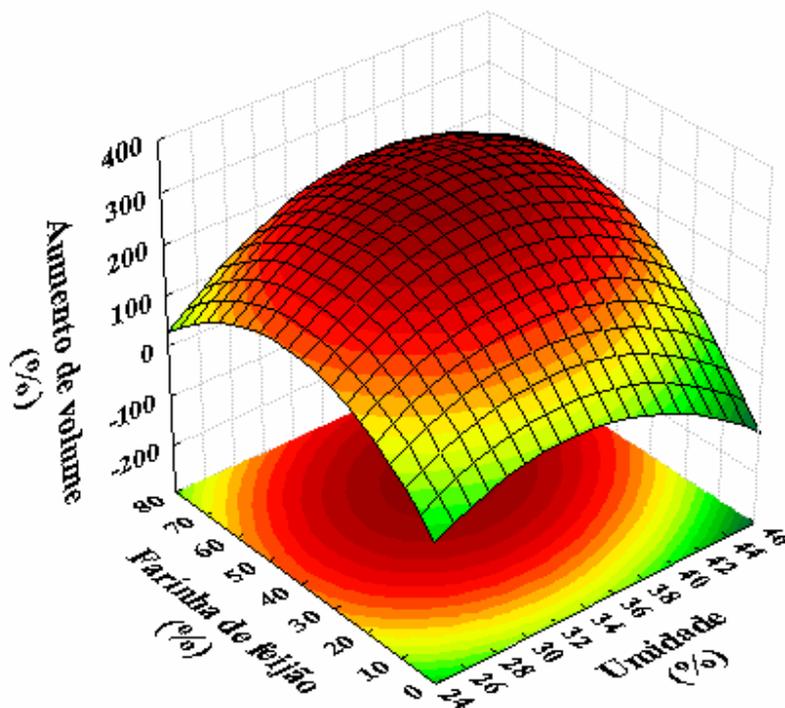


Figura 13. Efeito das variáveis quantitativas farinha de feijão (%) e umidade (%) no aumento de volume (%) das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão.

Ao analisar a Figura 14, constata-se que a temperatura em seus níveis extremos, tanto inferior quanto superior, combinadas concomitantemente com baixo percentual de farinha de feijão, levam à redução do aumento de volume das massas alimentícias pré-cozidas estudadas. Entretanto, o nível central de ambas variáveis, proporciona elevação deste parâmetro de cozimento.

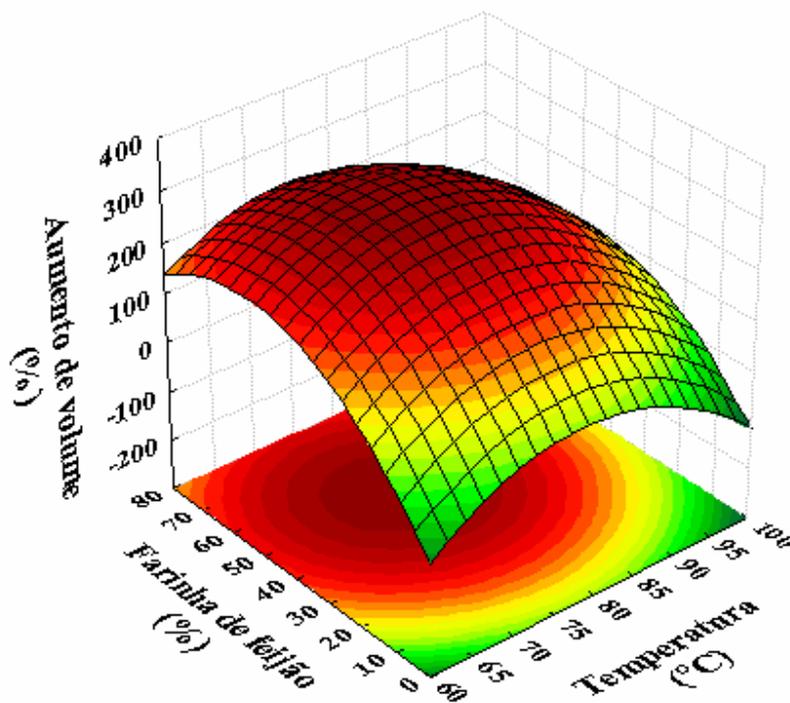


Figura 14. Efeito das variáveis quantitativas farinha de feijão (%) e temperatura (°C) no aumento de volume (%) das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão.

Oliveira et al. (2004) evidenciaram que uma elevação na temperatura reduziu o aumento de peso e de volume das massas pré-cozidas de trigo e soja, além do qual, houve um aumento. Além disso, ocorreu uma redução do peso e do volume com a elevação do nível de umidade. Segundo estes autores, 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.

Nabeshima (2007) obteve valores de aumento de volume variando de 91,21 a 128,97 % para as massas alimentícias instantâneas de arroz, elaboradas com farinhas quimicamente modificadas. O modelo da equação mostrou que somente a temperatura linear afetou este parâmetro, correlacionando-se negativamente com a resposta, assim, com o aumento da temperatura de extrusão, diminuiu-se o volume das massas alimentícias sem glúten. Os maiores valores ocorreram na região de menores temperaturas, de 84 a 94 °C, e segundo este autor, isso pode ter ocorrido devido ao efeito das proteínas presentes na farinha de arroz.

4.1.1.4 Perda de sólidos solúveis na água

Os resultados dos dados experimentais estão dispostos na Tabela 6. A perda de sólidos solúveis das massas alimentícias à base de arroz polido e feijão preto sem tegumento variou de 3,35 a 8,88 %. Segundo os critérios descritos por Hummel (1966), as massas alimentícias secas que apresentam perdas de sólidos solúveis de até 6 % são consideradas de qualidade muito boa, até 8 % são chamadas de massas de média qualidade, e valores iguais ou superiores a 10 % caracterizam as massas de baixa qualidade. Considerando esta forma de classificação, os produtos elaborados no presente estudo enquadram-se nos parâmetros de qualidade muito boa e regular. Nenhuma massa alimentícia à base de arroz e feijão apresentou baixa qualidade em relação à perda de sólidos solúveis, que foi um dos parâmetros mais importantes para a escolha dos melhores tratamentos deste estudo.

As massas alimentícias pré-cozidas selecionadas para os testes de aceitação apresentaram perda de sólidos solúveis de 3,79 % (T₁), 3,35 % (T₁₃) e 6,70 % (T₁₇)⁵, sendo, portanto, similares aos resultados verificados para as massas comerciais de trigo (6,80 %) e arroz (3,35 %).

Casagrandi et al. (1999) analisando macarrão misto de farinha de trigo e farinha de feijão-guandu observaram 15,60 % de perda de sólidos solúveis na massa com 15 % de farinha de feijão. As massas alimentícias de farinha de ervilha obtidas por extrusão produzidas por Wang et al. (1999a) apresentaram de 15,1 a 22,3 % de perda de sólidos, enquanto as melhores massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz integral e milho, preparadas por Silva (2007), obtiveram de 4,97 a 6,37 % de perda de sólidos solúveis.

Garib (2002) estudando uma massa alimentícia elaborada com 75 % de farinha de trigo, 15 % de farinha de milho pré-gelatinizada e 10 % de farinha de soja, relatou que a mesma obteve 9,33 % de perda de sólidos solúveis.

A Tabela 11 apresenta a análise de variância e as respectivas probabilidades para a variável resposta perda de sólidos solúveis. O coeficiente de determinação obtido (0,89108) explica 89 % da variação da perda de sólidos em torno da média e 11 % atribui-se aos resíduos, entretanto evidencia-se falta de ajuste ($P < 0,001$). O intercepto, como mostra a Tabela 11, foi altamente significativo ($P < 0,001$), indicando que o ponto central foi escolhido de forma correta.

Entre as variáveis estudadas, apenas a umidade na sua forma quadrática não contribuiu para os valores encontrados para a perda de sólidos solúveis. O maior e o menor efeito foi exercido pelos fatores X₃ e X₂X₃, respectivamente.

⁵ T₁ = 30 % umidade – 70 °C – 20 % farinha de feijão na mistura com arroz polido; T₁₃ = 35 % umidade – 80 °C – 6,36 % farinha de feijão na mistura com arroz polido; T₁₇ = 35 % umidade – 80 °C – 40 % farinha de feijão na mistura com arroz polido.

Tabela 11. Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada à perda de sólidos solúveis (%) das massas alimentícias pré-cozidas de farinha mista de arroz e feijão, em função da umidade, temperatura e percentual de farinha de feijão.

Fator	Teste F	Coeficiente de Regressão	P
Intercepto	--	6,972314	1,17E-09***
X ₁	2,37E+01	2,05E-01	4,59E-03**
X ₁ ²	4,66E-02	-8,83E-03	8,38E-01 ^{n.s.}
X ₂	4,42E+01	2,79E-01	1,16E-03***
X ₂ ²	3,29E+01	-2,34E-01	2,26E-03**
X ₃	1,02E+03	1,34E+00	5,67E-07***
X ₃ ²	9,69E+01	-4,03E-01	1,84E-04***
X ₁ X ₂	2,96E+01	2,99E-01	2,85E-03**
X ₁ X ₃	1,43E+01	-2,07E-01	1,29E-02**
X ₂ X ₃	9,97E+00	-1,73E-01	2,52E-02*
Falta de ajuste	2,98E+01	--	9,93E-04***
R²		0,89108	

X₁: Umidade (%).

X₂: Temperatura (°C).

X₃: Farinha de feijão (%) na mistura com arroz polido.

-- Não determinado.

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

* = Significativo ao nível de 5 % de probabilidade.

** = Significativo ao nível de 1 % de probabilidade.

*** = Significativo ao nível de 0,1 % de probabilidade.

Fazendo uso dos coeficientes de regressão significativos ao nível de 95 a 99,9 % de confiança a equação do modelo matemático proposto para as variáveis independentes codificadas (equação 14) foi desenvolvida e fica restrita como:

$$\text{Perda de Sólidos Solúveis} = 6,97 + 0,20X_1 + 0,28X_2 - 0,23X_2^2 + 1,34X_3 - 0,40X_3^2 + 0,30X_1X_2 - 0,21X_1X_3 - 0,17X_2X_3 \quad (14)$$

A Figura 15, desenhada utilizando a equação 14, mostra claramente a tendência da perda de sólidos solúveis resultante da influência da temperatura e da umidade. O aumento de ambas variáveis leva ao aumento da perda de sólidos solúveis. Os menores valores, que é o desejável para massas alimentícias, foram encontrados para os tratamentos submetidos a baixas temperaturas e umidades.

No estudo de Silva (2007), as amostras que foram processadas com maior teor de umidade obtiveram perdas de sólidos solúveis mais elevadas. As massas alimentícias elaboradas com 40 % de umidade, 40 % e 20 % de farinha de milho e foram submetidas a temperaturas de 70 °C e 90 °C na 3ª zona de aquecimento do extrusor apresentaram as respectivas perdas de sólidos: 22,60 % e 22,30 %.

Dexter, Matsuo e Morgan (1981) constataram que, além da temperatura alta, um conteúdo ligeiramente alto de umidade pode aumentar as possibilidades de gelatinização do amido, explicando-se as perdas relativamente altas durante o cozimento.

De acordo com Abecassis et al. (1994), em temperaturas de até 70 °C, uma maior hidratação pode beneficiar o intumescimento, diminuindo as perdas de sólidos solúveis durante o cozimento das massas. Assim, sugere-se que o aumento da temperatura e do nível de umidade possa ter contribuído na desnaturação das proteínas, que, por consequência, pode ter acarretado a insolubilização das proteínas, retendo melhor o amido na massa, reduzindo, portanto, as perdas de sólidos solúveis. Entretanto, com a elevação contínua da temperatura, especialmente em níveis mais altos de umidade, pode ter ocorrido a degradação tanto da proteína quanto do amido, acelerando as perdas.

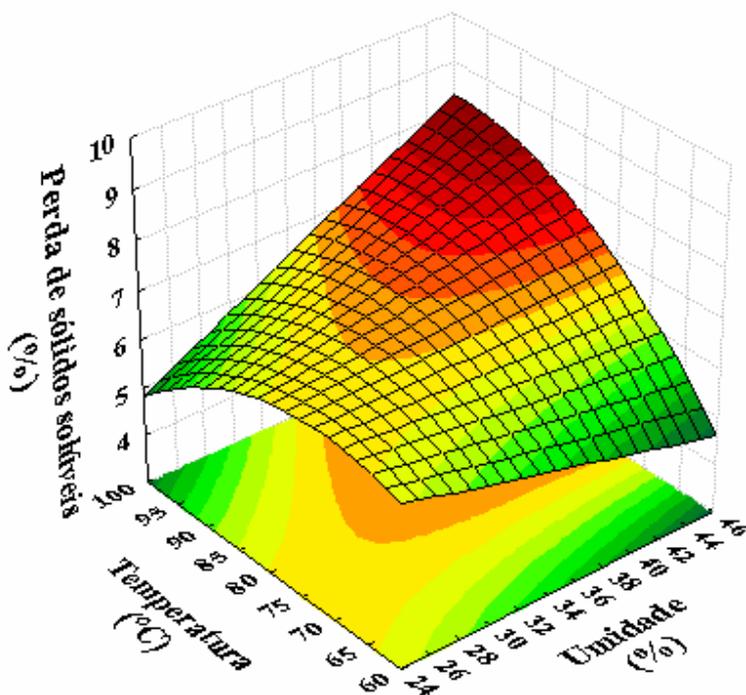


Figura 15. Efeito das variáveis quantitativas umidade (%) e temperatura (°C) na perda de sólidos solúveis (%) das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão.

O efeito da proporção de farinha de feijão e umidade nas perdas de sólidos solúveis é mostrado na superfície de resposta representada pela Figura 16.

Analisando a Figura 16, pode-se verificar o maior efeito do percentual de feijão preto sem casca, quando comparado à variável umidade sobre a perda de sólidos solúveis. Desta forma, o aumento da proporção de feijão nas massas alimentícias proporciona maiores perdas de sólidos, indicando que as características intrínsecas das matérias-primas utilizadas interferem diretamente nas propriedades de cozimento.

Estes achados corroboram com os resultados descritos por Oliveira et al. (2004), que constataram que o aumento da proporção de soja resultou no aumento das perdas de sólidos solúveis no tempo ótimo de cozimento das massas de trigo e soja pré-cozidas por extrusão.

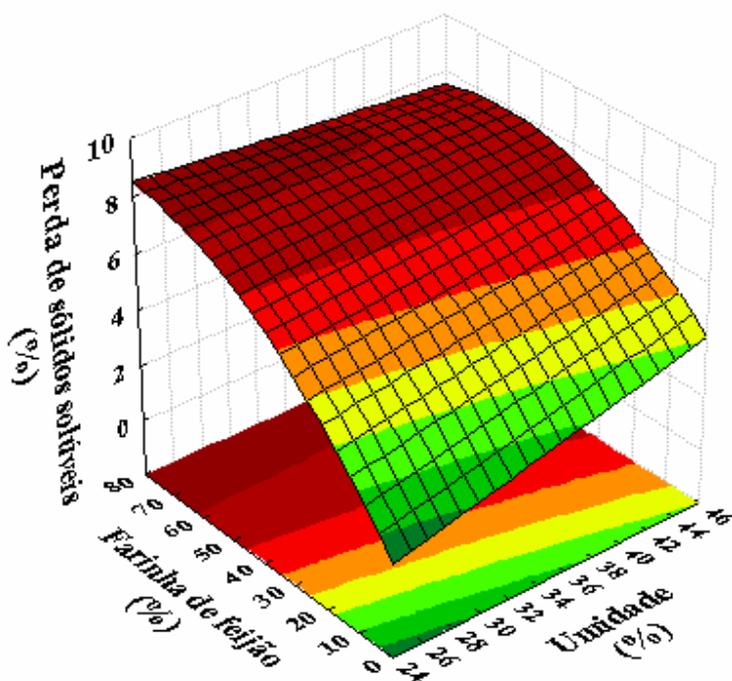


Figura 16. Efeito das variáveis quantitativas farinha de feijão (%) e umidade (%) na perda de sólidos solúveis (%) das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão.

A Figura 17, onde está representada graficamente a tendência da perda de sólidos solúveis em função da proporção de farinha de feijão e temperatura, mostra o efeito de maior magnitude apresentado pela composição das formulações, comportamento semelhante ao verificado na Figura 16.

As menores perdas de sólidos solúveis foram obtidas pelas massas referentes aos tratamentos T₁₃ (3,35 %) e T₁ (3,79 %) (Tabela 27), que possuem 6,36 % e 20 %, respectivamente, de farinha de feijão e foram processadas a 80 °C e 70 °C.

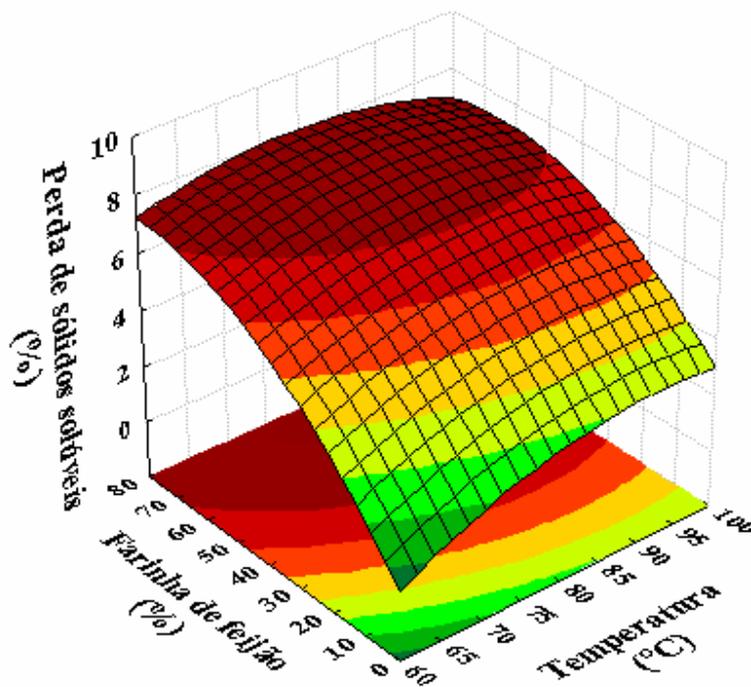


Figura 17. Efeito das variáveis quantitativas farinha de feijão (%) e temperatura (°C) na perda de sólidos solúveis (%) das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão.

Na elaboração de massas sem glúten, além de se explorar as propriedades intrínsecas de cada matéria-prima, a fim de formar uma estrutura semelhante a do glúten, uma alternativa bastante estudada na redução da perda de sólidos solúveis na água de cozimento é o uso de emulsificantes, como realizado no presente estudo.

Ciacco e Chang (1986) afirmam que os monoglicerídeos quando adicionados à farinha interagem com o amido, neutralizando a sua carga superficial, e conseqüentemente, não ocorre repulsão entre os grânulos, o que facilita a extrusão e faz com que o produto tenha uma superfície mais lisa e haja menor perda de sólidos solúveis durante o cozimento.

Nabeshima et al. (2003) obtiveram massas alimentícias de farinha de arroz por extrusão termoplástica, com perdas de sólidos solúveis de 5,22 a 6,95 %, utilizando somente o emulsificante estearoil lactil lactato de sódio. Fazendo uso do emulsificante monoglicerídeo destilado ($0,25 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$) as massas sem glúten apresentaram 2,28 % de perda de sólidos, o que correspondeu a 71 % a menos que a massa controle, que não sofreu adição de emulsificantes.

4.1.2 Acidez alcoólica

De acordo com o preconizado pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA (BRASIL, 2000), massas alimentícias secas e úmidas devem apresentar um teor máximo de 5 mL NaOH 1 N.100g⁻¹ de acidez, e uma variação além desse limite deve ser considerada como um sinal de alarme sob o ponto de vista sanitário (FERREIRA, 2002). Entretanto, à medida que se substitui a farinha de trigo por outro tipo de farinha, existe a tendência do valor da acidez alcoólica do produto ir aumentando, proporcionalmente ao aumento da substituição (CASAGRANDE et al., 1999).

Observa-se na Tabela 6 que a maior parte das massas alimentícias pré-cozidas elaboradas com até 40 % de farinha de feijão preto sem casca apresentaram valores dentro dos preconizados pela legislação brasileira, e considerando-se as matérias-primas utilizadas, pode-se dizer que a acidez alcoólica das massas à base de arroz e feijão é aceitável.

A acidez alcoólica para os melhores tratamentos escolhidos, referentes às massas alimentícias T₁ (20 % de farinha de feijão), T₁₃ (6,36 % de farinha de feijão) e T₁₇ (40 % de farinha de feijão) foi respectivamente de 3,13 %, 2,94 % e 5,31 %. As massas controle apresentaram 3,38 % (trigo) e 2,13 % (arroz) de acidez alcoólica.

Para Leitão et al. (1990), a origem da acidez na massa deve ser considerada de natureza enzimática, isto é, provocada pela ação de enzimas sobre os carboidratos, que representam os constituintes mais importantes do ponto de vista quantitativo da matéria-prima empregada. A ação enzimática encontra seu ambiente mais propício nas várias fases de processamento, particularmente na operação de secagem, pois, segundo Casagrandi et al. (1999) existe a possibilidade de haver umidade residual interna elevada, embora a umidade média do produto esteja dentro dos parâmetros normais. Dessa forma, quanto maior o teor de umidade presente nas amostras, maior o favorecimento da ação de enzimas que provocam o aumento da acidez. Portanto, o teste de acidez complementa o teste de umidade na avaliação da eficiência da secagem e conseqüentemente na qualidade das massas alimentícias.

A temperatura utilizada durante a secagem das massas também é um fator de grande importância e pode afetar a acidez alcoólica, assim como verificado no estudo realizado por Ormenese et al. (1998). Estes autores relataram que o menor grau de acidez alcoólico foi alcançado por massas alimentícias que foram submetidas a processos de alta secagem inicial, assim como no estágio final, quando comparados aos processos convencionais de secagem. Estes resultados corroboram com os relatos de Hummel (1966), que afirma que quanto mais lenta for a secagem, principalmente na fase inicial do processo, maior será o desenvolvimento da acidez.

Segundo Leitão et al. (1990), durante a operação de processamento, ocorre variação considerável de acidez entre a matéria-prima e o produto pronto, e, mesmo que o processamento seja conduzido com perfeição, essa diferença não deve ultrapassar 10 % do valor de acidez inicial.

Na Tabela 12 estão dispostos os resultados do teste F, coeficientes de regressão e suas respectivas probabilidades. Observa-se que o coeficiente de determinação foi alto (0,86860), podendo o modelo ser considerado preditivo, pois explica 87 % da variação total da acidez alcoólica em torno da média e 13 % atribui-se aos resíduos.

Através da análise da Tabela 12, verifica-se ainda, que o intercepto foi altamente significativo ($P < 0,001$), o que demonstra que o ponto central foi escolhido adequadamente. Não foi evidenciada falta de ajuste do modelo aos dados experimentais, pois a variação devido à falta de ajuste não é estatisticamente significativa ($P > 0,05$).

Apenas as variáveis quadrática da umidade ($P < 0,01$) e linear do percentual de farinha de feijão ($P < 0,01$) contribuíram para a variação do ajuste do modelo utilizado aos valores observados, apresentando efeito negativo e positivo, respectivamente, proporcionando, então, aumento na acidez alcoólica.

Tabela 12. Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada à acidez alcoólica (%) das massas alimentícias pré-cozidas de farinha mista de arroz e feijão, em função da umidade, temperatura e percentual de farinha de feijão.

Fator	Teste F	Coeficiente de Regressão	P
Intercepto	--	5,512397	8,40E-07***
X ₁	1,39E+00	1,46E-01	2,91E-01 ^{n.s.}
X ₁ ²	3,67E+01	-7,31E-01	1,77E-03**
X ₂	1,11E+00	-1,30E-01	3,41E-01 ^{n.s.}
X ₂ ²	5,65E-01	-9,07E-02	4,86E-01 ^{n.s.}
X ₃	9,36E+01	1,20E+00	2,00E-04**
X ₃ ²	1,69E+00	-1,57E-01	2,50E-01 ^{n.s.}
X ₁ X ₂	1,13E+00	-1,72E-01	3,37E-01 ^{n.s.}
X ₁ X ₃	9,30E-03	-1,56E-02	9,27E-01 ^{n.s.}
X ₂ X ₃	9,30E-01	1,56E-01	3,79E-01 ^{n.s.}
Falta de ajuste	3,10E+00	--	1,20E-01 ^{n.s.}
R²		0,86860	

X₁: Umidade (%).

X₂: Temperatura (°C).

X₃: Farinha de feijão (%) na mistura com arroz polido.

-- Não determinado.

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

** = Significativo ao nível de 1 % de probabilidade.

A equação do modelo matemático proposto para as variáveis independentes codificadas (equação 15) foi desenvolvida utilizando somente os coeficientes de regressão estatisticamente significativos ao nível de 95 a 99,9 % de confiança, e fica restrita como:

$$\text{Acidez Alcoólica} = 5,51 - 0,73X_1^2 + 1,20X_3 \quad (15)$$

Na Figura 18 está representado o efeito das variáveis quantitativas percentual de farinha de feijão e umidade na acidez alcoólica. Apesar da umidade produzir um efeito significativo sobre a acidez alcoólica, a variável formulação apresentou um efeito linear maior.

Nota-se que, para a maior parte das amostras submetidas ao teste de cozimento, o grau de acidez alcoólica aumenta conforme se eleva o percentual de farinha de feijão nas massas alimentícias, e a umidade se encontra em nível intermediário (35 %).

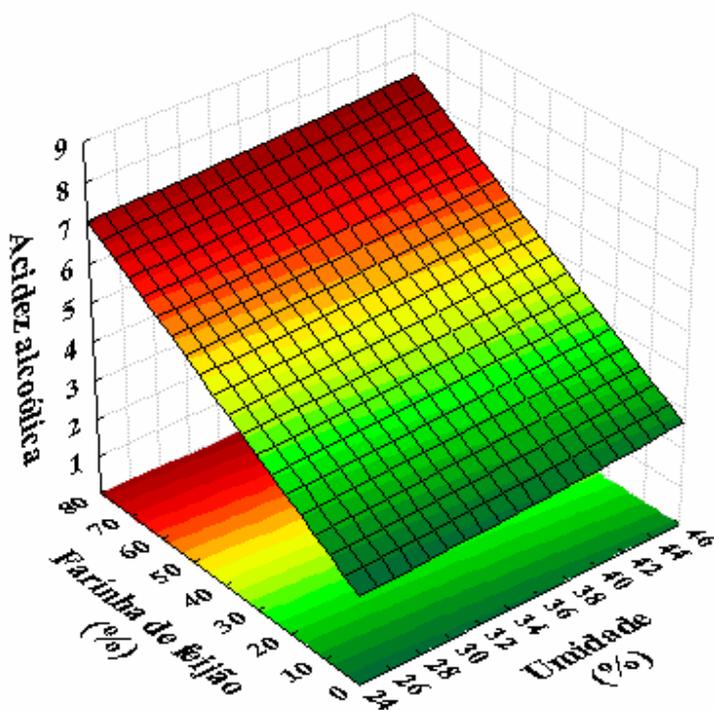


Figura 18. Efeito das variáveis quantitativas farinha de feijão (%) e umidade (%) na acidez alcoólica das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão.

Analisando a Tabela 6, onde se encontram os resultados dos dados experimentais, verifica-se que o maior grau de acidez alcoólica (8,00 %) foi obtido pela massa alimentícia T₁₄, elaborada com 35 % de umidade, processada a 80 °C e com 73,64 % de farinha de feijão preto sem casca em sua formulação. Já a massa T₇, com 40 % de umidade, 20 % de farinha de feijão preto sem casca e processada a 90 °C, apresentou o menor acidez alcoólica (2,69 %).

Segundo Leitão et al. (1990), a qualidade da massa depende das características de suas matérias-primas e das condições de secagem, sendo a etapa de secagem a que exige maior controle durante o processo de fabricação, uma vez que pode afetar a preservação e a qualidade do processo.

No presente estudo, utilizou-se a secagem convencional, em que as massas alimentícias recém-extrusadas foram submetidas a 50 °C, com elevada umidade relativa, durante 1 hora, e, em seguida, as mesmas foram submetidas à umidade relativa mais baixa, durante 15 minutos, até a sua temperatura estabelecer equilíbrio com o ambiente. Com este modelo de secagem, o valor médio de grau de acidez alcoólico obtido foi 4,85, similar aos resultados encontrados por Ormenese et al. (1998), cuja média foi 4,5, mas superior à média relatada no estudo de Silva (2007), que fora de 2,33. As diferenças observadas podem ser devido às matérias-primas utilizadas em cada um dos estudos.

4.2 Caracterização Química das Matérias-Primas e Massas Alimentícias Pré-Cozidas

4.2.1 Composição centesimal

Os resultados referentes à composição centesimal da farinha de arroz, farinha de feijão e dos melhores tratamentos de massas alimentícias à base de arroz polido e feijão, em base seca, estão dispostos na Tabela 13.

As massas alimentícias pré-cozidas foram selecionadas para as análises de composição centesimal com base nos testes de qualidade das massas.

Tabela 13. Composição centesimal das farinhas cruas de arroz branco e feijão preto sem casca e dos melhores tratamentos de massa alimentícia pré-cozida (g.100g⁻¹, em base seca).

Composição (%)	Farinha de Arroz Branco	Farinha de Feijão Preto sem Casca	Tratamentos		
			T ₁	T ₁₃	T ₁₇
Umidade	9,77	7,17	10,23	10,12	9,64
Proteínas*	6,96	21,19	9,94	8,06	12,31
Extrato Etéreo	0,72	2,36	0,25	0,29	0,72
Cinzas	0,45	2,88	3,07	3,10	3,07
Fibra Bruta	0,37	1,72	0,27	0,30	0,65
Carboidratos Totais**	81,73	64,68	76,24	78,13	73,61
Valor Calórico (Kcal.100g⁻¹)	361,24	364,72	346,97	347,29	350,16

* Proteínas (Nitrogênio total x Fator de conversão). O fator de conversão de nitrogênio utilizado foi 5,95 para arroz e 6,25 para farinha de feijão e massas alimentícias (T₁, T₁₃ e T₁₇).

** Carboidratos totais não incluem a fração fibra alimentar (100 – (umidade + proteínas + extrato etéreo + cinzas + fibra bruta)).

T₁: Tratamento 1 – 30 % umidade – 70 °C – 20 % farinha de feijão na mistura com arroz polido.

T₁₃: Tratamento 13 – 35 % umidade – 80 °C – 6,36 % farinha de feijão na mistura com arroz polido.

T₁₇: Tratamento 17 – 35 % umidade – 80 °C – 40 % farinha de feijão na mistura com arroz polido.

As matérias-primas farinha de arroz branco polido e farinha de feijão preto sem casca apresentaram 9,77 % e 7,17 % de umidade, respectivamente. Segundo Leitão et al. (1990), farinhas acima de 14 % de umidade podem apresentar problemas quanto ao armazenamento e tendência à formação de grumos, o que pode dificultar o início do processo de elaboração das massas. Tendo em vista os resultados encontrados, pode-se dizer que as matérias-primas apresentaram umidade adequada ao processamento.

Em relação à umidade das massas alimentícias, observa-se que todas as amostras atendem à legislação brasileira, que estabelece teor máximo de 13 % para este tipo de produto (ANVISA, 2000).

De modo geral, analisando a Tabela 13, nota-se que a farinha de feijão se destacou nas frações de proteína, extrato etéreo, fibra bruta, e no teor de cinzas. Já a farinha de arroz polido, por ser constituída basicamente por endosperma amiláceo, apresentou em sua composição alto teor de carboidratos. As massas alimentícias T₁ (20 % de farinha de feijão) e T₁₃ (6,36 % de farinha de feijão) apresentaram composição similar, exceto para o teor de proteína, em que T₁ obteve teor mais elevado. Já a massa T₁₇, por conter maior teor de farinha de feijão preto sem casca em sua composição (40%), sobressaiu dentre as demais no teor de proteínas e lipídeos.

No presente estudo, o teor de proteína observado na farinha de arroz foi 6,96 %, próximo aos 6,61 % verificados por Vieira et al. (2008), que utilizaram fator de conversão do teor de nitrogênio em proteína igual a 5,95, e, sendo inferior aos 8,13 % obtidos por Ilo, Liu e Berghofer (1999) que fizeram uso do fator de conversão igual a 6,25.

Segundo Esteves (2000), o conteúdo de proteínas do feijão, em base seca, situa-se entre 22 e 26 %. Antunes et al. (1995) encontraram teor entre 23,37 e 25,77 % de proteína nas diferentes cultivares de feijão analisadas, e a Embrapa Arroz e Feijão (2009), em seus comunicados, cita o teor médio de 22 % deste macronutriente em feijões. Valor próximo a estes foi encontrado no presente trabalho para farinha de feijão preto sem casca (Tabela 13).

Pereira e Costa (2002) obtiveram 19,7 % de proteína para o feijão preto sem casca, teor inferior ao encontrado no presente estudo, que fora de 21,19 % para a mesma variedade de leguminosa. Ainda segundo estes autores, a variação encontrada nos diversos trabalhos realizados a respeito do teor protéico de feijão pode ser decorrente da diferença das cultivares estudadas, assim como, da diferença nas condições de plantio e/ou armazenamento ou da variabilidade ao se descascar o feijão, e também sugerem a existência de variação no teor protéico entre feijão inteiro e feijão sem casca.

Joseph e Swanson (1993) afirmam que o arroz quando é consumido juntamente com leguminosas resulta em proteína com melhor qualidade nutricional, capaz de atender às necessidades de aminoácidos de indivíduos de todas as idades, exceto crianças de até um ano de idade. E, para Sgarbieri (1996), o valor biológico da mistura é significativamente superior ao de qualquer um dos dois em separado. Essa melhora nutricional ocorre porque com a mistura os níveis de aminoácidos limitantes na proteína tanto do cereal quanto da leguminosa são corrigidos, conforme mencionam Young e Pellett (1994).

No que se refere à proteína, observou-se que a combinação entre a farinha de feijão preto sem casca e a farinha de arroz polido resultou em massas alimentícias com teor superior ao da farinha de arroz polido, o que mostra a importante contribuição da adição de farinha de feijão na elaboração do produto.

De acordo com El-Dash (1982), geralmente o processo de extrusão aumenta a digestibilidade das proteínas, especialmente pela inativação de fatores antinutricionais e sua desnaturação. Desse modo, as proteínas extrusadas são mais susceptíveis ao ataque de enzimas proteolíticas (ASP e BJORCK, 1989).

O conteúdo de lipídeos do arroz polido é baixo, pois a maior parte deste componente se encontra nas camadas periféricas dos grãos, sendo, portanto, perdidas no processo de polimento. Apesar dos baixos teores de lipídeos no arroz, de acordo com Taira (1995) e Zhou et al. (2003), este cereal é rico em ácidos graxos insaturados, como oléico e linoléico.

A Tabela 13 mostra que a farinha de arroz apresentou 0,72 % de extrato etéreo, valor próximo àqueles reportados por Ilo, Liu e Berghofer (1999) e Murthy, Rey e Belon (2007), que foram 0,77 % e 0,80 %, respectivamente, e superior aos 0,62 % encontrados por Mendonça (2005) e aos 0,63 % relatados por Nabeshima, Hashimoto e El-Dash (2003).

Em termos de lipídeos, para feijão preto cru, as tabelas de composição de alimentos brasileiras descrevem valores de 1,2 % (NEPA, 2006) e 1,32 % (USP, 2008). Dados da Embrapa (2009) mostram teor de 1,6 % e Antunes et al. (1995) verificaram teor de extrato etéreo variando de 1,25 % a 2,12 %, nas diversas cultivares estudadas. A Tabela 6 mostra que a farinha de feijão preto sem casca apresentou 2,36 % de extrato etéreo, valor superior aos dados acima citados.

Observou-se que as massas alimentícias T_1 e T_{13}^6 apresentaram teor semelhante de extrato etéreo entre si, em média 0,27 %, e T_{17}^6 obteve conteúdo lipídico aproximadamente 2,7 vezes mais elevado que T_1 e T_{13}^6 . Entretanto, verifica-se que as massas T_1 e T_{13}^6 apresentaram teor inferior à farinha de arroz branco polido, matéria-prima com menor teor deste componente, o que indica a ocorrência de perda durante o processo de extrusão.

As melhores massas alimentícias pré-cozidas elaboradas por Silva (2007) com 40 % de milho e 60 % de farinha de arroz integral, e 13,20 % de farinha de milho e 86,80 % de farinha de arroz integral apresentaram 1,8 % e 2,3 % de extrato etéreo, respectivamente, sendo, portanto, superiores aos teores descritos na Tabela 13 para as massas à base de arroz e feijão.

O conteúdo de cinzas é um fator de extrema importância na qualidade tanto da matéria-prima quanto do produto final. Em material farináceo, de acordo com Mitchell e Arêas (1992), quanto maior é o seu teor, pior será a qualidade do produto final quanto à coloração e ao cozimento.

O teor de cinzas encontrado para farinha de arroz (Tabela 13) se aproxima dos valores observados por Vieira et al. (2008), que fora 0,42 %, Ilo, Liu e Berghofer (1999), que obtiveram 0,47 % e Nabeshima, Hashimoto e El-Dash (2003), que encontraram teor de 0,49 %.

Os resultados obtidos por Antunes et al. (1995) para o teor de cinzas nas quatro variedades de feijão estudadas ficaram entre 3,58 % e 4,20 %, sendo então, superiores ao valor encontrado neste estudo (Tabela 13).

A partir da análise da Tabela 13, verifica-se que a farinha de feijão preto sem casca possui conteúdo de cinzas cerca de seis vezes mais elevado que a farinha de arroz. Esse fato é atribuído à maior quantidade de minerais presentes na farinha de feijão em relação à farinha de arroz polido. Entre as massas alimentícias, o teor de cinzas foi similar, em média 3,08 %.

Leitão et al. (1990) relata que a quantidade ideal de cinza das massas alimentícias deve estar entre 0,5 % e 0,7 %, em base seca. Observando a Tabela 13, nota-se que a farinha de feijão preto sem casca apresentou 2,88 % de cinza, contribuindo, portanto, para os altos valores encontrados nas massas alimentícias elaboradas. Silva (2007), afirma que o teor de cinzas é uma característica que está diretamente relacionada à coloração que a massa alimentícia apresenta quando se encontra no estado cru, e menciona que quanto maior o teor de cinzas de um material farináceo, mais escura será a coloração da massa quando cozida.

⁶ T_1 = 30 % umidade – 70 °C – 20 % farinha de feijão na mistura com arroz polido; T_{13} = 35 % umidade – 80 °C – 6,36 % farinha de feijão na mistura com arroz polido; T_{17} = 35 % umidade – 80 °C – 40 % farinha de feijão na mistura com arroz polido.

Observa-se que o valor encontrado para fibra bruta na farinha de arroz polido (Tabela 13) é semelhante ao valor citado por Watt e Merrill, 1975 (0,3 %) e Ensminger et al., 1994 (0,36 %) e inferior ao valor relatado por Mendonça (2005), que fora de 0,74 %.

A farinha de feijão preto sem casca apresentou elevado teor de fibra bruta, quando comparada à farinha de arroz polido, entretanto, o valor encontrado no presente estudo é inferior aos teores mencionados por Londero, Ribeiro e Filho (2008) para os feijões analisados, que foram de 3,42 a 4,30 %. As diferentes proporções de farinha de feijão em substituição à farinha de arroz polido promoveram alterações no teor de fibras dos produtos finais. Assim, a massa alimentícia que apresenta em sua composição maior percentual de farinha de feijão (T₁₇), ou seja, 40 %, obteve teor de fibra bruta mais elevado que as demais.

No tocante ao teor de carboidratos, observa-se que a farinha de arroz branco polido apresentou teor de 81,73 %, similar aos 82,88 % obtidos por Vieira et al. (2008). Resultados semelhantes foram encontrados por Hagenimana, Ding e Fang (2006), Murthy, Rey e Belon (2007) e Godoi, Oswalt e Choudhury (1996).

A farinha de feijão preto sem casca, como mostra a Tabela 13, apresentou 64,68 % de carboidratos. Este resultado corrobora com os teores encontrados por Antunes et al. (1995) para as diferentes variedades analisadas, que foram de 62,48% a 67,42 %. As bases de dados brasileiras citam teor de 58,8 % (NEPA, 2006) e 59,41 % (USP, 2008).

As massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão T₁, T₁₃ e T₁₇⁷ apresentaram teor de carboidratos igual a 76,24 %, 78,13 % e 73,61 %, respectivamente. Os resultados encontrados indicam que o teor de carboidratos das massas foi incrementado a medida em que se aumentou a proporção de farinha de arroz polido.

A Organização Mundial de Saúde (2001) preconiza para indivíduos adultos saudáveis, que exercem atividade moderada, valor calórico total diário de 2000 Kcal. Então, considerando que, após o cozimento as massas aumentam cerca de duas vezes seu tamanho original, pode-se dizer que uma porção de 200 g de massa alimentícia cozida, supra, em média, 17 % das recomendações diárias de energia.

4.2.2 Composição em minerais

A composição em minerais (mg.100g⁻¹, em base seca) das matérias-primas utilizadas e das massas alimentícias pré-cozidas à base de farinha de arroz branco polido e farinha de feijão preto descascado está apresentada na Tabela 14.

⁷ T₁ = 30 % umidade – 70 °C – 20 % farinha de feijão na mistura com arroz polido; T₁₃ = 35% umidade – 80 °C – 6,36 % farinha de feijão na mistura com arroz polido; T₁₇ = 35 % umidade – 80 °C – 40 % farinha de feijão na mistura com arroz polido.

Tabela 14. Composição em minerais das farinhas cruas de arroz branco e feijão preto sem casca e dos melhores tratamentos de massa alimentícia pré-cozida (mg.100g⁻¹, em base seca).

Minerais (mg.100g ⁻¹)	Farinha de Arroz Branco	Farinha de Feijão Preto sem Casca	Tratamentos		
			T ₁	T ₁₃	T ₁₇
Alumínio	0,53	ND	0,67	0,26	0,14
Cádmio	ND	ND	ND	ND	ND
Cálcio	2,46	34,96	37,01	29,81	42,07
Cobre	ND	0,60	1,20	0,21	0,56
Cromo	ND	ND	ND	ND	ND
Ferro	0,06	5,45	2,64	1,96	2,66
Fósforo	98,01	385,80	194,50	153,38	242,34
Magnésio	31,76	153,29	80,52	60,68	103,34
Manganês	0,55	1,45	1,21	0,95	1,37
Molibdênio	ND	ND	ND	ND	ND
Potássio	69,16	1139,22	332,33	177,11	548,19
Selênio	ND	ND	ND	ND	ND
Sódio	ND	ND	753,44	752,20	751,00
Zinco	1,05	2,27	1,84	1,28	1,70

ND: Abaixo do limite de detecção.

T₁: Tratamento 1 – 30 % umidade – 70 °C – 20 % farinha de feijão na mistura com arroz polido.

T₁₃: Tratamento 13 – 35 % umidade – 80 °C – 6,36 % farinha de feijão na mistura com arroz polido.

T₁₇: Tratamento 17 – 35 % umidade – 80 °C – 40 % farinha de feijão na mistura com arroz polido.

Avaliando a Tabela 14, observa-se que os minerais cobre, ferro, fósforo, magnésio, manganês, potássio e zinco destacaram-se, principalmente na farinha de feijão preto descascado. Os demais, cádmio, cromo, molibdênio, selênio e sódio, estavam abaixo do limite de detecção nas matérias-primas e nas massas alimentícias, com exceção do sódio. Pequenas quantidades de cálcio e alumínio foram encontradas nas amostras analisadas.

Verifica-se que a farinha de feijão preto sem casca apresenta alto valor nutricional quando comparada à farinha de arroz branco polido, tendo em vista que os teores de potássio, ferro, zinco, cálcio e fósforo foram consideravelmente superiores.

A Tabela 14 mostra que os teores de cálcio, fósforo, magnésio, manganês e potássio aumentaram linearmente com o aumento das proporções de feijão (6,36 %, 20 % e 40 %) nas massas alimentícias. Estudos realizados por Fernandes et al. (2000) e Maia et al. (2000) também relataram aumento do teor destes minerais, dentre outros, conforme houve incremento do teor de leguminosa nas misturas com arroz polido.

O teor de cálcio nas matérias-primas analisadas foi baixo, considerando a ingestão diária recomendada pelo Institute of Medicine/Food and Nutrition Board (1997), entretanto, é válido salientar que a farinha de feijão apresentou aproximadamente quatorze vezes mais cálcio que a farinha de arroz.

O reduzido teor de cálcio encontrado nas massas alimentícias (Tabela 14) constitui um fator positivo, uma vez que quando o mesmo é oferecido, em quantidades elevadas, juntamente com as grandes refeições (almoço e/ou jantar) ocorre uma diminuição na absorção de minerais traços (DAWSON-HUGHES, SELIGSON e HUGHES, 1986), tais como ferro (ARAÚJO e ARAÚJO, 2002; COOK, DASSENKO e WHITTAKER, 1991; HALLBERG et al., 1991) e zinco (WOOD e ZHENG, 1997).

O teor de fósforo presente nas matérias-primas e nas massas alimentícias elaboradas está disposto na Tabela 14. Através da sua análise, observa-se que a farinha de feijão supera em cerca de quatro vezes o teor da farinha de arroz branco polido.

Em estudo sobre a composição mineral de grãos de arroz integral, parboilizado e branco, Denardin et al. (2004), encontrou para o arroz branco polido teor de fósforo variando de 80,6 a 129,3 mg.100g⁻¹, com média de 104,5 mg.100g⁻¹, valor próximo aos 98,01 mg.100g⁻¹ encontrados no presente estudo.

Na análise de feijão carioca cru, Maldonado e Sammán (2000) encontraram teor médio de 340,13 mg.100g⁻¹ de fósforo. Já o Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação – NEPA (2006) cita teor de 471 mg.100g⁻¹ para o feijão preto cru analisado.

De acordo com a ingestão dietética de referência (Dietary reference intakes – DRI, 1997), as recomendações diárias de fósforo para crianças entre 4 e 8 anos é 500 mg. Assim, as massas T₁ e T₁₇, que têm em sua formulação 20 e 40 % de farinha de feijão preto sem casca, podem suprir, respectivamente, 39 % e 48 % das necessidades diárias deste importante mineral que integra a estrutura de ossos e dentes, além de atuar como co-fator de vários sistemas enzimáticos do metabolismo de carboidratos, lipídeos e proteínas (ANDERSON, 2005). Segundo Knochel (2003) a deficiência de fósforo prejudica o crescimento e pode desencadear a ocorrência de osteomalácia, definida como um defeito na mineralização óssea, fraqueza muscular profunda e dor óssea.

Na Tabela 14 estão apresentados os teores de magnésio das farinhas de arroz e feijão, bem como das massas alimentícias. Observa-se que com o aumento das proporções de feijão houve um aumento linear nos conteúdos de magnésio (de 60,68 a 103,34 mg.100g⁻¹).

De acordo com Anderson (2005) as leguminosas constituem fonte deste mineral. Na tabela brasileira de composição de alimentos elaborada pelo NEPA (2006), o feijão preto cru apresenta 188 mg.100g⁻¹ de magnésio, e o teor relatado para os demais feijões crus variou de 162 a 210 mg.100g⁻¹, valores ligeiramente superiores aos 153,29 mg.100g⁻¹ encontrados no presente estudo. Para arroz polido, tipo 1, cru, este mesmo núcleo de pesquisa encontrou 30 mg.100g⁻¹, valor que corrobora com o disposto na Tabela 14 para farinha de arroz branco polido.

As massas alimentícias T_1^8 e T_{17}^8 , que apresentaram os maiores teores de magnésio podem atender respectivamente, 62 % e 79 % das recomendações (DRI, 1997) para crianças em idade escolar, de 4 a 8 anos (130 mg).

O magnésio está presente em ossos, músculos, tecidos moles e fluidos corpóreos (FRANCESCHINI, PRIORE e EUCLYDES, 2005), e segundo Anderson (2005), é importante para a produção e transferência de energia, as quais são essenciais na síntese de proteínas, na contratilidade muscular e na excitação dos nervos.

Como se observa na Tabela 14, a farinha de feijão preto sem casca obteve o maior teor de manganês, quando comparada as demais amostras analisadas, sendo de $1,45 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$. Ramírez-Cárdenas, Leonel e Costa (2008) estudaram o teor de nutrientes de cinco cultivares de feijão, e o teor de manganês variou de 1,0 a $2,63 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$; as variedades Diamante Negro e Pérola apresentaram $1,51 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ e $1,61 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$, valores similares ao verificado no presente estudo.

Analisando a Tabela 14, observa-se ainda que, assim como para cálcio, fósforo e magnésio, o teor de manganês encontrado nas massas alimentícias aumentou conforme o incremento de farinha de feijão nas formulações.

E, considerando as recomendações diárias (DRI, 2001) para crianças em idade de 4 a 8 anos (1,5 mg), homens (2,3 mg) e mulheres (1,8 mg), as massas alimentícias pré-cozidas por extrusão podem atender para cada grupo, respectivamente, 81 %, 53 % e 67 % (T_1)⁸; 63 %, 41 % e 53 % (T_{13})⁸ e 91 %, 60 % e 76 % (T_{17})⁸ das necessidades deste mineral que está associado à formação de tecidos conjuntivo e esquelético, crescimento, reprodução e metabolismo de aminoácidos, carboidratos e lipídeos, e cujos sinais de deficiência são perda de peso, dermatite e, ocasionalmente, náusea e vômito, alteração na cor do cabelo e crescimento lento de cabelo e pelos (FRANCESCHINI, PRIORE e EUCLYDES, 2005; ANDERSON, 2005).

O potássio presente na farinha de feijão preto descascado ($1139,22 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$) corresponde a aproximadamente dezesseis vezes o teor encontrado na farinha de arroz branco polido ($69,16 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$). Este mineral é o principal cátion do fluido intracelular e está intimamente envolvido na manutenção do equilíbrio hídrico normal e participa da síntese de proteínas, do metabolismo de carboidratos, da regulação da atividade neuromuscular e da função renal (ANDERSON, 2005; WAITZBERG, 2002; FRANCESCHINI, PRIORE e EUCLYDES, 2005).

Denardin et al. (2004) avaliaram nove cultivares de arroz branco polido e para potássio verificaram teor entre $45,90$ e $63,60 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$. O NEPA (2006) relata para o arroz branco teor igual a $62 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ e para o feijão preto cru, $1416 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$. Teores mais elevados foram encontrados por Mendonça (2005) e Silva (2002), para arroz branco, sendo $84,11 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ e $99,62 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$, respectivamente.

As massas alimentícias T_1^8 e T_{17}^8 , com 20 e 40 % de farinha de feijão, que contêm respectivamente $332,33$ e $548,19 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ de potássio, podem suprir 7 % e 12 % da ingestão dietética diária de referência para adultos (4700 mg) (DRI, 2004). Apesar do alto teor de potássio encontrado na farinha de feijão, apenas 24 % das recomendações podem ser supridas com esta matéria-prima.

⁸ $T_1 = 30 \%$ umidade – $70 \text{ }^\circ\text{C}$ – 20 % farinha de feijão na mistura com arroz polido; $T_{13} = 35\%$ umidade – $80 \text{ }^\circ\text{C}$ – 6,36 % farinha de feijão na mistura com arroz polido; $T_{17} = 35 \%$ umidade – $80 \text{ }^\circ\text{C}$ – 40 % farinha de feijão na mistura com arroz polido.

Os macarrões pré-cozidos elaborados com farinha mista de arroz integral e milho por Silva (2007) apresentaram teor inferior de potássio, quando comparados às massas alimentícias à base de arroz e feijão produzidas no presente estudo. No trabalho deste autor, a massa que obteve teor mais alto de potássio (200,81 mg.100g⁻¹) foi a que apresentou em sua composição 87 % de farinha de arroz integral e 13 % de farinha de milho, pois dentre as matérias-primas utilizadas, a farinha de arroz integral apresentou maior riqueza deste mineral (237,44 mg.100g⁻¹).

Os teores de ferro, cobre e zinco para as matérias-primas (arroz e feijão) encontram-se na Tabela 14. Através da sua análise, observa-se que a farinha de feijão supera em cerca de noventa e uma vezes o teor de ferro encontrado na farinha de arroz, e apresenta teores mais expressivos que esta tanto para cobre quanto para zinco.

Ribeiro et al. (2008) avaliaram treze variedades de feijão provenientes de Santa Maria e Pelotas e encontraram teores médios variando de 2,81 a 3,35 mg.100g⁻¹ para zinco e de 0,91 a 1,15 mg.100g⁻¹ para cobre. Estes achados corroboram com o conteúdo mineral de cinco cultivares de feijão analisadas por Ramírez-Cárdenas, Leonel e Costa (2008). Estes autores relataram que os teores de zinco, cobre e ferro apresentaram-se entre 2,51 e 3,56 mg.100g⁻¹, 0,61 e 1,36 mg.100g⁻¹ e 4,81 e 9,16 mg.100g⁻¹, respectivamente. Maldonado e Sammán (2000), para feijão carioca cru, mencionam teor médio de 3,44 mg.100g⁻¹ de zinco, 1,13 mg.100g⁻¹ de cobre e 10,27 mg.100g⁻¹ de ferro. As leguminosas cruas estudadas por Andrade et al. (2004a) obtiveram valores que variaram de 0,56 a 0,99 mg.100g⁻¹ para cobre e de 2,36 a 3,83 mg.100g⁻¹ para zinco. Valores similares aos acima citados foram encontrados no presente estudo para os minerais cobre (0,60 mg.100g⁻¹) e zinco (2,27 mg.100g⁻¹), e teor inferior para ferro (5,45 mg.100g⁻¹).

Com relação ao arroz, Silva (2002), Denardin et al. (2004), Mendonça (2005) e Ascheri, Ascheri e Carvalho (2006) reportaram teores superiores ao encontrado no presente estudo para ferro e zinco.

Analisando a Tabela 14, verifica-se que com o aumento das proporções de feijão nas massas alimentícias, não houve um aumento linear nos teores dos minerais cobre, ferro e zinco. Porém, observou-se que para cobre e zinco, a massa com 20 % de farinha de feijão (T₁) obteve teores mais elevados, o que pode ser justificado pelo uso de temperatura mais branda durante o processo de extrusão. Já para ferro, os teores encontrados para as amostras T₁ (2,64 mg.100g⁻¹) e T₁₇ (2,66 mg.100g⁻¹) foram similares.

Com base nos resultados encontrados, sugere-se que 100 g da massa alimentícia T₁ (que corresponde a 200 g de massa cozida) possa suprir as recomendações diárias de cobre (DRI, 2000) para crianças de 4 a 8 anos e indivíduos adultos (19 a 50 anos), de ambos os sexos. Para os mesmos grupos etários e com a quantidade anteriormente citada, a massa elaborada com 40 % de farinha de feijão (T₁₇), supre as necessidades diárias de crianças (0,44 mg) e atende em 62 % as recomendações para homens e mulheres (0,90 mg).

Anderson (2005) descreveu que o ferro participa no transporte de oxigênio e de gás carbônico do sangue, no processo de respiração celular e na síntese da hemoglobina, processo no qual é essencial a presença do cobre. O cobre atua no funcionamento adequado dos mecanismos de defesa imunológica, na maturação de leucócitos e hemácias, no transporte de ferro, entre outras importantes funções.

Já o zinco, de acordo com Franceschini, Priore e Euclides (2005), atua como componente essencial de enzimas responsáveis pela manutenção da integridade estrutural de proteínas e pela regulação e expressão da informação genética.

Andrade et al. (2004b), na análise de carne bovina e de aves, alimentos considerados fonte de zinco, encontraram para peito de frango e alcatra os seguintes teores médios, 0,76 mg.100g⁻¹ e 2,42 mg.100g⁻¹, respectivamente, e para cobre, 0,47 mg.100g⁻¹ e 0,75 mg.100g⁻¹. Assim, pode-se considerar que as massas alimentícias à base de arroz e feijão possuem teores significativos deste mineral, podendo ser consideradas como fonte alternativa destes fundamentais elementos-traço, mesmo que de menor valor biológico.

Em relação ao teor de sódio, nota-se que para as matérias-primas, farinha de arroz polido e farinha de feijão preto descascado, este mineral apresentou-se abaixo do limite de detecção. Já para as massas extrusadas, foi verificado teor significativo e similar de sódio entre as mesmas, o que indica que o sódio presente é proveniente da quantidade de sal adicionada nas formulações.

Silva (2007) relatou que os macarrões pré-cozidos à base de farinha mista de arroz integral e milho, mesmo após o acréscimo de 2 % de sal nas formulações, apresentou sódio abaixo do limite de detecção, diferente do observado no presente estudo. Entretanto, nos macarrões pré-cozidos por extrusão termoplástica à base de farinha integral de quinoa e farinha de arroz polido, na proporção 60:40, desenvolvidos e analisados por Borges et al. (2003) foi detectado teor de 392,34 mg.100g⁻¹ de sódio para a massa processada a 60 °C e 368,42 mg.100g⁻¹ para a massa extrusada a 77 °C, após a adição de 1 % de sal. A farinha de arroz polido também foi caracterizada, e estes autores reportaram que a mesma obteve 9,27 mg.100g⁻¹ de sódio. Já Silva (2002) e Mendonça (2005) ao caracterizar farinha de arroz observaram teor de sódio de 9,88 mg.100g⁻¹ e 1,65 mg.100g⁻¹, respectivamente.

Muitos estudos indicam o baixo consumo de alimentos ricos em minerais pela população brasileira (JAIME e MONTEIRO, 2005; LOPES et al., 2005; MONDINI e MONTEIRO, 1994; MONTEIRO, MONDINI e COSTA, 2000), o que é preocupante, pois os mesmos são fundamentais para a manutenção das diversas funções metabólicas do organismo, conforme foi demonstrado acima. Desta forma, a ingestão inadequada desses micronutrientes pode potencialmente levar a estados de carência nutricional, sendo conhecidas diversas manifestações patológicas por ela produzidas, e colaborar para o agravamento de doenças crônicas não transmissíveis.

Com base nos resultados apresentados em relação à composição em minerais, verifica-se que as massas alimentícias elaboradas, principalmente, T₁ e T₁₇, com 20 e 40 % de farinha de feijão em sua composição, respectivamente, mostraram conter quantidades significativas de cobre, ferro, fósforo, magnésio, manganês, sódio e zinco, podendo contribuir de modo expressivo à ingestão diária recomendada dos mesmos.

4.2.3 Composição em vitamina B₂

A riboflavina é uma vitamina hidrossolúvel essencial para o metabolismo de carboidratos, aminoácidos e lipídeos, sendo, portanto, importante para a manutenção das funções do organismo humano. Segundo Gallagher (2005) e McCormick (2003) ovos, carnes magras, leite, vegetais folhosos verdes, pães e cereais enriquecidos são os contribuintes mais importantes da dieta.

O teor de riboflavina encontrado nas matérias-primas e nos melhores tratamentos de massa pré-cozida à base de arroz e feijão estão apresentados na Tabela 15.

Tabela 15. Teor de vitamina B₂ (riboflavina) em farinhas cruas de arroz branco e feijão preto sem casca e dos melhores tratamentos de massa alimentícia pré-cozida (mg.100g⁻¹, em base seca).

Vitamina (mg.100g ⁻¹)	Farinha de Arroz Branco	Farinha de Feijão Preto sem Casca	Tratamentos		
			T ₁	T ₁₃	T ₁₇
B ₂	0,09	0,17	0,10	0,09	0,10

T₁: Tratamento 1 – 30 % umidade – 70 °C – 20 % farinha de feijão na mistura com arroz polido.

T₁₃: Tratamento 13 – 35 % umidade – 80 °C – 6,36 % farinha de feijão na mistura com arroz polido.

T₁₇: Tratamento 17 – 35 % umidade – 80 °C – 40 % farinha de feijão na mistura com arroz polido.

Analisando a Tabela 15 observa-se que a farinha de feijão preto sem casca apresentou teor de vitamina B₂ cerca de duas vezes superior ao encontrado na farinha de arroz branco. As massas alimentícias analisadas apresentaram teor semelhante entre si desta vitamina.

Segundo dados apresentados pela Embrapa Arroz e Feijão (2009), o teor de riboflavina no arroz polido foi de 0,01 mg.100g⁻¹ e no feijão 0,19 mg.100g⁻¹, sendo este último semelhante ao teor encontrado no presente estudo para a farinha de feijão preto sem tegumento.

Nos estudos realizados pelo IBGE (1999) e Watt e Merrill (1975) o arroz integral apresentou 0,05 mg.100g⁻¹ e 0,06 mg.100g⁻¹ de riboflavina, respectivamente, e o arroz polido 0,03 mg.100g⁻¹, em ambos estudos.

Juliano e Bechtel (1985) encontraram nas variedades estudadas de 0,04 a 0,14 mg.100g⁻¹ de vitamina B₂ no arroz integral e de 0,02 a 0,06 mg.100g⁻¹ no arroz polido.

Silva (2007) elaborou massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz integral e milho, e na caracterização das suas matérias-primas encontrou 0,04 mg.100g⁻¹ de riboflavina na farinha de arroz integral e 0,05 mg.100g⁻¹ na farinha de milho.

Segundo o levantamento elaborado pelo International Rice Research Institute em trinta variedades de arroz integral, os teores de riboflavina oscilaram entre 0,01 e 0,45 mg.100g⁻¹ (IRRI apud KENNEDY e BURLINGAME, 2003), o que reforça o conceito de que as diferenças varietais são mais relevantes que as condições de cultivo.

Sabe-se que as vitaminas do complexo B são predominantes no arroz quando comparadas ao teor das demais vitaminas. A concentração é maior nas camadas externas do grão, incluindo o germe, e de acordo com Juliano (1993), para riboflavina, aproximadamente 47 % estão presentes no farelo. Dessa forma, o polimento reduz significativamente a concentração desta vitamina, originando as diferenças na composição entre o arroz integral e o polido (WALTER, MARCHEZAN e AVILA, 2008). Entretanto, o teor encontrado de riboflavina na farinha de arroz polido no presente estudo é superior aos valores relatados nos trabalhos supra citados tanto para arroz polido quanto arroz integral.

A riboflavina é estável quando aquecida, mas pode ser prontamente destruída por substâncias alcalinas e exposição à irradiação ultravioleta. Muito pouco da vitamina é destruída durante o cozimento e processamento dos alimentos (GALLAGHER, 2005). Analisando a Tabela 15, nota-se que o teor desta vitamina nas massas processadas por extrusão termoplástica é alto, o que indica a estabilidade da mesma após o tratamento térmico.

A deficiência de riboflavina se manifesta depois de meses de privação da vitamina, e quase invariavelmente ocorre em combinação com a deficiência de outras vitaminas hidrossolúveis. Entre os sintomas iniciais estão a fotofobia (aversão à luz), lacrimejamento, queimação e coceira dos olhos, perda da acuidade visual e sensibilidade bem como queimação nos lábios, boca e língua. Os sintomas mais avançados são queilose (fissura nos lábios), estomatite angular (rachaduras na pele nos cantos da boca), glossite (língua roxa e inchada), crescimento excessivo de capilares ao redor da córnea e neuropatia periférica, que é uma síndrome que produz alterações como perda na sensibilidade e atrofia muscular, dentre outras (GALLAGHER, 2005; McCORMICK, 2003).

A ingestão diária recomendada de riboflavina para indivíduos adultos e crianças está representada na Tabela 16.

Tabela 16. Contribuição das farinhas cruas de arroz branco e feijão preto sem casca e dos melhores tratamentos de massa alimentícia pré-cozida para o aporte diário de vitamina B₂ (riboflavina).

Grupo Etário	DRI (mg.dia⁻¹)	Farinha de Arroz Branco (%)	Farinha de Feijão Preto sem Casca (%)	T₁ (%)	T₁₃ (%)	T₁₇ (%)
Homens (19-50 anos)	1,30	6,92	13,08	7,69	6,92	7,69
Mulheres (19-50 anos)	1,10	8,18	15,45	9,09	8,18	9,09
Crianças (4-8 anos)	0,60	15,00	28,33	16,67	15,00	16,67

DRI – Dietary Reference Intake (Ingestão dietética de referência) – 1998.

T₁: Tratamento 1 – 30 % umidade – 70 °C – 20 % farinha de feijão na mistura com arroz polido.

T₁₃: Tratamento 13 – 35 % umidade – 80 °C – 6,36 % farinha de feijão na mistura com arroz polido.

T₁₇: Tratamento 17 – 35 % umidade – 80 °C – 40 % farinha de feijão na mistura com arroz polido.

A Tabela 16 mostra que 100 g de farinha de feijão preto sem casca atende a 28 % das necessidades diárias recomendadas para crianças e cerca de 14 % para adultos.

Já as massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão T₁ e T₁₇ suprem aproximadamente 17 % das recomendações para crianças, 9 % para mulheres e 8 % para homens, enquanto a massa referente ao tratamento T₁₃ atinge 15 %, 8 % e 7 %, para os mesmos grupos etários, respectivamente. Os resultados encontrados indicam que as massas elaboradas constituem boa fonte complementar de riboflavina, principalmente para crianças.

4.3 Caracterização Microbiológica das Matérias-Primas e Massas Alimentícias Pré-Cozidas

Os resultados dos testes microbiológicos para a farinha de arroz branco polido e farinha de feijão preto sem casca, assim como para as massas alimentícias, sem glúten, extrusadas estão dispostos nos Quadros 9 e 10.

Quadro 9. Resultados das análises microbiológicas para coliformes a 35 °C e a 45 °C, bolores, leveduras, *Bacillus cereus* e Salmonella sp. das matérias-primas.

Análises	Farinha de Feijão Preto sem Casca	Farinha de Arroz Polido	Legislação*
Coliformes a 35 °C (NMP.mL ⁻¹)	<3,0	4,0	Não referenciado
Coliformes a 45 °C (NMP.mL ⁻¹)	<3,0	<3,0	1,0 x 10 ²
Bolores e Leveduras (UFC.mL ⁻¹)	<1,5 x 10 ²	<1,5 x 10 ²	1,0 x 10 ^{3**}
<i>Bacillus cereus</i> (UFC.mL ⁻¹)	<1,0 x 10 ²	<1,0 x 10 ²	3,0 x 10 ³
Salmonella sp. Presença / ausência	Ausente	Ausente	Ausência

* Padrões Microbiológicos para Alimentos – RDC nº 12 de 2001 da ANVISA.

** Resolução CNNPA nº 12 de 1978.

NMP.mL⁻¹: Número mais provável por mL.

UFC.mL⁻¹: Unidades formadoras de colônia por mL.

Quadro 10. Resultados das análises microbiológicas para coliformes a 35 °C e a 45 °C, bolores, leveduras, *Bacillus cereus*, Estafilococos coagulase positiva e Salmonella sp. das massas alimentícias pré-cozidas por extrusão.

Análises	Tratamentos			Legislação*
	T ₁	T ₁₃	T ₁₇	
Coliformes a 35 °C (NMP.mL ⁻¹)	<3,0	<3,0	<3,0	Não referenciado
Coliformes a 45 °C (NMP.mL ⁻¹)	<3,0	<3,0	<3,0	1,0 x 10 ²
Bolores e Leveduras (UFC.mL ⁻¹)	<1,5 x 10 ²	<1,5 x 10 ²	<1,5 x 10 ²	Não referenciado
<i>Bacillus cereus</i> (UFC.mL ⁻¹)	<1,0 x 10 ²	<1,0 x 10 ²	<1,0 x 10 ²	5,0 x 10 ³
Estafilococos coagulase positiva (UFC.mL ⁻¹)	<1,0 x 10 ²	<1,0 x 10 ²	<1,0 x 10 ²	5,0 x 10 ³
Salmonella sp Presença / ausência	Ausente	Ausente	Ausente	Ausência

* Padrões Microbiológicos para Alimentos – RDC nº 12 de 2001 da ANVISA.

T₁: Tratamento 1 – 30 % umidade – 70 °C – 20 % farinha de feijão na mistura com arroz polido.

T₁₃: Tratamento 13 – 35 % umidade – 80 °C – 6,36 % farinha de feijão na mistura com arroz polido.

T₁₇: Tratamento 17 – 35 % umidade – 80 °C – 40 % farinha de feijão na mistura com arroz polido.

NMP.mL⁻¹: Número mais provável por mL.

UFC.mL⁻¹: Unidades formadoras de colônia por mL.

O índice de coliformes totais (a 35 °C) é utilizado para avaliar as condições higiênicas, e a sua presença em alimentos, em alguns casos, pode não ser indicativa de contaminação fecal, porque participam deste grupo bactérias cuja origem direta não é exclusivamente entérica. Esse fato decorre da capacidade de colonização ambiental desses microrganismos, em especial, do solo. Sendo assim, a presença de coliformes a 35 °C pode, também, significar contaminação pós-processamento, limpezas e sanificações deficientes, tratamentos térmicos ineficientes ou multiplicação durante o processamento ou estocagem (LANDGRAF, 1996).

Já o índice de coliformes fecais (a 45 °C) é empregado como indicador de contaminação fecal, ou seja, de condições higiênico-sanitárias deficientes levando-se em conta que a população deste grupo é constituída de uma alta população de *Escherichia coli* (PARDI et al., 1995), que presume uma contaminação causada, por exemplo, por roedores, durante a estocagem, e também pode indicar outros patógenos internos (SIQUEIRA, 1995). Devido a sua baixa capacidade de colonização ambiental, a sua presença em alimentos é de grande importância sanitária, pois seria indicativa da possibilidade de contaminação fecal (LANDGRAF, 1996).

Observando o Quadro 9, verifica-se que as matérias-primas utilizadas atendem à legislação vigente, e levando-se em conta as considerações feitas acima, pode-se dizer que as amostras apresentam condições higiênico-sanitárias satisfatórias, o que aponta para a utilização das farinhas analisadas com segurança enquanto ingredientes.

As massas alimentícias (Quadro 10) também apresentaram boas condições higiênicas e sanitárias, tendo em vista os resultados encontrados para coliformes a 35 °C e coliformes a 45 °C.

Outra observação que pode ser feita é em relação à baixa população de bolores e leveduras encontrada, tanto para as matérias-primas (Quadro 9) quanto para as massas extrusadas (Quadro 10), o que evidencia que o armazenamento das amostras foi realizado adequadamente.

Segundo Schintu et al. (1996), é possível que os bolores causem doenças alimentares, pois determinadas espécies podem produzir micotoxinas na superfície dos alimentos, principalmente quando as condições de armazenamento e conservação são deficientes.

Considerando o controle microbiológico na prevenção das toxinfecções alimentares e contaminações das matérias-primas e alimentos processados, foi avaliada a presença de espécies de *Salmonella* e realizou-se a quantificação de *Bacillus cereus* e Estafilococos coagulase positiva.

As bactérias do gênero *Salmonella* sp. podem estar presentes no solo e contaminar matérias-primas como cereais e grãos, e a pesquisa das mesmas é utilizada no controle da qualidade microbiológica dos alimentos, verificando as condições higiênico-sanitárias de diferentes produtos.

Já o *Bacillus cereus* tem o solo como o seu reservatório natural, entretanto, devido à resistência de seus esporos, pode ser isolado de uma grande variedade de pontos, estando amplamente distribuído na natureza (McELROY, JAYKUS e FOEGEDING, 2000), e por esta razão, contamina facilmente vegetais, cereais, carnes, laticínios e arroz cozido, dentre outros. A contaminação de alimentos por *Bacillus cereus* constitui não somente uma importante causa de deterioração, mas também está associada com a ocorrência de dois tipos de síndrome, devido à ingestão de alimentos contaminados com cepas patogênicas produtoras de toxinas, uma emética, que se caracteriza pela ocorrência de vômitos, outra diarréica (MINNAARD, HUMEN e PÉREZ, 2001; McELROY, JAYKUS e FOEGEDING, 2000).

Com relação aos estafilococos, algumas espécies são capazes de produzir uma enzima extracelular denominada coagulase. A produção desta enzima é muitas vezes associada à capacidade de produção de toxinas por espécies de estafilococos, sendo desta forma um indicador indireto do potencial patogênico do microrganismo (FDA, 2001; LANCETTE e TANINI, 1992). A principal fonte do microrganismo é a cavidade nasal, mas o mesmo pode ser encontrado na pele, mãos e feridas infectadas (BANWART, 1983). Desta forma, o fato de um alimento ser manipulado, já indica uma provável contaminação pelos microrganismos deste gênero.

Analisando os Quadros 9 e 10, observa-se que tanto as farinhas de arroz e feijão quanto as massas alimentícias analisadas apresentaram esterilidade com relação a espécies de *Salmonella*, enquanto *Bacillus cereus* e Estafilococos coagulase positiva encontraram-se dentro dos padrões estabelecidos pela legislação. Dessa forma, estes alimentos podem ser considerados seguros sob o ponto de vista da ocorrência de toxinfecções alimentares.

Avaliando-se os resultados apresentados no Quadro 10, referentes às análises microbiológicas do produto final exigidas pela legislação brasileira, nota-se que todas as massas alimentícias pré-cozidas testadas estão de acordo com os padrões microbiológicos vigentes para este tipo de produto, o que indica que houve condições higiênicas e sanitárias satisfatórias durante e após o processamento e, portanto, é seguro o uso das mesmas nas análises sensoriais.

4.4 Caracterização Física das Matérias-Primas e Massas Alimentícias Pré-Cozidas à Base de Arroz e Feijão

4.4.1 Classificação Granulométrica das Matérias-Primas e Farinhas Mistas

De acordo com Borges et al. (2003) a característica granulométrica da matéria-prima constitui aspecto importante na elaboração de massas alimentícias, pois a distribuição adequada de partículas permite maior uniformidade no produto elaborado. E para Linden e Lorient (1994) o tamanho das partículas da farinha exerce influência direta sobre as características sensoriais, tais como aparência, sabor e textura, e também sobre o tempo de cozimento das massas.

Segundo Ascheri (2007) e Gómez (1997), é desejável que as partículas tenham tamanho e densidade uniforme, a fim de prevenir a segregação durante a mistura e o transporte antes da extrusão. Portanto, a distribuição relativamente homogênea entre as partículas das matérias-primas influencia na obtenção de produtos extrusados com resultados mais satisfatórios.

A importância da uniformidade das partículas também se relaciona com a uniformidade no condicionamento das mesmas, tendo em vista que a variação das partículas e ingredientes diferentes leva a taxas de absorção de água diferentes. Isto é, partículas de menor tamanho absorverão água mais rápido em detrimento das outras, segundo o princípio da difusividade da água. Portanto, a uniformidade no tamanho das partículas dos ingredientes possibilita o cozimento adequado durante a extrusão, prevenindo a dureza ou o cozimento parcial do produto final. Assim, se o tamanho das partículas nas matérias-primas se apresentar muito diferenciado, o produto final poderá conter partículas indesejáveis com diferentes graus de cocção, reduzindo dessa forma, a qualidade do alimento tanto na aparência quanto na palatabilidade (ASCHERI, 2007).

Os resultados da distribuição granulométrica das matérias-primas utilizadas nas formulações bem como dos tratamentos T₁, T₁₃ e T₁₇⁹, que sobressaíram nos testes de cozimento e foram submetidos à análise sensorial estão dispostos na Tabela 17.

A análise dos resultados permite observar que a farinha de arroz branco obteve maior retenção na peneira de abertura de 600 µm (34,45 %) e a farinha de feijão preto sem casca na peneira de abertura de 420 µm (28,05 %).

Nota-se ainda que, de modo geral, as matérias-primas ficaram retidas nas peneiras de 20, 30 e 40 mesh (850, 600 e 420 µm), sendo aproximadamente 82 % para farinha de arroz e 66 % para farinha de feijão preto sem casca, apresentando, portanto, granulometria predominantemente entre 850 e 420 µm, e por isso podem ser consideradas partículas de tamanho grande, segundo Larrea (1999). Os demais percentuais estão distribuídos nas demais peneiras com diferentes aberturas, que variam de 300 a 105 µm, sendo 14 % para a farinha de arroz e 22 % para a farinha de feijão, evidenciando que as matérias-primas tiveram uma distribuição de partículas relativamente homogênea.

De acordo com Borges et al. (2003), a maior uniformidade no tamanho de partículas de farinhas é de extrema importância na elaboração de produtos intermediários por extrusão, como macarrões pré-cozidos, cujo processo exige altas porcentagens de umidade, a fim de gerar menor fricção no extrusor, e conseqüente redução na transformação da estrutura amilácea.

⁹ T₁ = 30 % umidade – 70 °C – 20 % farinha de feijão na mistura com arroz polido; T₁₃ = 35 % umidade – 80 °C – 6,36 % farinha de feijão na mistura com arroz polido; T₁₇ = 35 % umidade – 80 °C – 40 % farinha de feijão na mistura com arroz polido.

Tabela 17. Distribuição granulométrica das matérias-primas e dos melhores tratamentos de massa alimentícia pré-cozida elaborada.

Mesh (Tyler)	Abertura (µm)	Matérias-primas		Tratamentos		
		Farinha de Arroz Branco (% retido)	Farinha de Feijão Preto sem Casca (% retido)	T ₁ (% retido)	T ₁₃ (% retido)	T ₁₇ (% retido)
20	850	24,40	13,85	18,90	16,40	14,30
30	600	34,45	24,55	35,20	33,50	32,80
40	420	23,40	28,05	29,50	30,10	32,10
50	300	7,30	11,90	10,00	12,20	12,40
60	250	2,75	3,80	2,10	3,00	2,80
100	150	1,20	1,20	1,90	2,30	1,50
150	105	3,05	5,25	1,30	1,30	2,40
Base	---	3,45	11,40	1,10	1,20	1,70

T₁: Tratamento 1 – 30 % umidade – 70 °C – 20 % farinha de feijão na mistura com arroz polido.

T₁₃: Tratamento 13 – 35 % umidade – 80 °C – 6,36 % farinha de feijão na mistura com arroz polido.

T₁₇: Tratamento 17 – 35 % umidade – 80 °C – 40 % farinha de feijão na mistura com arroz polido.

As massas alimentícias pré-cozidas alcançaram resultados bastante homogêneos entre suas partículas, com maior retenção nas peneiras com abertura de 850, 600 e 420 µm (20, 30 e 40 mesh) e menor retenção nas demais peneiras, apresentando, portanto, comportamento semelhante às matérias-primas.

Para os três tratamentos, maiores porcentagens de partículas foram retidas na peneira com abertura de 600 µm (30 mesh), sendo cerca de 35 %, 34 % e 33 % para T₁, T₁₃, e T₁₇, respectivamente.

Silva (2007) em seu estudo produziu massas alimentícias à base de farinha mista de arroz integral e milho, e verificou que a massa elaborada com 86,8 % de farinha de arroz apresentou cerca de 55 % de partículas com granulometria ente 250 e 420 µm, perfil granulométrico semelhante ao da farinha de arroz integral utilizada para o desenvolvimento da mesma. Já a massa elaborada com 60 % de farinha de arroz e 40 % de farinha de milho apresentou 81 % de retenção de partículas na granulometria anteriormente citada, o que pode ser atribuído à influência da matéria-prima.

Hemavathy e Bhat (1994) estudaram a utilização de farinhas de arroz com diferentes granulometrias na produção de macarrão do tipo *vermicelli* e encontraram os melhores resultados com farinhas de granulometria média de 138 μm e de 165 μm , pois as massas apresentaram-se firmes e com a 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.

Segundo Sahlström et al. (1993) a qualidade inferior de massas alimentícias elaboradas a partir de farinhas de trigo comum se deve em parte à granulometria mais fina da farinha, que está na faixa de 0 a 150 μm , enquanto a semolina apresenta partículas entre 200 e 400 μm , e é usualmente empregada na produção de macarrões.

Analisando os resultados acima descritos, pode-se dizer que o percentual de farinha retida em cada peneira dependerá de fatores externos como o tipo de moinho utilizado, a abertura da peneira do equipamento e o tipo da matéria-prima, havendo, portanto, influência na qualidade do produto final obtido.

4.4.2 Análise de cor

Segundo Kramer e Twigg (1962), cor é uma característica da luz medida em termos de intensidade e comprimento de onda. Isso surge da presença da luz em intensidades maiores em alguns comprimentos de onda do que em outros.

A formação de cor durante o processo de extrusão proporciona importante informação a respeito do grau do tratamento térmico, e está diretamente relacionada com a composição da formulação (LINKO et al., 1981). Condições severas resultam em produtos mais escuros, com valores de luminosidade menores e aumentos nos valores das coordenadas *a* e *b* (BADRIE e MELLOWES, 1991). De acordo com Sebio (1996), a estabilidade da cor é uma característica de qualidade para alimentos extrusados que são normalmente consumidos diretamente sem um posterior tratamento térmico.

Manoharkumar et al. (1978) descreveram a importância das condições operacionais de extrusão na perda da cor de *grits* de milho. Muitas são as reações que ocorrem durante esse processo da extrusão, e as mais comuns são reações de coloração e degradação não enzimática do pigmento das farinhas.

A cor das massas alimentícias é, sem dúvida, um fator de fundamental importância para a sua comercialização, sendo diretamente influenciada pelas matérias-primas que compõem a sua formulação.

A Tabela 18 traz os resultados obtidos na caracterização física de cor das matérias-primas, massas alimentícias pré-cozidas à base de farinha mista de arroz polido e feijão preto sem casca e dos macarrões controles de trigo e arroz.

Tabela 18. Resultados da caracterização física de cor das matérias-primas, massas alimentícias pré-cozidas e controles.

Tratamentos	X ₁	X ₂	X ₃	L	a	b	ΔE
1	30	70	20	63,12	4,01	16,43	31,62
2	30	70	60	55,77	7,89	18,78	39,91
3	30	90	20	69,09	3,95	14,66	25,72
4	30	90	60	59,30	7,25	16,64	35,78
5	40	70	20	71,46	3,17	12,34	22,39
6	40	70	60	56,60	8,15	18,52	39,15
7	40	90	20	63,28	2,81	16,63	31,34
8	40	90	60	63,74	6,70	16,40	31,74
9	26,59	80	40	65,56	6,18	15,97	29,88
10	43,41	80	40	65,06	3,72	15,35	29,40
11	35	63,18	40	61,50	7,28	17,77	35,67
12	35	96,82	40	63,92	6,17	15,89	31,20
13	35	80	6,36	69,43	3,33	12,83	24,38
14	35	80	73,64	63,53	6,92	16,19	31,88
15	35	80	40	66,71	5,76	15,76	28,71
16	35	80	40	66,07	5,79	15,43	29,08
17	35	80	40	68,00	5,16	15,35	27,29
18	35	80	40	63,08	6,46	17,12	32,57
19	35	80	40	60,78	7,05	17,70	34,93
20	35	80	40	63,88	6,30	16,73	31,68
Controle Trigo*	-	-	-	71,37	4,02	22,19	28,78
Controle Arroz**	-	-	-	75,49	1,67	10,90	17,95
Farinha de Feijão	-	-	-	72,96	4,14	13,88	22,26
Farinha de Arroz	-	-	-	77,51	1,28	9,94	15,74

X₁: Umidade (%).

X₂: Temperatura (°C).

X₃: Farinha de feijão (%) na mistura com arroz polido.

L: Luminosidade ou componente L*.

a: Cromaticidade *a* ou croma *a*.

b: Cromaticidade *b* ou croma *b*.

ΔE: Diferença de cor.

*Massa comercial à base de sêmola de trigo.

**Massa comercial isenta de glúten à base de arroz polido.

4.4.2.1 Luminosidade

A análise de variância (ANOVA) para a luminosidade está representada na Tabela 19. Nota-se que o coeficiente de determinação apresentou um valor muito baixo (0,64477) para que o modelo seja considerado preditivo. Desta forma, como o R^2 foi menor que 0,70, não foram construídos gráficos de superfície de resposta nem gerado o modelo da equação, no entanto, os resultados foram discutidos com a finalidade de delimitar novas áreas de estudo. Neste caso, a discussão foi realizada através de comparação de médias realizada pelo teste de Tukey (Tabela 20).

Tabela 19. Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada à luminosidade das massas alimentícias pré-cozidas de farinha mista de arroz e feijão, em função da umidade, temperatura e percentual de farinha de feijão.

Fator	Teste F	Coefficiente de Regressão	P
Intercepto	--	64,81821	2,49E-08***
X ₁	5,00E-01	5,09E-01	5,11E-01 ^{n.s.}
X ₁ ²	1,11E-01	-2,33E-01	7,53E-01 ^{n.s.}
X ₂	1,62E+00	9,17E-01	2,59E-01 ^{n.s.}
X ₂ ²	2,71E+00	-1,15E+00	1,61E-01 ^{n.s.}
X ₃	1,78E+01	-3,04E+00	8,36E-03**
X ₃ ²	6,63E-02	1,81E-01	8,07E-01 ^{n.s.}
X ₁ X ₂	1,96E+00	-1,32E+00	2,21E-01 ^{n.s.}
X ₁ X ₃	1,33E-01	3,43E-01	7,30E-01 ^{n.s.}
X ₂ X ₃	2,92E+00	1,61E+00	1,48E-01 ^{n.s.}
Falta de ajuste	2,07E+00	--	2,22E-01 ^{n.s.}
R²		0,64477	

X₁: Umidade (%).

X₂: Temperatura (°C).

X₃: Farinha de feijão (%) na mistura com arroz polido.

-- Não determinado.

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

** = Significativo ao nível de 1 % de probabilidade.

*** = Significativo ao nível de 0,1 % de probabilidade.

Tabela 20. Teste de Tukey da luminosidade das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz polido e feijão preto sem casca.

Tratamentos	Luminosidade
1	63,12 ± 0,02 ^j
2	55,77 ± 0,06 ^o
3	69,09 ± 0,07 ^b
4	59,30 ± 0,11 ^m
5	71,46 ± 0,70 ^a
6	56,60 ± 0,08 ⁿ
7	28,51 ± 0,01 ^{ij}
8	63,74 ± 0,07 ^{hi}
9	65,56 ± 0,06 ^f
10	65,06 ± 0,09 ^g
11	61,50 ± 0,10 ^k
12	63,92 ± 0,06 ^h
13	69,43 ± 0,04 ^b
14	63,53 ± 0,26 ^{hij}
15	66,71 ± 0,08 ^d
16	66,07 ± 0,07 ^e
17	68,00 ± 0,06 ^c
18	63,08 ± 0,02 ^j
19	60,78 ± 0,05 ^l
20	63,88 ± 0,05 ^h

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

A luminosidade define a claridade da cor, em que o valor 0 indica cor totalmente preta e o valor 100 totalmente branca. O escurecimento conforme a intensidade pode comprometer a cor dos produtos obtidos por extrusão.

O componente L* das massas alimentícias variou de 55,77 a 71,46 (Tabela 18), sendo que o valor de luminosidade na farinha de feijão e farinha de arroz não extrusada foi de 72,96 e 77,51 (Tabela 18), respectivamente, o que indica que a extrusão promoveu redução da luminosidade das farinhas, isto é, elas se tornaram mais escuras. Entretanto, essa diminuição foi positiva, tendo em vista que o valor médio das massas alimentícias à base de arroz e feijão foi 62,26 e, portanto, similar ao encontrado por Depieri (2004) para pastas alimentícias instantâneas elaboradas com farinha de trigo (61,49) e semolina de trigo durum (65,44).

Dentre os tratamentos escolhidos para a análise sensorial, T₁, com 20 % de farinha de feijão, T₁₃, com 6,36 % de farinha de feijão e T₁₇, com 40 % de farinha de feijão, os resultados para luminosidade foram respectivamente de 63,12, 69,43 e 68,00. Isso mostra que as massas à base de arroz e feijão apresentaram característica de luminosidade semelhante às massas de trigo extrusadas convencionais descritas na literatura, entretanto, os valores obtidos são inferiores às massas comerciais à base de sêmola de trigo (71,37) e arroz polido (75,49) analisadas no presente estudo.

De modo geral, as massas mais claras foram obtidas com baixas proporções de farinha de feijão, até 20 %, e os produtos mais escuros foram obtidos com 60 % de farinha de feijão preto sem casca nas formulações.

Wang et al. (1999a) avaliaram o componente L* das massas alimentícias feitas com farinha de ervilha por extrusão termoplástica e obtiveram valores de 38,77 a 47,80. Nabeshima (2007) desenvolveu massa instantânea de arroz e obteve valores de luminosidade de 53,44 a 61,84, com média de 57,90.

4.4.2.2 Cromaticidade *a*

A cromaticidade *a* mede a intensidade das cores vermelhas (valores positivos) e verdes (valores negativos), e conforme mostra a Tabela 18, os resultados variaram de 2,81 a 8,15. Os melhores tratamentos selecionados apresentaram cromaticidade *a* de 4,01 (T₁), 3,33 (T₁₃) e 5,16 (T₁₇).

Wang et al. (1999a), em estudo com massas alimentícias elaboradas com farinha de ervilha, utilizando extrusor termoplástico de dupla rosca, obtiveram valores maiores ao observado no presente estudo para cromaticidade *a*, encontrando-se entre 9,71 e 11,15. Entretanto, Nabeshima (2007) avaliando as propriedades de cor de massas alimentícias instantâneas sem glúten com farinha de arroz acetilada encontrou valores inferiores de cromaticidade *a*, variando de 0,17 a 3,45.

Analisando os resultados expressos na Tabela 21, verifica-se que o intercepto foi altamente significativo ($P < 0,01$), indicando que o ponto central foi escolhido corretamente. Além disso, o coeficiente de determinação expressou um valor considerado alto (0,88823), explicando 89 % da variação total da cromaticidade *a* em torno da média e 11 % atribui-se aos resíduos.

Não se evidencia 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 21).

Tabela 21. Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada à cromaticidade *a* das massas alimentícias pré-cozidas de farinha mista de arroz e feijão, em função da umidade, temperatura e percentual de farinha de feijão.

Fator	Teste F	Coeficiente de Regressão	P
Intercepto	--	6,088425	3,12E-06***
X ₁	6,92E+00	-4,69E-01	4,65E-02*
X ₁ ²	5,79E+00	-4,18E-01	6,12E-02 ^{n.s.}
X ₂	3,23E+00	-3,21E-01	1,32E-01 ^{n.s.}
X ₂ ²	1,43E+00	2,08E-01	2,85E-01 ^{n.s.}
X ₃	8,23E+01	1,62E+00	2,72E-04***
X ₃ ²	4,24E+00	-3,58E-01	9,45E-02 ^{n.s.}
X ₁ X ₂	3,48E-01	-1,38E-01	5,81E-01 ^{n.s.}
X ₁ X ₃	8,22E-01	2,11E-01	4,06E-01 ^{n.s.}
X ₂ X ₃	8,12E-01	-2,10E-01	4,09E-01 ^{n.s.}
Falta de ajuste	1,67E+00	--	2,93E-01 ^{n.s.}
R²		0,88823	

X₁: Umidade (%).

X₂: Temperatura (°C).

X₃: Farinha de feijão (%) na mistura com arroz polido.

-- Não determinado.

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

* = Significativo ao nível de 5 % de probabilidade.

*** = Significativo ao nível de 0,1 % de probabilidade.

De acordo com a Tabela 21, a cromaticidade *a* foi influenciada estatisticamente pelas variáveis lineares da umidade ($P < 0,05$) e percentual de farinha de feijão ($P < 0,001$), com maior efeito para o fator X₃.

A equação do modelo matemático proposto para as variáveis independentes codificadas (equação 16) foi elaborada usando somente os coeficientes de regressão significativos ao nível de 95 a 99,9 % de confiança, e fica restrita como:

$$\text{Cromaticidade } a = 6,09 - 0,47X_1 + 1,62X_3 \quad (16)$$

A Figura 19 ilustra os efeitos provados pelo percentual de farinha de feijão e umidade na cromaticidade *a* das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão.

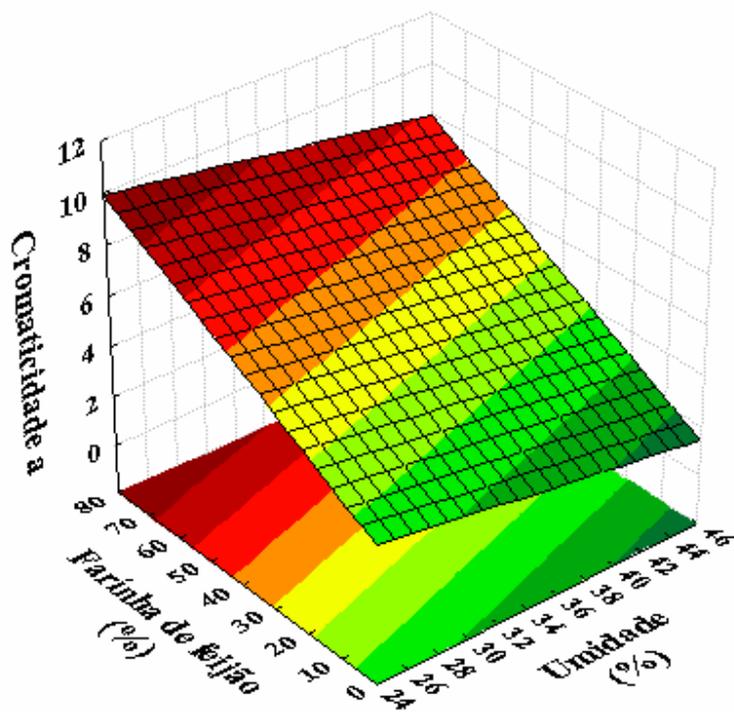


Figura 19. Efeito das variáveis quantitativas farinha de feijão (%) e umidade (%) na cromaticidade *a* das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão.

Observa-se que, apesar da umidade exercer efeito negativo significativo sobre a variável resposta analisada, a proporção de farinha de feijão exerceu efeito de maior magnitude. Assim, as massas com maiores percentuais de farinha de feijão apresentaram tendência à coloração vermelha. De modo geral, os maiores valores de cromaticidade *a* foram obtidos nas condições de umidade baixa e intermediária (30 e 35 %).

Sabe-se que quando os valores da escala *a* estão próximos de 0, a amostra apresenta uma cor próxima à neutralidade. Assim, o efeito acima descrito já era esperado, pois conforme se verifica na Tabela 18, a farinha de feijão preto sem casca apresentou valor cerca de três vezes superior ao verificado para a farinha de arroz branco polido.

4.4.2.3 Cromaticidade *b*

A cromaticidade *b* refere-se à tonalidade amarela. Essa tonalidade encontra-se presente na amostra, em maior intensidade, quanto maior for o valor de *b*.

A intensidade da cor amarela, avaliada através de valores positivos da cromaticidade *b*, variou de 12,34 a 18,78 (Tabela 18).

As massas alimentícias pré-cozidas selecionadas para os testes de aceitação, referentes aos tratamentos T₁, T₁₃ e T₁₇¹⁰, apresentaram os respectivos resultados para cromaticidade *b*: 16,43, 12,83 e 15,35.

De acordo com a Tabela 22, observa-se que apenas a variável linear do percentual de farinha de feijão preto sem tegumento contribuiu para os valores da variável resposta. O coeficiente de determinação encontrado (0,76633) explica aproximadamente 77 % da variação total da cromaticidade *b* em torno da média, e cerca de 23 % atribui-se aos resíduos. Não se evidencia falta de ajuste do modelo aos dados experimentais ($P > 0,05$).

Tabela 22. Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada à cromaticidade *b* das massas alimentícias pré-cozidas de farinha mista de arroz e feijão, em função da umidade, temperatura e percentual de farinha de feijão.

Fator	Teste F	Coefficiente de Regressão	P
Intercepto	--	16,32460	1,63E-07***
X ₁	1,03E+00	-2,68E-01	3,57E-01 ^{n.s.}
X ₁ ²	1,50E-01	-9,97E-02	7,14E-01 ^{n.s.}
X ₂	1,83E+00	-3,57E-01	2,34E-01 ^{n.s.}
X ₂ ²	1,47E+00	3,12E-01	2,79E-01 ^{n.s.}
X ₃	1,95E+01	1,17E+00	6,89E-03**
X ₃ ²	3,91E+00	-5,08E-01	1,05E-01 ^{n.s.}
X ₁ X ₂	4,85E+00	7,60E-01	7,89E-02 ^{n.s.}
X ₁ X ₃	3,42E-01	2,02E-01	5,84E-01 ^{n.s.}
X ₂ X ₃	6,02E+00	-8,47E-01	5,77E-02 ^{n.s.}
Falta de ajuste	1,42E+00	--	3,56E-01 ^{n.s.}
R²		0,76633	

X₁: Umidade (%).

X₂: Temperatura (°C).

X₃: Farinha de feijão (%) na mistura com arroz polido.

-- Não determinado.

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

** = Significativo ao nível de 1 % de probabilidade.

*** = Significativo ao nível de 0,1 % de probabilidade.

¹⁰ T₁ = 30 % umidade – 70 °C – 20 % farinha de feijão na mistura com arroz polido; T₁₃ = 35 % umidade – 80 °C – 6,36 % farinha de feijão na mistura com arroz polido; T₁₇ = 35 % umidade – 80 °C – 40 % farinha de feijão na mistura com arroz polido.

Utilizando somente os coeficientes de regressão significativos ao nível de 95 a 99,9 % de confiança (Tabela 22), foi elaborada a equação do modelo matemático proposto para as variáveis independentes codificadas (equação 17), que fica restrita como:

$$\text{Cromaticidade } b = 16,32 + 1,17X_3 \quad (17)$$

Analisando a Figura 20, que ilustra o efeito das proporções de farinha de feijão preto sem casca na cromaticidade b , evidencia-se que com a elevação do percentual desta matéria-prima nas formulações há um incremento desta variável resposta.

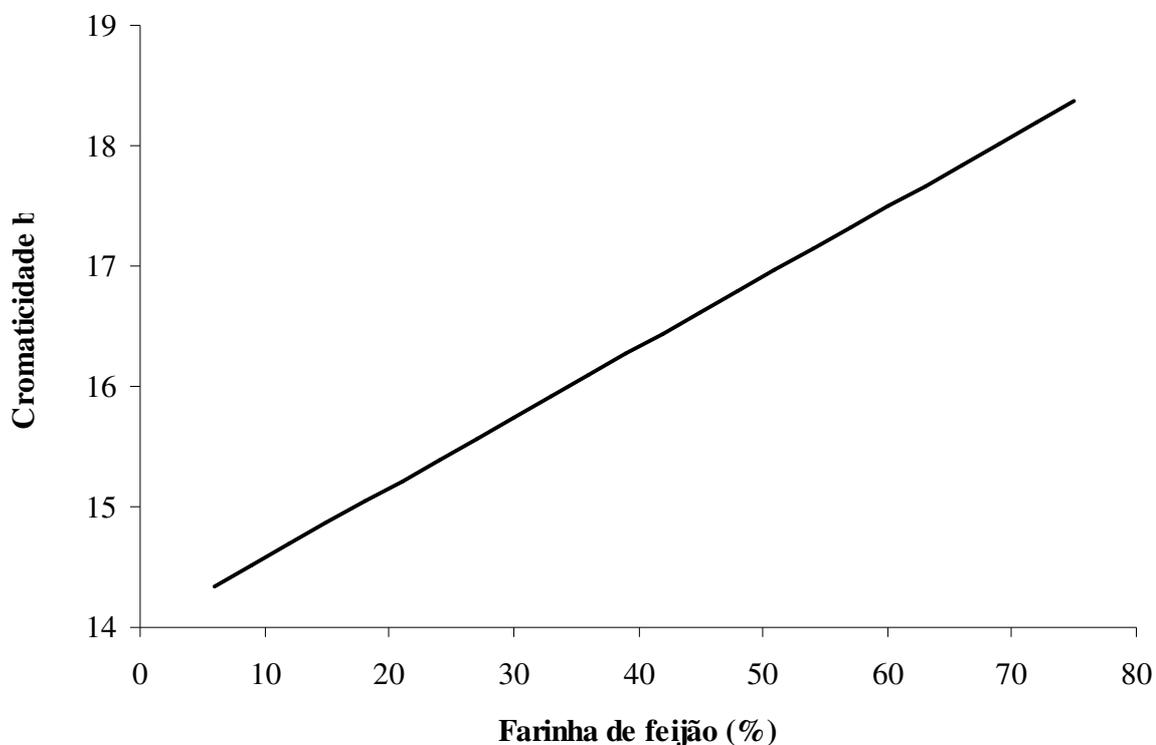


Figura 20. Efeito da variável quantitativa farinha de feijão (%) na cromaticidade b das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão.

Huang, Knight e Goad (2001) afirmam que os produtos à base de farinha sem glúten são menos aceitáveis devido à coloração mais pálida. Para a obtenção de massa alimentícia sem glúten com coloração amarela brilhante, semelhante a da massa de trigo durum, alguns pesquisadores utilizaram corante na formulação, tais como urucum (DUTCOSKY, FUGMANN e WASZCZYNSKYJ, 1996) e o beta-caroteno (ORMENESE, 2002).

Depieri (2004) desenvolveu massas alimentícias instantâneas com farinha de trigo comum que apresentaram valores de cromaticidade b variando de 12,33 a 19,35, com média de 15,98. Já as pastas com semolina de trigo durum obtiveram resultados de 14,84 a 23,03, com valor médio de 19,45.

Chang e Flores (2004) elaboraram massas frescas utilizando farinha de trigo tenro e semolina de trigo durum, que apresentaram, respectivamente, 9,52 e 11,74 de cromaticidade b .

Assim, tendo em vista os resultados acima descritos para massas produzidas com trigo, pode-se dizer que a coloração amarela das massas pré-cozidas à base de arroz polido e feijão preto sem casca desenvolvidas no presente estudo, avaliadas a partir do parâmetro de cromaticidade b , e que apresentaram valor médio de 16,12, foi satisfatória, o que evidencia a importância da adição de farinha de feijão preto sem tegumento nas formulações, pois, a mesma obteve valor de cromaticidade b de 13,88, enquanto para a farinha de arroz o valor encontrado foi de 9,94.

4.4.2.4 Diferença de cor (ΔE)

A diferença de cor, que reflete a influência das variáveis, variou entre 22,39 e 39,91 (Tabela 18). Para T_1 , que tem em sua formulação 20 % de farinha de feijão, a diferença de cor foi de 31,62, enquanto para T_{13} , que possui 6,36 % de farinha de feijão, o valor obtido foi de 24,38. Já T_{17} , que contém 40 % de farinha de feijão, apresentou 27,29 para este parâmetro de cor.

Os resultados encontrados para o teste F da análise de variância, coeficiente de regressão e as respectivas probabilidades estão dispostos na Tabela 23.

Analisando a Tabela 23, nota-se que o intercepto foi altamente significativo ($P < 0,001$), indicando que o ponto central foi escolhido de maneira correta. Não se evidencia falta de ajuste do modelo aos dados experimentais ($P > 0,05$) e o coeficiente de determinação encontrado (0,70854), explica 71 % da variação total da diferença de cor em torno da média e 29 % atribui-se aos resíduos.

Observa-se que apenas a variável linear do percentual de farinha de feijão ($P < 0,01$) contribuiu para os valores de diferença de cor.

Tabela 23. Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada à diferença de cor (ΔE) das massas alimentícias pré-cozidas de farinha mista de arroz e feijão, em função da umidade, temperatura e percentual de farinha de feijão.

Fator	Teste F	Coeficiente de Regressão	P
Intercepto	--	30,65017	1,46E-06***
X ₁	7,67E-01	-6,75E-01	4,21E-01 ^{n.s.}
X ₁ ²	5,50E-05	5,56E-03	9,94E-01 ^{n.s.}
X ₂	2,31E+00	-1,17E+00	1,89E-01 ^{n.s.}
X ₂ ²	3,23E+00	1,35E+00	1,32E-01 ^{n.s.}
X ₃	2,09E+01	3,52E+00	5,99E-03**
X ₃ ²	4,93E-01	-5,27E-01	5,14E-01 ^{n.s.}
X ₁ X ₂	2,06E+00	1,45E+00	2,11E-01 ^{n.s.}
X ₁ X ₃	2,15E-02	-1,48E-01	8,89E-01 ^{n.s.}
X ₂ X ₃	3,28E+00	-1,82E+00	1,30E-01 ^{n.s.}
Falta de ajuste	1,75E+00	--	2,78E-01 ^{n.s.}
R²		0,70854	

X₁: Umidade (%).

X₂: Temperatura (°C).

X₃: Farinha de feijão (%) na mistura com arroz polido.

-- Não determinado.

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

** = Significativo ao nível de 1 % de probabilidade.

*** = Significativo ao nível de 0,1 % de probabilidade.

Por meio da análise de variância e da probabilidade estatística (Tabela 23), somente os coeficientes de regressão significativos ao nível de 95 a 99,9 % de confiança foram selecionados para o desenvolvimento da equação do modelo matemático proposto para as variáveis independentes codificadas (equação 18), que fica restrita como:

$$\Delta E = 30,65 + 3,52X_3 \quad (18)$$

Observando a Figura 21, verifica-se que o efeito linear provocado pelo percentual de farinha de feijão. O incremento nas proporções de farinha feijão preto sem casca leva ao aumento da diferença de cor.

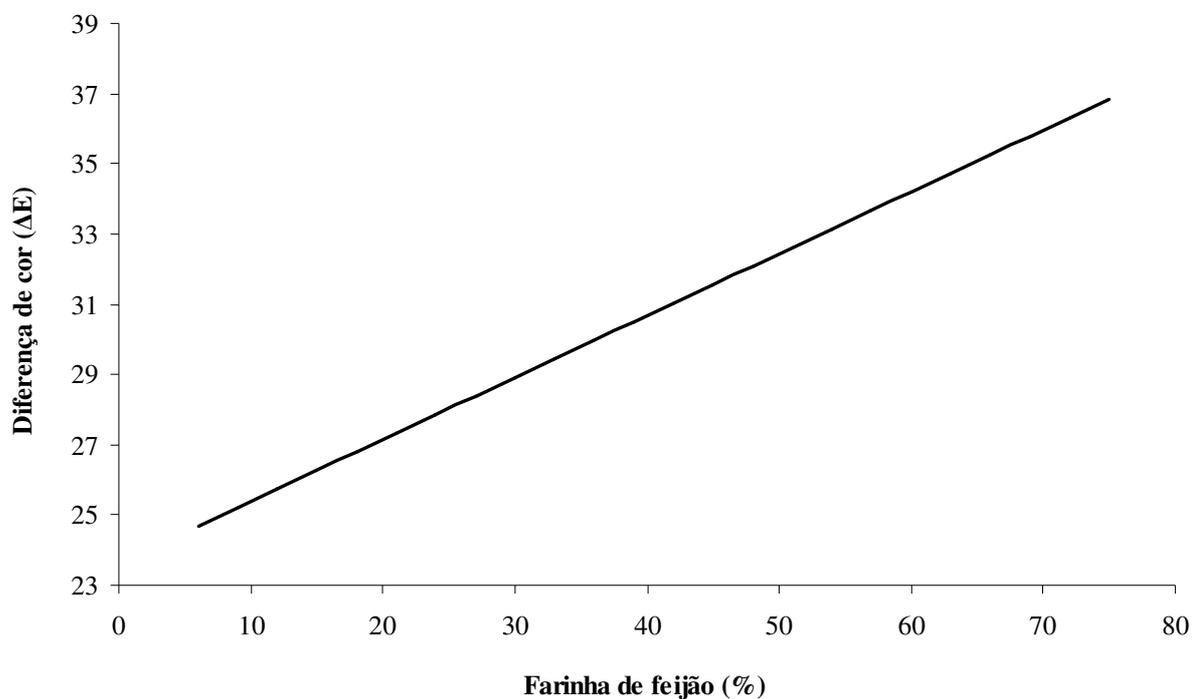


Figura 21. Efeito da variável quantitativa farinha de feijão (%) na diferença de cor (ΔE) das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão.

Alguns autores relataram que a umidade e a temperatura exercem influência na diferença de cor, fato não observado no presente estudo. Borba (2005) verificou que a diferença de cor aumentou com a redução da umidade, independente da variação da temperatura de extrusão. O baixo conteúdo de umidade durante o processamento da farinha de batata-doce favoreceu a ocorrência de reações de escurecimento não enzimático. Segundo Badrie e Mellowes (1991) a elevação da temperatura aumenta a intensidade da cor e altos níveis de umidade resultam em produtos mais claros, pois o aumento da umidade reduz o tempo de residência, havendo, portanto, maior fluidez dentro do extrusor, proporcionando menor escurecimento não enzimático dos produtos extrusados.

Sebio (1996), ao extrusar farinha de inhame observou que a diferença de cor cresce à medida que a temperatura do processo se eleva, independente da rotação da rosca. Quando a temperatura e a rotação estavam em seus menores níveis ocorreram os menores valores de diferença de cor, pois, segundo o autor, esses níveis não favorecem a ocorrência de reações de escurecimento não enzimático.

4.5 Características Tecnológicas Funcionais das Massas Alimentícias Pré-Cozidas à Base de Arroz e Feijão

Borderías e Montero (1988) citam que a propriedade funcional pode ser definida como uma propriedade tecnológica específica que influencia na aparência física e no comportamento de um produto alimentar de modo característico e que resulta da natureza intrínseca físico-química da matéria protéica, mas, em muitos casos, os componentes não protéicos, como o amido, também afetam as propriedades funcionais.

O grânulo de amido natural tem uma capacidade limitada de absorver água fria. Durante o cozimento por extrusão, o amido que apresenta inicialmente uma forma granular, é progressivamente comprimido e transformado em um material denso, sólido e compacto, desaparecendo a estrutura cristalina e granular. As principais propriedades funcionais do amido extrusado quando dispersos em água, são a absorção de água e a solubilidade em água (CHANG et al., 2001).

Jane et al. (1999) mencionam que o conteúdo de amilose e amilopectina afeta grandemente as propriedades funcionais do amido, e a amilopectina por estar relacionada à estrutura cristalina do amido afeta diretamente a gelatinização, retrogradação e as propriedades de pasta do amido.

De acordo com Whalen et al. (1997), as modificações que ocorrem durante o processo de extrusão nos materiais contendo amido, são refletidas pela sua solubilidade e absorção em água, as quais são respostas de produtos como dextrinas, polímeros grandes, amidos intumescidos e entrelaçamentos de polímeros pequenos, formados na transformação de seu amido.

Segundo Mercier e Feillet (1975), o índice de solubilidade em água relaciona-se com a quantidade de sólidos solúveis presentes em uma amostra seca, o que permite verificar o grau de severidade do tratamento térmico, em função da degradação, gelatinização e conseqüente solubilização do amido.

E, para Champ (1994), de acordo com a severidade dos tratamentos térmicos, podem ocorrer modificações nas estruturas dos produtos amiláceos, indicando que em função do cisalhamento ocorrido durante o processo de extrusão, podem ser observados diferentes graus de solubilidade no produto.

Já o índice de absorção de água está relacionado à disponibilidade de grupos hidrofílicos (-OH) em se ligar às moléculas de água e à capacidade de formação de gel das moléculas de amido (COLLONA et al., 1984).

Carvalho, Ascheri e Cal-Vidal (2002) e Borba, Sarmiento e Leonel (2005) afirmam que somente grânulos de amido gelatinizados absorvem água em temperatura ambiente e incham, contudo com o aumento do grau de gelatinização, aumenta a fragmentação do amido e, com isso, diminui a absorção de água. Assim, no caso das massas alimentícias, as mesmas irão absorver maior ou menor quantidade de água segundo o tratamento adotado na extrusão termoplástica.

Na Tabela 24 estão dispostos os resultados obtidos na caracterização das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão, quanto ao índice de solubilidade em água (ISA) e índice de absorção de água (IAA).

Tabela 24. Resultados da caracterização de ISA e IAA das massas alimentícias pré-cozidas e controles.

Tratamentos	X ₁	X ₂	X ₃	ISA (%)	IAA (g gel.g ⁻¹)
1	30	70	20	5,57	3,34
2	30	70	60	8,71	3,75
3	30	90	20	5,23	3,36
4	30	90	60	8,34	3,51
5	40	70	20	6,41	2,54
6	40	70	60	11,20	2,85
7	40	90	20	6,24	2,99
8	40	90	60	9,68	3,16
9	26,59	80	40	7,86	3,75
10	43,41	80	40	7,91	3,14
11	35	63,18	40	7,66	3,04
12	35	96,82	40	7,23	3,40
13	35	80	6,36	4,41	2,90
14	35	80	73,64	11,36	3,09
15	35	80	40	7,45	3,11
16	35	80	40	8,18	2,95
17	35	80	40	7,50	3,06
18	35	80	40	7,21	3,00
19	35	80	40	7,06	3,46
20	35	80	40	7,17	3,32
Controle Trigo*	-	-	-	6,75	1,90
Controle Arroz**	-	-	-	2,87	3,18

X₁: Umidade (%).

X₂: Temperatura (°C).

X₃: Farinha de feijão (%) na mistura com arroz polido.

ISA: Índice de Solubilidade em Água (%).

IAA: Índice de Absorção de Água (g gel.g⁻¹ de matéria seca).

*Massa comercial à base de sêmola de trigo.

**Massa comercial isenta de glúten à base de arroz polido.

4.5.1 Índice de solubilidade em água (ISA)

Na produção de massas alimentícias todos os parâmetros envolvidos no processo de extrusão devem ser considerados e controlados. A taxa de cisalhamento provocada pela rotação do parafuso deve ser tal que a estrutura amilácea permaneça intacta e viável para posterior cocção.

As massas alimentícias pré-cozidas selecionadas para avaliação sensorial apresentaram índice de solubilidade em água de 5,57 % (T₁), 4,41 % (T₁₃) e 7,50 % (T₁₇)¹¹, como mostra a Tabela 24. A massa controle de arroz apresentou valor inferior a todos os tratamentos, enquanto a massa de trigo obteve valor de solubilidade em água pouco superior ao valor médio encontrado para os melhores tratamentos.

Observa-se na Tabela 24 que o maior valor de ISA foi obtido a temperatura de 80 °C, na formulação com 35 % de umidade e 73,64 % de farinha de feijão (T₁₄), enquanto o menor valor foi encontrado na formulação com 35 % de umidade e 6,36 % de farinha de feijão, submetida à temperatura de 80 °C (T₁₃), sendo 11,36 % e 4,41 %, respectivamente. As massas alimentícias pré-cozidas, isentas de glúten, elaboradas por Silva (2007) apresentaram índice de solubilidade de 2,02 a 10,71 %, e, semelhante ao encontrado neste estudo, a massa com maior quantidade de arroz em sua formulação (86,8 %) obteve menor valor para o ISA.

Os resultados da análise de variância (ANOVA) (Tabela 25) aplicados aos resultados de índice de solubilidade em água mostram que os dados experimentais se ajustaram ao modelo quadrático proposto. Evidencia-se que o intercepto foi altamente significativo ($P < 0,001$), demonstrando que o ponto central foi escolhido corretamente.

O coeficiente de determinação (0,94819), indica bom ajuste do modelo aos dados, uma vez que explica 95 % da variação total da variável resposta em torno da média e apenas 5 % é atribuído aos resíduos. A análise dos coeficientes de regressão mostra que apenas a variável linear de umidade ($P \leq 0,01$) e linear de percentual de farinha de feijão na mistura ($P \leq 0,001$) contribuem na variável resposta, ambas com efeito positivo, sendo esta última a que apresentou maior magnitude nos valores de ISA.

¹¹ T₁ = 30 % umidade – 70 °C – 20 % farinha de feijão na mistura com arroz polido; T₁₃ = 35 % umidade – 80 °C – 6,36 % farinha de feijão na mistura com arroz polido; T₁₇ = 35 % umidade – 80 °C – 40 % farinha de feijão na mistura com arroz polido.

Tabela 25. Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada ao índice de solubilidade em água (%) das massas alimentícias pré-cozidas de farinha mista de arroz e feijão, em função da umidade, temperatura e percentual de farinha de feijão.

Fator	Teste F	Coeficiente de Regressão	P
Intercepto	--	7,432180	1,03E-07***
X ₁	1,47E+01	4,21E-01	1,21E-02**
X ₁ ²	1,79E+00	1,43E-01	2,38E-01 ^{n.s.}
X ₂	4,32E+00	-2,28E-01	9,23E-02 ^{n.s.}
X ₂ ²	1,36E-02	-1,25E-02	9,12E-01 ^{n.s.}
X ₃	3,05E+02	1,92E+00	1,13E-05***
X ₃ ²	1,78E+00	1,43E-01	2,40E-01 ^{n.s.}
X ₁ X ₂	7,27E-01	-1,22E-01	4,33E-01 ^{n.s.}
X ₁ X ₃	2,98E+00	2,48E-01	1,45E-01 ^{n.s.}
X ₂ X ₃	1,46E+00	-1,73E-01	2,81E-01 ^{n.s.}
Falta de ajuste	2,63E+00	--	1,56E-01 ^{n.s.}
R²		0,94819	

X₁: Umidade (%).

X₂: Temperatura (%).

X₃: Farinha de feijão (%) na mistura com arroz polido.

-- Não determinado.

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

** = Significativo ao nível de 1 % de probabilidade.

*** = Significativo ao nível de 0,1 % de probabilidade.

Por meio da análise de variância e da probabilidade estatística (Tabela 25), fazendo uso somente dos coeficientes de regressão significativos ao nível de 95 a 99,9 % de confiança, foi elaborada a equação do modelo matemático proposto para as variáveis independentes codificadas (equação 19), que fica restrita como:

$$\text{Índice de Solubilidade em Água} = 7,43 + 0,42X_1 + 1,92X_3 \quad (19)$$

A Figura 22 ilustra o efeito diretamente proporcional do percentual de farinha de feijão e umidade no aumento do valor do ISA. Verifica-se uma tendência à elevação dos valores do índice de solubilidade em água, na medida em que se eleva linearmente o percentual de farinha de feijão nas formulações. A umidade exerceu pouca influência nesta variável.

Resultados semelhantes foram encontrados por Maia et al. (1999) ao analisar mingaus desidratados de arroz e soja. Esses autores observaram que o índice de solubilidade em água aumentou linearmente com o aumento das proporções de soja nos mingaus desidratados, o que indica que além da amilose e amilopectina, a proteína presente na soja influenciou o ISA.

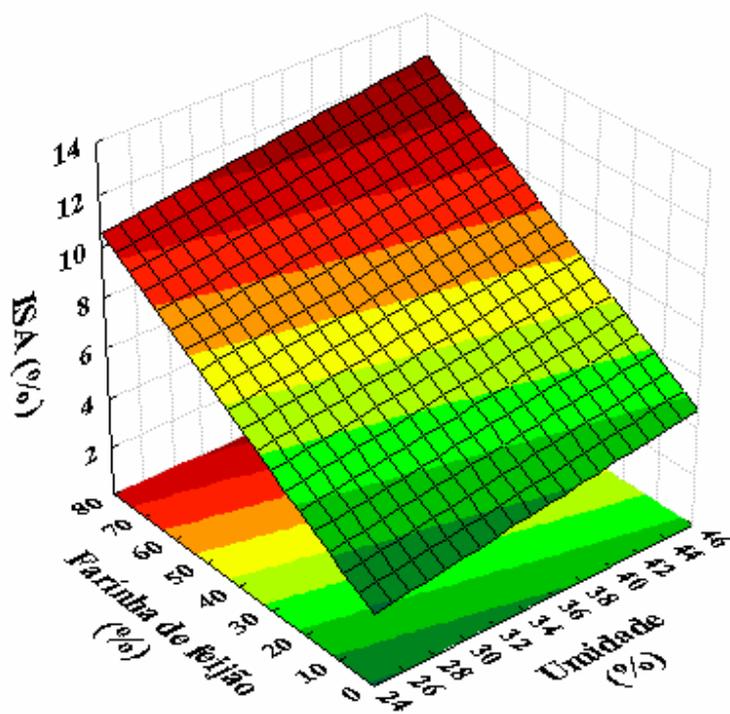


Figura 22. Efeito das variáveis quantitativas farinha de feijão (%) e umidade (%) no índice de solubilidade em água (%) das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão.

De acordo com Collona et al. (1984), o aumento da solubilidade verificado em produtos extrusados é atribuído à dispersão das moléculas de amilose e amilopectina como consequência da gelatinização, quando as condições são mais brandas, como do presente estudo, e da formação de compostos de baixo peso molecular quando as condições são mais drásticas.

Mas, além da fragmentação do amido, o conteúdo protéico das amostras também pode afetar o índice de solubilidade em água. De acordo com Hayakawa e Nakai (1985), não é só a hidrofobicidade que determina a solubilidade da proteína, mas também os grupos $-SH$ estão relacionados com a insolubilização de proteínas de leguminosas. Borderías e Montero (1988) relataram que a solubilidade da proteína depende da proporção dos grupos hidrofóbicos localizados no centro da molécula, e dos hidrofílicos localizados na superfície.

Gujaska e Khan (1991) observaram que a desnaturação e a insolubilização da fração protéica das misturas de milho com diversas frações altamente protéicas de leguminosas desencadeadas pelo aumento da temperatura do extrusor, provocaram redução do ISA.

Entretanto, Chauhan e Bains (1985) mencionaram que o ISA das misturas extrusadas de arroz e soja estudadas, aumentou após a adição de farinha de soja desengordurada.

Ascheri, Ascheri e Carvalho (2006) ao caracterizar extrusados de arroz e bagaço de jaboticaba justificaram a diminuição dos valores de índice de solubilidade em água pelo teor de fibras e proteínas presentes na farinha de bagaço de jaboticaba, pois, de acordo com estes autores, as fibras podem sofrer interações com o amido, reduzindo a solubilidade, e as proteínas, em altas temperaturas, como as utilizadas neste trabalho (100 a 200 °C), favorecem a produção de $-NH_2$ terminal pela desnaturação que, reagindo com os $-OH$ livres originados pela dextrinização do material amiláceo, propiciam a formação de complexos não solúveis.

Desta forma, considerando-se que as matérias-primas utilizadas na elaboração das massas foram o arroz e o feijão, e as brandas condições de processamento, é possível que, além do amido, as proteínas estejam afetando o seu índice de solubilidade. O aumento do ISA se deve, provavelmente, à fragmentação, do amido gelatinizado (dextrinização), que proporciona um aumento da quantidade de sólidos solúveis presentes, como mencionam Wang et al. (2008), assim como à desnaturação protéica, que pode resultar em dissociação e desdobramento das moléculas, chegando-se à superfície as ligações peptídicas, e de cadeias laterais polares antes inativas, que levam ao aumento da solubilidade.

Alguns trabalhos realizados com massas alimentícias pré-cozidas por extrusão termoplástica caracterizaram seus produtos quanto à solubilidade em água. Silva (2007) ao determinar o índice de solubilidade em água em macarrão pré-cozido à base de farinha de arroz integral e milho, relatou que somente a variável linear percentual de farinha de milho foi significativa ao nível de 5 % de probabilidade ($R^2 = 0,72$). Entretanto, para os macarrões à base de farinha mista de quinoa e arroz polido elaborados por Borges (2002), as variáveis temperatura e formulação foram significativas, porém o coeficiente de determinação encontrado foi baixo ($R^2 = 0,50207$), indicando que este modelo não pode ser considerado preditivo.

4.5.2 Índice de absorção de água (IAA)

O índice de absorção está relacionado à capacidade de absorção e retenção de água pelos constituintes da matéria-prima. Durante a extrusão, os grânulos de amido sofrem gelatinização e as proteínas são desnaturadas. Os grânulos de amido gelatinizado absorvem mais água que no estado natural e as proteínas, devido a mudanças conformacionais e estruturais, têm seu balanço hidrofílico/hidrofóbico alterado, podendo contribuir para o aumento ou diminuição do IAA (GOMEZ e AGUILERA, 1983). Ascheri (2007) cita que a capacidade de absorção do material amiláceo 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 o índice de absorção diminua.

Para massas alimentícias, em especial as pré-cozidas, segundo Silva (2007), este índice é de extrema importância, pois reflete a capacidade de aumento de peso do produto e conseqüentemente, seu rendimento.

Os melhores tratamentos, T_1 , T_{13} e T_{17} ¹², apresentaram valores de IAA de 3,34, 2,90 e 3,06 g gel.g⁻¹ de matéria seca, respectivamente.

¹² $T_1 = 30$ % umidade – 70 °C – 20 % farinha de feijão na mistura com arroz polido; $T_{13} = 35$ % umidade – 80 °C – 6,36 % farinha de feijão na mistura com arroz polido; $T_{17} = 35$ % umidade – 80 °C – 40 % farinha de feijão na mistura com arroz polido.

Cruz e Soares (2004) mencionam que a vantagem a ser considerada em relação às massas pré-cozidas é que um dos fatores que contribuem para uma absorção de água satisfatória é a pré-gelatinização do amido no processo de secagem, o que não ocorre na produção de macarrão tipo massa fresca.

A análise de variância para a variável resposta IAA encontra-se na Tabela 26. Nota-se que, apenas a variável linear de umidade foi significativa ($P < 0,01$), e com efeito negativo. Todas as demais variáveis e suas interações não contribuíram na variação do índice de absorção de água.

O coeficiente de determinação (0,83972) explica cerca de 84 % da variação total da variável resposta em torno da média e 16 % atribui-se aos resíduos. Não foi evidenciada falta de ajuste, assim o modelo pode ser considerado preditivo. O intercepto foi significativo ($P < 0,001$), o que indica que o ponto central foi escolhido de modo adequado.

Tabela 26. Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada ao índice de absorção de água (g gel.g⁻¹ de matéria seca) das massas alimentícias pré-cozidas de farinha mista de arroz e feijão, em função da umidade, temperatura e percentual de farinha de feijão.

Fator	Teste F	Coefficiente de Regressão	P
Intercepto	--	3,151240	2,11E-07***
X ₁	2,21E+01	-2,53E-01	5,32E-03**
X ₁ ²	3,34E+00	9,57E-02	1,27E-01 ^{n.s.}
X ₂	2,43E+00	8,39E-02	1,79E-01 ^{n.s.}
X ₂ ²	1,07E-01	1,71E-02	7,57E-01 ^{n.s.}
X ₃	3,39E+00	9,90E-02	1,25E-01 ^{n.s.}
X ₃ ²	1,43E+00	-6,25E-02	2,86E-01 ^{n.s.}
X ₁ X ₂	3,01E+00	1,22E-01	1,43E-01 ^{n.s.}
X ₁ X ₃	1,59E-02	-8,85E-03	9,05E-01 ^{n.s.}
X ₂ X ₃	5,01E-01	-4,97E-02	5,11E-01 ^{n.s.}
Falta de ajuste	4,05E-01	--	8,28E-01 ^{n.s.}
R²		0,83972	

X₁: Umidade (%).

X₂: Temperatura (%).

X₃: Farinha de feijão (%) na mistura com arroz polido.

-- Não determinado.

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

** = Significativo ao nível de 1 % de probabilidade.

*** = Significativo ao nível de 0,1 % de probabilidade.

A equação do modelo matemático proposto para as variáveis independentes codificadas (equação 20) foi elaborada a partir da utilização dos coeficientes de regressão significativos ao nível de 95 a 99,9 % de confiança (Tabela 26) e fica restrita como:

$$\text{Índice de Absorção de Água} = 3,15 - 0,25X_1 \quad (20)$$

A Figura 23 mostra o efeito da umidade sobre o índice de absorção de água. Verifica-se que a variável umidade é inversamente proporcional aos valores de IAA, portanto, pode-se dizer que os tratamentos com menor porcentagem de umidade tiveram sua estrutura amilácea sujeitas a uma maior gelatinização em comparação aos tratamentos com maior umidade. Isso pode ter ocorrido porque altos teores de umidade diminuem o atrito e com isso uma quantidade menor de grânulos de amido sofre degradação. Sabe-se que o índice de absorção de água varia de acordo com o grau de gelatinização sofrido pelo amido durante o processo de extrusão termoplástica, e somente os grânulos de amido danificados podem absorver água em temperatura ambiente, assim quanto maior o número de hidroxilas disponíveis para formar ligações de hidrogênio com a água, maior será o IAA.

Os resultados dispostos na Tabela 24 mostram que não há grande variação no índice de absorção de água. Com a umidade variando de 26,59 % a 30 %, ocorrem os maiores índices de absorção de água, e com 40 % de umidade os menores valores de absorção de água são atingidos.

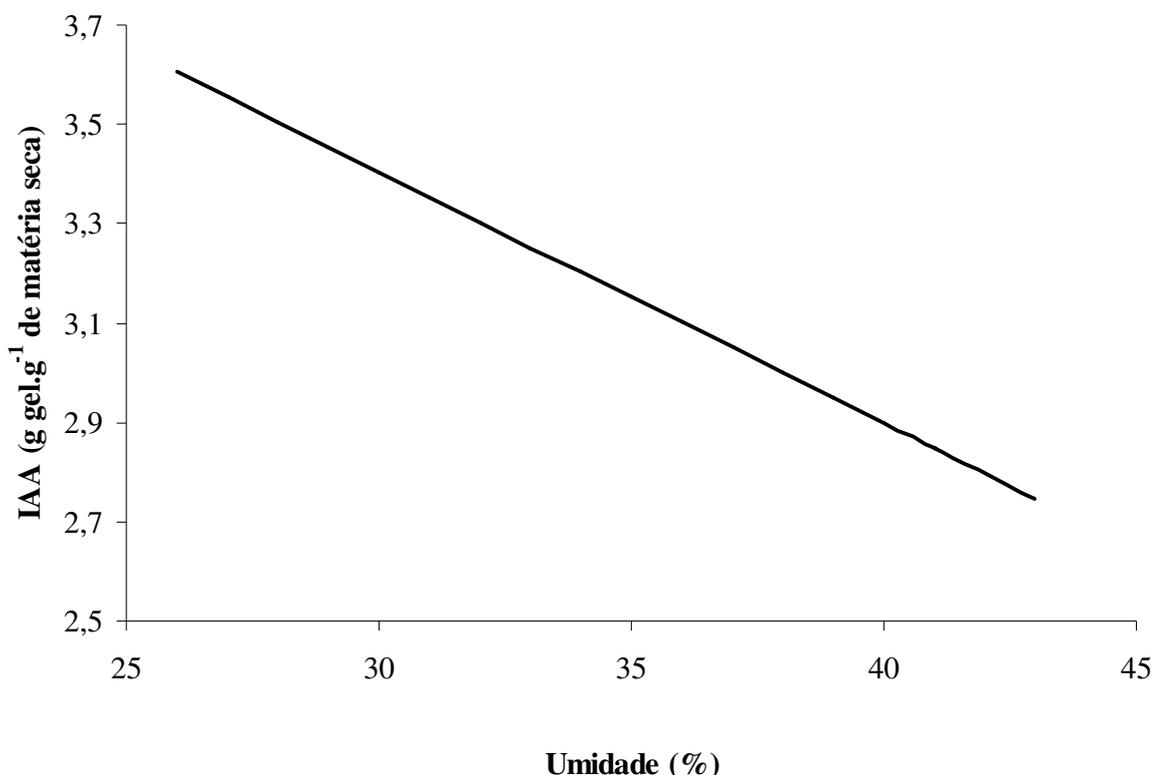


Figura 23. Efeito da variável quantitativa umidade (%) no índice de absorção de água (g gel.g⁻¹ de matéria seca) das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão.

Os índices de absorção de água das massas alimentícias pré-cozidas por extrusão termoplástica à base de farinha mista de arroz polido e feijão preto sem tegumento mostraram uma variação de 2,54 a 3,75 g gel.g⁻¹ de matéria seca (Tabela 24). Esses valores foram superiores ao obtido para a massa comercial de trigo (1,90 g gel.g⁻¹ de matéria seca), e foram similares ao encontrado para a massa comercial de arroz (3,18 g gel.g⁻¹ de matéria seca).

As variáveis independentes do processo de extrusão das massas pré-cozidas à base de arroz integral e milho elaboradas por Silva (2007) não apresentaram significância quanto ao índice de absorção de água. Entretanto, este autor mencionou que o menor valor de absorção de água (3,25 g gel.g⁻¹ de matéria seca) foi obtido para o tratamento com maior umidade (43,4 %).

4.5.3 Propriedades viscoamilográficas

Produtos amiláceos quando submetidos a tratamentos severos, normalmente, promovem a destruição da estrutura granular do amido fazendo com que a viscosidade de pasta seja baixa. No caso de farinhas, quando submetidas ao processo da extrusão termoplástica, modificam-se quanto à sua estrutura, apresentando um aumento do grau de viscosidade à medida que a temperatura é incrementada (JANE et al., 1999).

O grau de cozimento de um produto pode ser verificado por meio da determinação da viscosidade de uma suspensão de amostra que é submetida a controlado cisalhamento e a um regime de temperatura impondo ciclos intercalados de baixa, alta e baixa temperatura (ASCHERI, 2007).

Os resultados experimentais da viscosidade inicial a 25 °C, viscosidade máxima a 95 °C, viscosidade mínima a 95 °C e viscosidade final a 25 °C, assim como os valores calculados para quebra de viscosidade (breakdown) e tendência à retrogradação (setback) estão expostos na Tabela 27.

Tabela 27. Resultados da caracterização de viscosidade de pasta das massas alimentícias pré-cozidas e controles.

Tratamentos	X ₁	X ₂	X ₃	VI 25 (cP)	VMáx (cP)	VMín (cP)	Breakdown (cP)	VFinal (cP)	Setback (cP)
1	30	70	20	8,00	242,50	148,00	94,50	1424,00	1276,00
2	30	70	60	10,50	138,50	116,50	22,00	746,00	629,50
3	30	90	20	4,50	239,00	128,50	110,50	1512,50	1384,00
4	30	90	60	6,50	122,50	102,50	20,00	669,50	567,00
5	40	70	20	0,00	531,00	51,50	479,50	2185,50	2134,00
6	40	70	60	0,00	148,00	54,50	93,50	634,50	580,00
7	40	90	20	0,00	352,00	41,50	310,50	1519,00	1477,50
8	40	90	60	0,50	202,00	82,00	120,00	795,50	713,50
9	26,59	80	40	1,50	239,00	93,00	146,00	861,00	768,00
10	43,41	80	40	21,00	208,50	61,00	147,50	936,50	875,50
11	35	63,18	40	4,00	202,50	78,50	124,00	1092,50	1014,00
12	35	96,82	40	10,00	267,00	97,50	169,50	1162,00	1064,50
13	35	80	6,36	0,50	469,50	57,50	412,00	2155,00	2097,50
14	35	80	73,64	0,00	99,00	49,00	50,00	503,00	454,00
15	35	80	40	4,50	297,00	100,50	196,50	1245,50	1145,00
16	35	80	40	5,00	287,50	115,00	172,50	1179,00	1064,00
17	35	80	40	6,50	351,00	107,00	244,00	1376,50	1269,50
18	35	80	40	4,50	304,50	99,00	205,50	1274,00	1175,00
19	35	80	40	5,50	250,00	120,00	130,00	1161,50	1041,50
20	35	80	40	6,00	241,50	99,50	142,00	1138,50	1039,00
Controle Trigo*	-	-	-	250,50	1118,50	174,50	944,00	2808,00	2633,50
Controle Arroz**	-	-	-	238,00	522,50	52,00	470,50	2039,50	1987,50

X₁: Umidade (%).

X₂: Temperatura (°C).

X₃: Farinha de feijão (%) na mistura com arroz polido.

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

VMáx: Viscosidade de Pasta Máxima (cP).

VMín: Viscosidade de Pasta Mínima (cP).

VFinal: Viscosidade de Pasta Final (cP).

*Massa comercial à base de sêmola de trigo.

**Massa comercial isenta de glúten à base de arroz polido.

4.5.3.1 Perfil de viscosidade de pasta

Na Figura 24 são apresentados os perfis das curvas de viscosidade de pasta em função do tempo e da temperatura dos melhores tratamentos de massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz polido e feijão preto, que posteriormente foram submetidos à análise sensorial.

No Anexo D estão dispostos todos os perfis de viscosidade das massas elaboradas no presente estudo e no Anexo E encontram-se os perfis de viscosidade das massas controle.

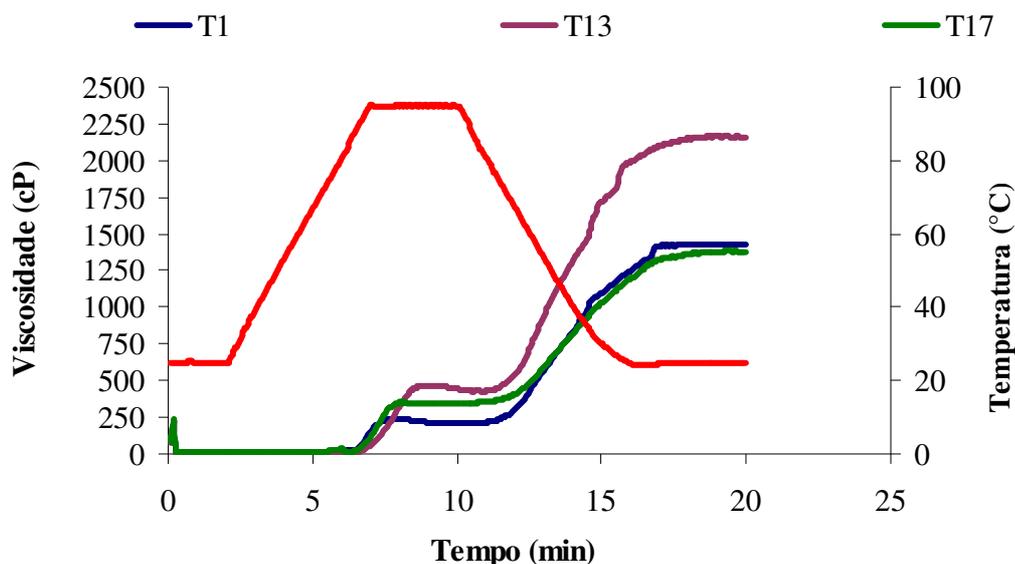


Figura 24. Perfis das curvas de viscosidade de pasta dos tratamentos 1 (30 % umidade / 70 °C / 20 % farinha de feijão), 13 (35 % umidade / 80 °C / 6,36 % farinha de feijão) e 17 (35 % umidade / 80 °C / 40 % farinha de feijão).

A propriedade de viscosidade de pasta de extrusados é importante, principalmente, quando a farinha pré-gelatinizada é utilizada em diferentes produtos. As modificações de viscosidade dos extrusados têm sido demonstradas em diversos estudos e são afetadas pelas condições de operação do processo de extrusão (GUHA, ALI e BHATTACHARYA, 1998).

Analisando a figura acima, nota-se que as massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão T₁ e T₁₇ apresentam perfis de viscosidade similares entre si, entretanto, a massa referente ao tratamento 13, que possui em sua composição maior percentual de farinha de arroz polido e, portanto, maior material amiláceo e menor conteúdo de farinha de feijão preto sem tegumento (6,36 %), apresenta maiores valores de viscosidade máxima e viscosidade final.

Como mostra a Figura 24, a viscosidade inicial permaneceu constante, ou seja, sem acréscimo de viscosidade, até aproximadamente os seis minutos iniciais da análise. Isso sugere que parte dos grânulos de amido das massas estudadas encontram-se em sua forma natural, tendo em vista o tratamento brando a que foram submetidas e, por isso, têm capacidade limitada em absorver água em temperatura ambiente, devido à manutenção da estrutura cristalina do grânulo.

As massas alimentícias apresentaram perfil de viscosidade de pasta inicial a 25 °C semelhante ao observado para as farinhas de arroz polido cru analisadas por Ascheri et al. (2006a) e Barbosa et al. (2006).

Após os seis minutos iniciais, verificou-se um incremento nos valores de viscosidade, provavelmente devido ao intumescimento dos grânulos de amido, decorrente do processo de gelatinização. A viscosidade máxima a 95 °C foi de 242,50 cP para T₁ (20 % farinha de feijão) aos 7,8 min, 469,50 cP para T₁₃ (6,36 % farinha de feijão) aos 9,0 min e 351,00 cP para T₁₇ (40 % farinha de feijão) aos 8,2 min, como observa-se na Figura 24.

A gelatinização é a combinação do evento de fusão da porção cristalina do grânulo de amido e da transição vítrea da porção amorfa do grânulo, que ocorre como consequência da aplicação do calor numa suspensão aquosa de produtos amiláceos, bem como da agitação mecânica empregada. Inicialmente, o intumescimento é reversível, tornando-se irreversível conforme o aumento da temperatura que rompe as pontes de hidrogênio e permite a incorporação de água pelo amido. Tal incorporação aumenta a separação entre as cadeias e a aleatoriedade, diminuindo o número e o tamanho das regiões cristalinas e a perda da birrefringência. O rompimento dos grânulos libera a amilose, o que contribui para o aumento da viscosidade da suspensão (FUKUOKA, OHTA e WATANABE, 2002; MATUDA, 2004; THIRÉ, SIMÃO e ANDRADE, 2003).

A partir da viscosidade máxima, o perfil de viscosidade diminuiu possivelmente devido ao rompimento dos grânulos de amido, liberando amilose. O fenômeno da retrogradação iniciou a partir dos doze minutos. A viscosidade elevou-se com o resfriamento da suspensão até o final do experimento (Figura 24), alcançando 1424,00 cP (T₁), 2155,00 cP (T₁₃) e 1376,50 cP (T₁₇), como apresentado na Tabela 27.

Ao ultrapassar a temperatura de gelatinização do amido, a suspensão se solubiliza e a viscosidade começa a diminuir. O gel formado quando resfriado tende a reconstruir estrutura mais rígida pela agregação das cadeias de amilose, formando duplas hélices cristalinas estabilizadas por pontes de hidrogênio. Isso resulta em maior perda de água do sistema e endurecimento do produto final, fenômeno conhecido como retrogradação (LOBO e LEMOS SILVA, 2003; MUNHOZ, WEBER e CHANG, 2004).

4.5.3.2 Viscosidade de pasta inicial a 25 °C

A viscosidade da suspensão de farinha em água a 25 °C é considerada a frio. Essa propriedade indica a capacidade das farinhas em absorver água à temperatura ambiente e formar pasta, gel ou líquido viscoso como resultado da gelatinização do amido e da extensão da quebra de moléculas durante o processo de extrusão (CARVALHO, ASCHERI e VIDAL, 2002; EL-DASH, GONZALEZ e CIOL, 1984; FERNANDES et al., 2002).

De acordo com Shuey e Tipples (1980), os grânulos de amido cru são insolúveis em água fria. Entretanto, quando estes grânulos são submetidos a um tratamento térmico, ocorre rompimento nas pontes de hidrogênio que ligam as moléculas em rede micelar, favorecendo a capacidade de hidratação e resultando em processo de intumescimento irreversível, que irá refletir o seu grau de pré-gelatinização. Conseqüentemente, quanto maior for o grau de gelatinização, maior será a viscosidade inicial (EL-DASH, GONZALEZ e CIOL, 1984).

Os resultados da análise de variância (ANOVA) do modelo aplicado estão descritos na Tabela 28. Observa-se que o coeficiente de determinação apresentou um valor muito baixo (0,28712) para que o modelo seja considerado preditivo.

Desta forma, como o R^2 foi menor que 0,70, não foram construídos gráficos de superfície de resposta nem gerado o modelo da equação, no entanto, os resultados foram discutidos com a finalidade de delimitar novas áreas de estudo. Neste caso, a discussão foi realizada através de comparação de médias realizada pelo teste de Tukey (Tabela 29).

Tabela 28. Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada à viscosidade inicial a 25 °C (cP) das massas alimentícias pré-cozidas de farinha mista de arroz e feijão, em função da umidade, temperatura e percentual de farinha de feijão.

Fator	Teste F	Coeficiente de Regressão	P
Intercepto	--	5,41E+00	1,61E-05***
X ₁	1,59E+00	2,78E-01	2,64E-01 ^{n.s.}
X ₁ ²	5,34E+01	1,57E+00	7,53E-04***
X ₂	1,05E+00	2,26E-01	3,53E-01 ^{n.s.}
X ₂ ²	1,02E-01	6,87E-02	7,62E-01 ^{n.s.}
X ₃	1,90E+00	3,05E-01	2,27E-01 ^{n.s.}
X ₃ ²	1,16E+02	-2,32E+00	1,19E-04***
X ₁ X ₂	1,20E+01	1,00E+00	1,80E-02*
X ₁ X ₃	3,00E+00	-5,00E-01	1,44E-01 ^{n.s.}
X ₂ X ₃	0,00E+00	0,00E+00	1,00E+00 ^{n.s.}
Falta de ajuste	1,02E+02	--	5,02E-05***
R²		0,28712	

X₁: Umidade (%).

X₂: Temperatura (°C).

X₃: Farinha de feijão (%) na mistura com arroz polido.

-- Não determinado.

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

* = Significativo ao nível de 5 % de probabilidade.

*** = Significativo ao nível de 0,1 % de probabilidade.

Tabela 29. Teste de Tukey da viscosidade de pasta inicial a 25 °C das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz polido e feijão preto sem casca.

Tratamentos	Viscosidade de pasta inicial a 25 °C (cP)
1	8,00 ± 1,41 ^{bc}
2	10,50 ± 2,12 ^b
3	4,50 ± 0,71 ^d
4	6,50 ± 0,71 ^{cd}
5	0,00 ± 0,00 ^e
6	0,00 ± 0,00 ^e
7	0,00 ± 0,00 ^e
8	0,00 ± 0,00 ^e
9	0,50 ± 0,00 ^e
10	21,00 ± 0,71 ^a
11	4,00 ± 0,00 ^d
12	10,00 ± 1,41 ^b
13	0,50 ± 0,00 ^e
14	0,00 ± 0,00 ^e
15	4,50 ± 0,71 ^d
16	5,00 ± 0,00 ^{cd}
17	6,50 ± 0,71 ^{cd}
18	4,50 ± 0,71 ^d
19	5,50 ± 0,71 ^{cd}
20	6,00 ± 1,41 ^{cd}

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

O resultado do teste de Tukey para a viscosidade de pasta inicial disposto na Tabela 29 mostra que a massa alimentícia pré-cozida T₁₀, que foi elaborada com alto teor de umidade e nível intermediário de farinha de feijão (43,41 % e 40 %, respectivamente) apresentou o valor mais elevado e diferiu estatisticamente das demais, enquanto as massas T₅, T₆, T₇, T₈, T₉ e T₁₄ não apresentaram viscosidade a 25 °C.

As massas alimentícias pré-cozidas selecionadas para a análise sensorial apresentaram os seguintes valores de viscosidade inicial: 8,00 cP (T₁, 30 % de umidade e 20 % de farinha de feijão), 0,50 cP (T₁₃, 35 % de umidade e 6,36% de farinha de feijão) e 6,50 (T₁₇, 35 % de umidade e 40 % de farinha de feijão).

De acordo com Sebio (1996) o efeito da umidade na viscosidade inicial pode ser explicado pela lubrificação que o alto teor de água provoca na rosca do extrusor, evitando assim, maior ocorrência de degradação mecânica dos grânulos do amido, obtendo-se, portanto, valores elevados de viscosidade inicial, como ocorreu com o tratamento 10.

Mercier e Feillet (1975) demonstraram que há uma relação indireta entre umidade da mistura e o grau de degradação em milho extrusado. Os autores observaram aumento da viscosidade inicial do extrusado com o incremento dos valores de umidade, que variaram de 10,5 a 28,5 %. Gómez e Aguilera (1983) também relataram aumento da viscosidade inicial com a elevação da umidade de 7,6 para 23,7 %, em extrusão de pasta de milho.

Menegassi et al. (2007) afirmam que os valores de viscosidade inicial se elevam com a prévia gelatinização da amostra e decrescem em condições severas de processamento em razão da despolimerização do amido com a cocção.

É válido ressaltar que valores muito baixos de viscosidade de pasta inicial a frio de produtos extrusados podem ser decorrentes do conteúdo protéico e da presença de fibras nas matérias-primas, assim como apresenta a farinha de feijão preto sem tegumento utilizada no presente estudo.

Silva et al. (2008), avaliando o perfil viscoamilográfico das massas alimentícias pré-cozidas, isentas de glúten, à base de farinha de arroz integral e milho, verificaram que nenhuma das variáveis estudadas (temperatura, umidade da mistura e percentual de farinha de milho na formulação) influenciou significativamente os valores de viscosidade inicial, no entanto, apesar de não ter sido verificada falta de ajuste do modelo aos dados experimentais, o coeficiente de determinação foi extremamente baixo (0,16618). Os melhores tratamentos deste estudo apresentaram valores superiores aos relatados na Tabela 27.

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

4.5.3.3 Viscosidade de pasta máxima

Tratando-se da determinação da viscosidade de pasta de materiais amiláceos crus, durante o ciclo de aquecimento até 95 °C ocorre o total intumescimento e gelatinização dos grânulos de amido, atingindo nesta etapa o pico da viscosidade máxima a 95 °C. No processo de extrusão, dependendo das condições do processo, o tratamento térmico pode destruir a estrutura cristalina do amido de tal forma que, no ciclo de aquecimento, o viscoamilograma apresente ausência de pico e valores baixos de viscosidade. Entretanto, se os tratamentos não forem muito severos, uma determinada porcentagem de grânulos de amido pode ter conservado parte da estrutura amilácea. Nestas condições observam-se valores relativamente altos de viscosidade de pasta, pois há maior número de grânulos em condição de intumescimento (CARVALHO, ASCHERI e CAL-VIDAL, 2002).

Na Tabela 27 apresentam-se os resultados experimentais. O maior valor de viscosidade máxima a 95 °C (531,00 cP), foi obtido pelo tratamento 5, que foi processado a uma temperatura de 70 °C, com 40 % de umidade e 20 % de farinha de feijão na formulação.

As melhores massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz polido e feijão preto sem casca, T₁, T₁₃ e T₁₇¹³, apresentaram viscosidade de pasta máxima de 242,50 cP, 469,50 cP e 351,00 cP, respectivamente.

Os resultados da análise de variância (ANOVA) do modelo aplicado estão dispostos na Tabela 30.

Tabela 30. Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada à viscosidade de pasta máxima (cP) das massas alimentícias pré-cozidas de farinha mista de arroz e feijão, em função da umidade, temperatura e percentual de farinha de feijão.

Fator	Teste F	Coeficiente de Regressão	P
Intercepto	--	288,5240	1,04E-05***
X ₁	8,91E+00	3,22E+01	3,06E-02*
X ₁ ²	4,62E+00	-2,25E+01	8,44E-02 ^{n.s.}
X ₂	5,99E-02	-2,64E+00	8,16E-01 ^{n.s.}
X ₂ ²	3,16E+00	-1,86E+01	1,36E-01 ^{n.s.}
X ₃	8,75E+01	-1,01E+02	2,35E-04***
X ₃ ²	1,19E-02	-1,15E+00	9,17E-01 ^{n.s.}
X ₁ X ₂	8,78E-01	-1,32E+01	3,92E-01 ^{n.s.}
X ₁ X ₃	7,70E+00	-3,91E+01	3,91E-02*
X ₂ X ₃	3,83E+00	2,76E+01	1,08E-01 ^{n.s.}
Falta de ajuste	3,71E+00	--	8,83E-02 ^{n.s.}
R²		0,83135	

X₁: Umidade (%).

X₂: Temperatura (°C).

X₃: Farinha de feijão (%) na mistura com arroz polido.

-- Não determinado.

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

* = Significativo ao nível de 5 % de probabilidade.

*** = Significativo ao nível de 0,1 % de probabilidade.

¹³ T₁ = 30 % umidade – 70 °C – 20 % farinha de feijão na mistura com arroz polido; T₁₃ = 35 % umidade – 80 °C – 6,36 % farinha de feijão na mistura com arroz polido; T₁₇ = 35 % umidade – 80 °C – 40 % farinha de feijão na mistura com arroz polido.

O coeficiente de determinação explica 83 % da variação total da variável resposta em torno da média e 17 % atribui-se 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 foi estatisticamente significativa ($P > 0,05$).

Os resultados apresentados na Tabela 30 mostram que o intercepto foi altamente significativo, ao nível de 0,1 % de probabilidade, demonstrando que o ponto central foi escolhido adequadamente.

Com relação às variáveis, verifica-se que houve contribuição linear da umidade ($P < 0,05$) e do percentual de farinha de feijão ($P < 0,001$), assim como da interação entre umidade e formulação ($P < 0,05$).

A variável linear da umidade apresenta efeito positivo, indicando que a variação do valor da viscosidade máxima a 95 °C foi diretamente proporcional ao aumento da mesma. A interação entre umidade e formulação e a variável linear de percentual de farinha de feijão apresentaram efeitos negativos, proporcionando um decréscimo no valor da viscosidade máxima a 95 °C, sendo esta última a de maior magnitude.

Para a elaboração da equação do modelo matemático proposto para as variáveis independentes codificadas (equação 21) foram utilizados somente os coeficientes de regressão significativos ao nível de 95 a 99,9 % de confiança (Tabela 30), assim a equação fica restrita como:

$$\text{Viscosidade Máxima} = 288,52 + 32,16X_1 - 100,80X_3 - 39,06X_1X_3 \quad (21)$$

O gráfico tridimensional de superfície de resposta (Figura 25) representa o efeito das variáveis percentual de farinha de feijão e umidade na viscosidade máxima.

Observa-se que os maiores valores de pico de viscosidade máxima são alcançados quando o percentual de farinha de feijão está em seus menores níveis e, concomitantemente, a umidade encontra-se em seus maiores níveis, o que demonstra os efeitos negativo e positivo, respectivamente, destas variáveis lineares.

Segundo Silveira et al. (1981), o amido é o principal componente responsável pela viscosidade e, de acordo com Vijayagopal et al. (1988), a presença de amidos solúveis e a interação entre os grânulos intumescidos são responsáveis pela viscosidade de uma suspensão de amido gelatinizado, de tal forma que a diminuição da concentração de amido causa decréscimo no número de grânulos e conseqüentemente, na viscosidade numa mesma temperatura. Assim, com o aumento da proporção de farinha de feijão nas farinhas mistas de arroz polido e feijão preto sem tegumento, diminui-se a quantidade de amido presente, resultando na diminuição de viscosidade. Outro fator que 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-Saied et al. (1979) constataram que o conteúdo de proteína é negativamente correlacionado com a viscosidade máxima. A proteína pode atuar como uma barreira física para o intumescimento do amido, uma vez que os grânulos de amido são encaixados na matriz de proteína.

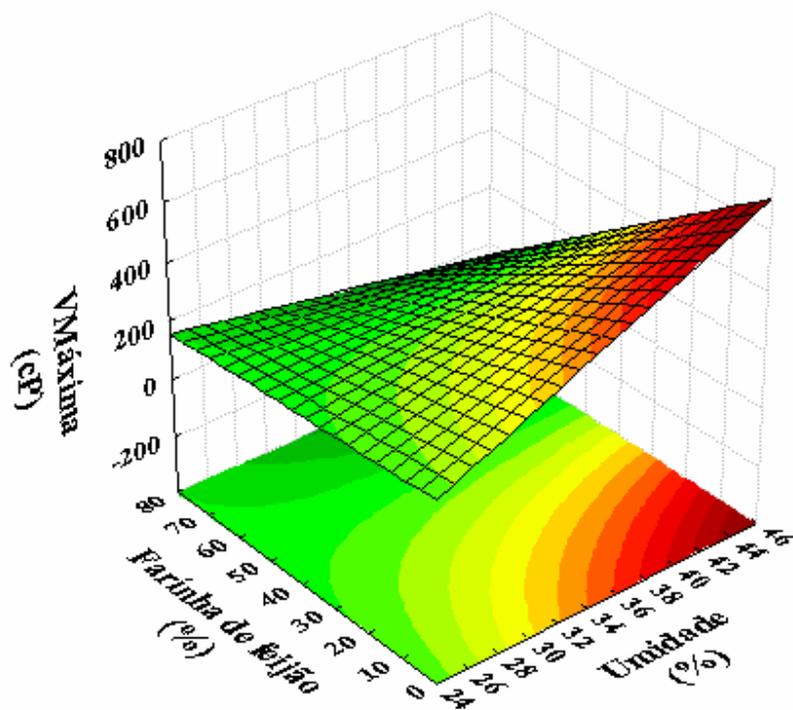


Figura 25. Efeito das variáveis quantitativas farinha de feijão (%) e umidade (%) na viscosidade de pasta máxima (cP) das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão.

Vários autores estudaram o efeito da formulação de misturas de alimentos nas características dos produtos extrusados. Carvalho, Ascheri e Cal-Vidal (2002) estudando a influência da mistura de farinha de trigo, arroz e banana, e Fernandes et al. (2002), em canjica e soja, observaram que a formulação das farinhas do produto a ser extrusado influencia a gelatinização do amido. Também afirmaram que quanto maior a proporção de material não-amiláceo, menor o grau de gelatinização do amido do produto extrusado em decorrência da diminuição da proporção de amido, assim como foi verificado no presente estudo.

A viscosidade máxima relaciona-se com o nível de degradação sofrido pelo grânulo do amido, e quanto mais elevado for o seu valor, mais brando foi o tratamento térmico, uma vez que nestas condições o material amiláceo poderá conservar parte da integridade dos grânulos de amido.

Da mesma maneira, como diversos autores relatam (MENEGASSI et al., 2007; SILVA, 2007; TORRES et al., 2005) umidades mais elevadas favorecem maiores viscosidades máximas a 95 °C, pois, ocorre uma redução do atrito mecânico, havendo, portanto, menor destruição dos grânulos, como afirma Silva et al. (2004), o que justifica os resultados acima descritos.

4.5.3.4 Viscosidade de pasta mínima

A viscosidade mínima à temperatura constante ocorre quando a ruptura dos grânulos, devido à agitação do meio, atinge o seu máximo, e segundo Ryu e Walker (1993), a viscosidade de manutenção pode ser vista como uma medida do grau de desintegração dos grânulos de amido ou outras substâncias.

Os valores de viscosidade mínima para as massas selecionadas para a análise sensorial foram de 148,00 cP para T₁ (30 % umidade, 70 °C e 20 % de farinha de feijão), 57,50 cP para T₁₃ (35 % umidade, 80 °C e 6,36 % de farinha de feijão) e 107,00 cP para T₁₇ (35% umidade, 80 °C e 40 % de farinha de feijão).

Encontra-se na Tabela 31 os resultados da análise de variância (ANOVA), e de acordo com a sua análise, nota-se que o intercepto foi altamente significativo ($P < 0,001$), o que indica que o ponto central foi escolhido de modo adequado. A equação da regressão quadrática aplicada apresentou um coeficiente de determinação (0,76957) que explica 77 % da variação do total da viscosidade de pasta mínima em torno da média e 23 % atribui-se aos resíduos. Evidencia-se a falta de ajuste do modelo aos dados experimentais, uma vez que a variação devido à falta de ajuste foi significativa ao nível de 5 % de probabilidade.

As variáveis que contribuíram estatisticamente nos resultados de viscosidade mínima foram: umidade na sua forma linear ($P < 0,001$) e quadrática ($P < 0,05$), percentual de farinha de feijão quadrática ($P \leq 0,01$) e a interação entre umidade e formulação ($P \leq 0,01$), com maiores efeitos para os fatores X_1 e X_3^2 .

Através da análise de variância e na probabilidade estatística, descritas na Tabela 31, somente os coeficientes de regressão significativos ao nível de 95 a 99,9 % de confiança foram selecionados para o desenvolvimento do modelo (equação 22), como segue abaixo:

$$\text{Viscosidade Mínima} = 106,19 - 23,42X_1 - 6,34X_1^2 - 14,74X_3^2 + 12,63X_1X_3 \quad (22)$$

Tabela 31. Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada à viscosidade de pasta mínima (cP) das massas alimentícias pré-cozidas de farinha mista de arroz e feijão, em função da umidade, temperatura e percentual de farinha de feijão.

Fator	Teste F	Coeficiente de Regressão	P
Intercepto	--	106,1923	8,71E-07***
X ₁	9,47E+01	-2,34E+01	1,95E-04***
X ₁ ²	7,33E+00	-6,34E+00	4,24E-02*
X ₂	2,36E-01	1,17E+00	6,48E-01 ^{n.s.}
X ₂ ²	1,10E+00	-2,45E+00	3,43E-01 ^{n.s.}
X ₃	7,41E-01	-2,07E+00	4,29E-01 ^{n.s.}
X ₃ ²	3,96E+01	-1,47E+01	1,49E-03**
X ₁ X ₂	4,11E+00	6,38E+00	9,84E-02 ^{n.s.}
X ₁ X ₃	1,61E+01	1,26E+01	1,02E-02**
X ₂ X ₃	2,92E+00	5,38E+00	1,48E-01 ^{n.s.}
Falta de ajuste	8,75E+00	--	1,63E-02*
R²		0,76957	

X₁: Umidade (%).

X₂: Temperatura (°C).

X₃: Farinha de feijão (%) na mistura com arroz polido.

-- Não determinado.

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

* = Significativo ao nível de 5 % de probabilidade.

** = Significativo ao nível de 1 % de probabilidade.

*** = Significativo ao nível de 0,1 % de probabilidade.

A Figura 26, desenhada utilizando a equação 22, mostra claramente a influência dos fatores acima referidos. Verifica-se que os efeitos negativos das variáveis umidade e percentual de farinha de feijão resultam em valores de viscosidade mínima mais elevados quando estas encontram-se em níveis inferiores.

Como mencionado anteriormente, altos teores de umidade diminuem o atrito e com isso uma quantidade menor de grânulos sofre degradação. Então, como a viscosidade mínima está relacionada à ruptura dos grânulos de amido, é necessário menor valor de umidade para que este fenômeno ocorra com maior intensidade, pois assim, as moléculas tornam-se mais susceptíveis à ação do cisalhamento.

Sabe-se que a inclusão de ingredientes no material amiláceo a ser extrusado influencia as características físico-químicas do produto final, e no que se refere à viscosidade mínima, ao aumentar a proporção de farinha de feijão preto sem tegumento nas massas alimentícias, há uma redução da quantidade de amido, e conseqüentemente, menos grânulos para sofrer degradação, desencadeando menores valores de viscosidade mínima.

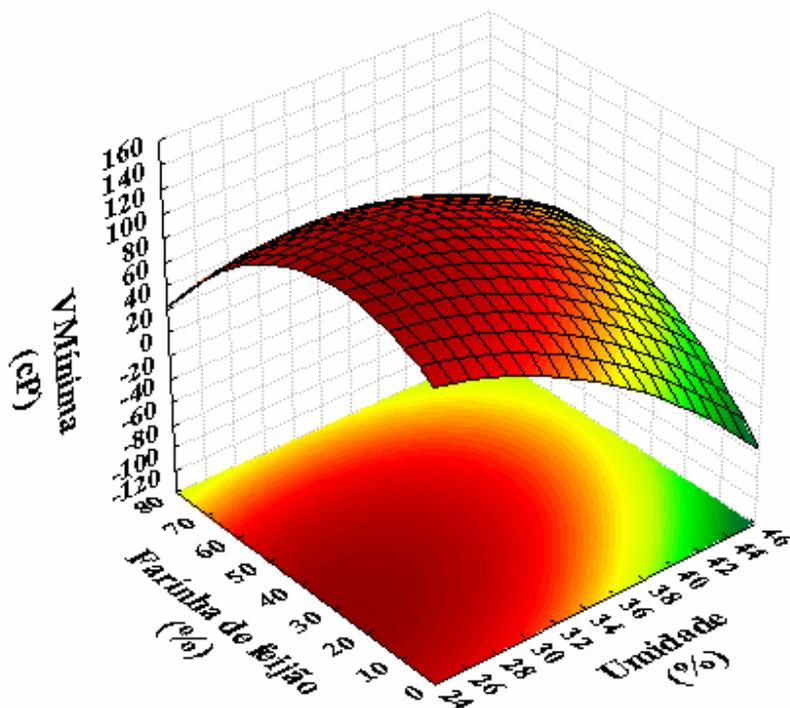


Figura 26. Efeito das variáveis quantitativas farinha de feijão (%) e umidade (%) na viscosidade de pasta mínima (cP) das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão.

4.5.3.5 Breakdown

O breakdown, também conhecido como quebra de viscosidade, representa a diferença entre o pico de viscosidade e o menor valor de viscosidade após o pico no perfil amilográfico. Através desta propriedade é possível avaliar a estabilidade do amido em altas temperaturas, sob agitação mecânica, o que é de extrema importância para massas alimentícias pré-cozidas, uma vez que indica, indiretamente, a capacidade do produto de se manter inteiro durante o cozimento.

Os valores de quebra de viscosidade para a massa referente ao tratamento T₁, formulado com 20 % de farinha de feijão, 35 % de umidade e processado a 70 °C foi 94,50 cP, enquanto T₁₃, que contém 6,36 % de farinha de feijão, 35 % de umidade e foi extrusado a 80 °C obteve 412,00 cP. Já a massa T₁₇, elaborada com 40 % de farinha de feijão, 35 % de umidade e processado a 80 °C, apresentou breakdown de 107,00 cP.

A análise de variância (ANOVA) da variável breakdown está representada na Tabela 32. Nota-se que o intercepto foi estatisticamente significativo ($P < 0,001$), indicando que o ponto central foi escolhido de modo adequado. O coeficiente de determinação (0,81494) explica 81 % da variação total da variável resposta em torno da média e 19 % atribui-se aos resíduos, o que garante a validade das predições efetuadas. Não foi evidenciada falta de ajuste ($P > 0,05$).

Dentre os fatores que compõem o modelo, afetaram significativamente a quebra de viscosidade das massas alimentícias, a variável linear da umidade ($P < 0,01$) e percentual de farinha de feijão ($P < 0,001$), sendo esta última a de maior magnitude, assim como a interação entre a umidade da mistura e o percentual de farinha de feijão ($P < 0,05$). O menor efeito foi exercido pelo fator X_1X_3 .

Tabela 32. Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada ao breakdown (cP) das massas alimentícias pré-cozidas de farinha mista de arroz e feijão, em função da umidade, temperatura e percentual de farinha de feijão.

Fator	Teste F	Coeficiente de Regressão	P
Intercepto	--	182,3322	1,33E-04***
X_1	2,34E+01	5,56E+01	4,71E-03**
X_1^2	2,10E+00	-1,62E+01	2,07E-01 ^{n.s.}
X_2	1,10E-01	-3,80E+00	7,54E-01 ^{n.s.}
X_2^2	2,10E+00	-1,62E+01	2,07E-01 ^{n.s.}
X_3	7,40E+01	-9,87E+01	3,51E-04***
X_3^2	1,48E+00	1,36E+01	2,78E-01 ^{n.s.}
$X_1 X_2$	1,70E+00	-1,96E+01	2,49E-01 ^{n.s.}
$X_1 X_3$	1,19E+01	-5,17E+01	1,83E-02*
$X_2 X_3$	2,19E+00	2,22E+01	1,99E-01 ^{n.s.}
Falta de ajuste	4,42E+00	--	6,44E-02 ^{n.s.}
R²		0,81494	

X_1 : Umidade (%).

X_2 : Temperatura (°C).

X_3 : Farinha de feijão (%) na mistura com arroz polido.

-- Não determinado.

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

* = Significativo ao nível de 5 % de probabilidade.

** = Significativo ao nível de 1 % de probabilidade.

*** = Significativo ao nível de 0,1 % de probabilidade.

Através da análise de variância e da probabilidade estatística, descritos na Tabela 32, somente os coeficientes de regressão significativos ao nível de 95 a 99,9 % de confiança foram selecionados para o desenvolvimento da equação do modelo matemático proposto para as variáveis independentes codificadas (equação 23), como segue abaixo:

$$\text{Breakdown} = 182,33 + 55,57X_1 - 98,72X_3 - 51,69X_1X_3 \quad (23)$$

A influência das variáveis percentual de farinha de feijão e umidade sobre a quebra de viscosidade está representada na Figura 27. Observa-se que menores valores de percentual de farinha de feijão e maiores umidades implicam em aumento da quebra de viscosidade.

Bhattacharya, Sudha e Rahim (1999) ao estudar extrusão de misturas de farinha de batata e de trigo verificaram que os menores valores de quebra de viscosidade foram obtidos em baixa umidade, e quando a umidade foi aumentada, houve incremento significativo nos resultados de quebra de viscosidade. Estes autores afirmam que elevados teores de umidade podem agir como lubrificantes, reduzindo a viscosidade de fusão durante a extrusão e elevando os valores de breakdown, como ocorreu no presente estudo.

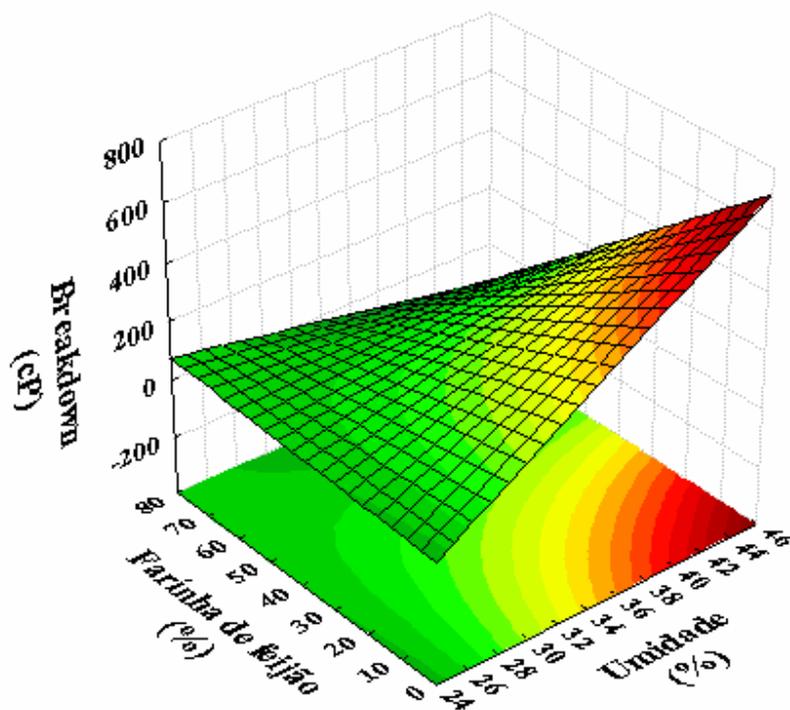


Figura 27. Efeito das variáveis quantitativas farinha de feijão (%) e umidade (%) no breakdown (cP) das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão.

4.5.3.6 Viscosidade de pasta final

A viscosidade final é uma característica que, em produtos extrusados, vai depender das modificações que ocorrem nas estruturas do grânulo de amido e das moléculas durante o processamento (EL-DASH, 1982).

Uma das características dos produtos amiláceos, após o aquecimento, gelatinização e resfriamento dos grânulos, é o processo de retrogradação, onde, durante a determinação da viscosidade de pasta no viscoamilógrafo, o ciclo de resfriamento, normalmente, mostra a tendência à retrogradação por efeito da recristalização das moléculas de amilose e amilopectina. Esse reagrupamento entre as frações de amilose e amilopectina confere na maioria dos casos, um aumento na viscosidade final (BOBBIO e BOBBIO, 2003).

As massas alimentícias T_1 , T_{13} e T_{17} ¹⁴, escolhidas como os melhores tratamentos, obtiveram viscosidade de pasta final de 1424,00 cP, 2155,00 cP e 1376,50 cP, respectivamente, conforme mostra a Tabela 27. Nota-se, portanto, que os maiores valores de viscosidade final foram obtidos para as massas que apresentaram em sua composição menores proporções de farinha de feijão. A massa controle de trigo apresentou 2808,00 cP de viscosidade final, enquanto para a massa de arroz o valor encontrado foi de 2039,50 cP.

Observa-se na Tabela 33 que o coeficiente de determinação (0,93993) explica 94 % da variação total da variável resposta em torno da média e 6 % atribui-se aos resíduos, justificando o ajuste do modelo aos dados experimentais.

O intercepto foi altamente significativo ($P < 0,001$), demonstrando que o ponto central foi escolhido adequadamente. Não se evidenciou falta de ajuste do modelo aos dados experimentais.

De acordo com a Tabela 33, verifica-se que a viscosidade de pasta final foi influenciada linear ($P < 0,05$) e quadraticamente ($P < 0,01$) pela umidade, linearmente ($P < 0,001$) pela porcentagem de farinha de feijão e pelas interações entre umidade e formulação ($P < 0,05$) e temperatura e formulação ($P < 0,05$), com maiores efeitos para os fatores X_3 e X_1 . O menor efeito foi exercido pelo fator X_2X_3 .

Por meio da análise de variância e probabilidade estatística, somente os coeficientes de regressão significativos ao nível de 95 a 99,9 % de confiança foram selecionados para o desenvolvimento da equação do modelo matemático proposto para as variáveis independentes codificadas (equação 24), como segue abaixo:

$$\text{Viscosidade Final} = 1226,61 + 66,59X_1 - 100,03X_1^2 - 481,33X_3 - 94,19X_1X_3 + 82,81X_2X_3 \quad (24)$$

¹⁴ T_1 = 30 % umidade – 70 °C – 20 % farinha de feijão na mistura com arroz polido; T_{13} = 35 % umidade – 80 °C – 6,36 % farinha de feijão na mistura com arroz polido; T_{17} = 35 % umidade – 80 °C – 40 % farinha de feijão na mistura com arroz polido.

Tabela 33. Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada à viscosidade de pasta final (cP) das massas alimentícias pré-cozidas de farinha mista de arroz e feijão, em função da umidade, temperatura e percentual de farinha de feijão.

Fator	Teste F	Coeficiente de Regressão	P
Intercepto	--	1226,6110	4,19E-07***
X ₁	7,71E+00	6,66E+01	3,91E-02*
X ₁ ²	1,84E+01	-1,00E+02	7,83E-03**
X ₂	9,91E-01	-2,39E+01	3,65E-01 ^{n.s.}
X ₂ ²	1,11E+00	-2,46E+01	3,41E-01 ^{n.s.}
X ₃	4,03E+02	-4,81E+02	5,68E-06***
X ₃ ²	4,97E+00	5,21E+01	7,62E-02 ^{n.s.}
X ₁ X ₂	4,26E+00	-6,47E+01	9,40E-02 ^{n.s.}
X ₁ X ₃	9,03E+00	-9,42E+01	2,99E-02*
X ₂ X ₃	6,98E+00	8,28E+01	4,59E-02*
Falta de ajuste	4,85E+00	--	5,40E-02 ^{n.s.}
R²		0,93993	

X₁: Umidade (%).

X₂: Temperatura (°C).

X₃: Farinha de feijão (%) na mistura com arroz polido.

-- Não determinado.

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

* = Significativo ao nível de 5 % de probabilidade.

** = Significativo ao nível de 1 % de probabilidade.

*** = Significativo ao nível de 0,1 % de probabilidade.

As Figuras 28 e 29, desenhadas utilizando a equação 24, mostram claramente a influência dos fatores acima descritos.

Analisando a Figura 28, observa-se que o aumento do percentual de farinha de feijão implica em menores valores de viscosidade de pasta final. Esta redução pode ser decorrente da diluição no teor de amido causada pela elevação no teor de cinzas, lipídeos, proteínas e fibras, em virtude do incremento na proporção da farinha de feijão nas massas alimentícias. Este resultado foi semelhante aos reportados por Ilo, Liu e Berghofer (1999), Maia (2000), Borges (2002) e Mendonça (2005) utilizando outras farinhas extrusadas.

Verifica-se ainda que a viscosidade de pasta final aumenta quando a umidade está entre 35 e 40 %, combinada com baixos teores de farinha de feijão na formulação, até 20 %. Isso pode ser observado na Tabela 27, onde estão dispostos os resultados encontrados no presente estudo para as massas analisadas. Nota-se que o valor mais alto encontrado (2185,50 cP) foi para a amostra T₅ que possui 40 % de umidade e 20 % de farinha de feijão na formulação. Em contrapartida, o menor valor de viscosidade final (503,00 cP) foi obtido pela amostra T₁₄, que possui umidade intermediária (35 %) e o maior percentual de farinha de feijão (73,64 %).

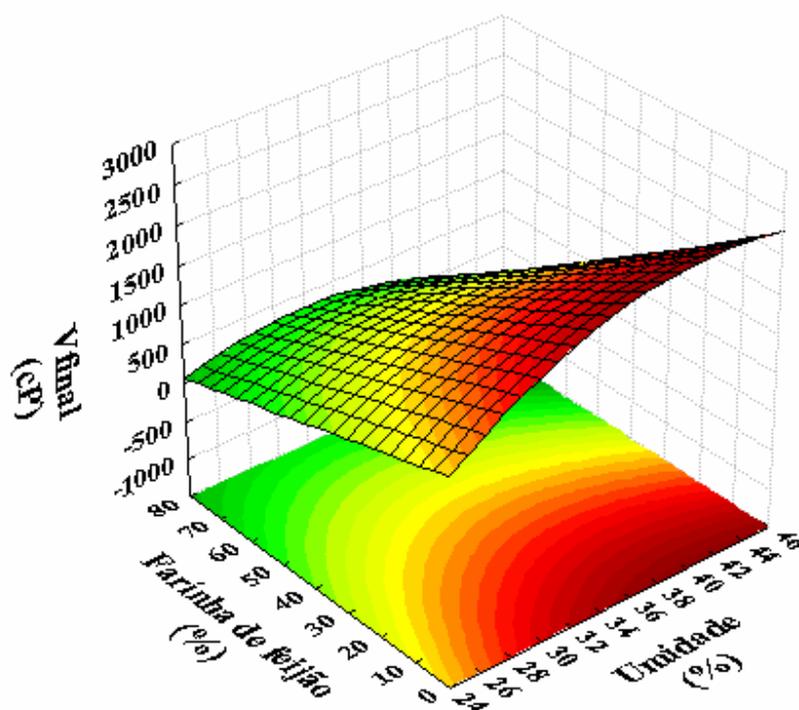


Figura 28. Efeito das variáveis quantitativas farinha de feijão (%) e umidade (%) na viscosidade de pasta final (cP) das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão.

A Figura 29 mostra que a variável percentual de farinha de feijão apresentou comportamento semelhante ao da Figura 28. A temperatura exerce pouca influência para viscosidade final a 25 °C.

Silva (2007) avaliando a viscosidade de pasta final das massas alimentícias pré-cozidas elaboradas observou efeitos negativos do percentual de farinha de milho adicionado à formulação e da temperatura, assim ao aumentar os valores destas variáveis, a viscosidade final apresentou tendência à redução.

Já Ascheri et al. (2006b), ao analisarem as propriedades viscoamilográficas de farinhas mistas extrusadas de arroz polido e bagaço de jabuticaba, verificaram que a formulação era inversamente proporcional à viscosidade final, portanto, quanto maior o percentual de farinha de bagaço de jabuticaba, menor o valor de viscosidade final, enquanto a temperatura apresentou efeito positivo sobre a viscosidade final.

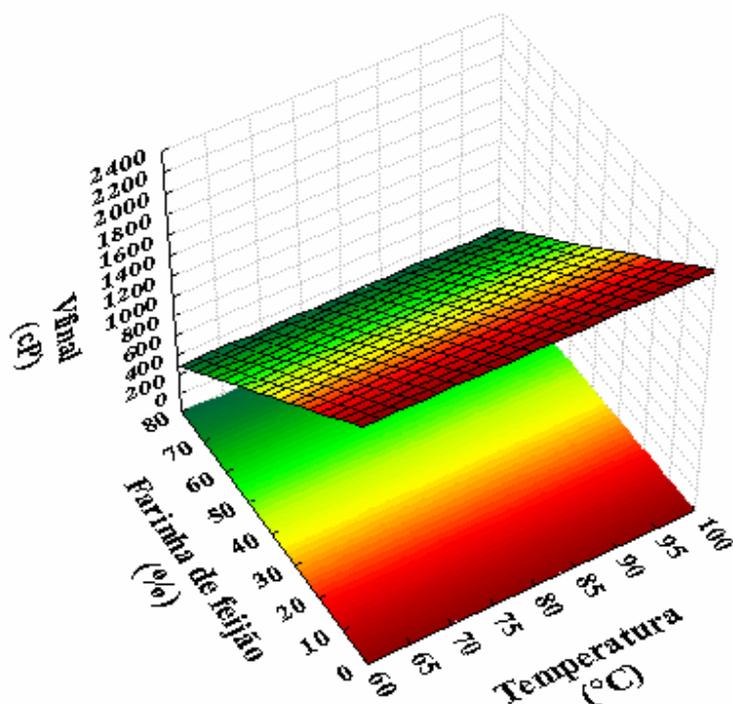


Figura 29. Efeito das variáveis quantitativas farinha de feijão (%) e temperatura (°C) na viscosidade de pasta final (cP) das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão.

Sabe-se que moléculas amiláceas, quando não totalmente degradadas, tendem a se reestruturar, aumentando assim, o valor da viscosidade de pasta final a 25 °C, refletindo o grau de retrogradação do amido. Com base nos resultados encontrados na Tabela 27, verifica-se que ocorreu retrogradação, visto que os valores numéricos da viscosidade final a 25 °C foram maiores do que os da viscosidade inicial a 25 °C.

Segundo Sebio (1996), baixos valores de viscosidade de pasta final são obtidos em tratamentos severos, onde ocorre degradação dos grânulos de amido e possíveis rompimentos de suas estruturas moleculares, que causam a perda da capacidade de retrogradação das mesmas, diminuindo a viscosidade no resfriamento. Dessa forma, pode-se dizer que a alta umidade e temperaturas brandas utilizadas no presente estudo colaboraram para os resultados encontrados.

4.5.3.7 Setback

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

De acordo com Carvalho, Ascheri e Cal-Vidal (2002), a retrogradação do amido ocorre por efeito da recristalização das moléculas de amilose e amilopectina, em virtude do agrupamento das partes lineares das moléculas do amido através da formação de novas ligações de hidrogênio, resultando na formação de precipitados e/ou géis (GUTKOSKI, 2000). O efeito dessa retrogradação implica diretamente no aumento da viscosidade final.

Conforme mostra a Tabela 27 o setback das massas alimentícias T_1 , T_{13} e T_{17} ¹⁵ foi maior quanto menor o percentual de farinha de feijão nas formulações, sendo respectivamente de 1276,00 cP, 2097,50 cP e 1269,50 cP.

Os valores do teste F e respectivas probabilidades dos parâmetros obtidos através da análise de variância do modelo aplicado estão descritos na Tabela 34. A equação da regressão quadrática aplicada apresentou um alto valor de coeficiente de determinação (0,94359), explicando cerca de 94 % da variação total do setback em torno da média e 6 % atribui-se aos resíduos, podendo o modelo ser considerado preditivo. Não foi evidenciada falta de ajuste do modelo aos dados experimentais ($P > 0,05$) e o intercepto foi altamente significativo ($P < 0,001$), o que demonstra que o ponto central foi escolhido adequadamente.

Analisando a Tabela 34, observa-se que as seguintes variáveis contribuíram para os valores de tendência à retrogradação: umidade linear ($P < 0,05$) e quadrática ($P \leq 0,01$), percentual de farinha de feijão na sua forma linear ($P < 0,001$) e quadrática ($P < 0,05$) e a interação entre umidade e percentual de farinha de feijão ($P < 0,05$). Com exceção da variável linear de umidade e quadrática da formulação, todas as demais apresentaram efeito negativo.

¹⁵ T_1 = 30 % umidade – 70 °C – 20 % farinha de feijão na mistura com arroz polido; T_{13} = 35 % umidade – 80 °C – 6,36 % farinha de feijão na mistura com arroz polido; T_{17} = 35 % umidade – 80 °C – 40 % farinha de feijão na mistura com arroz polido.

Tabela 34. Teste F da análise de variância, coeficiente de regressão e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrática aplicada ao Setback (cP) das massas alimentícias pré-cozidas de farinha mista de arroz e feijão, em função da umidade, temperatura e percentual de farinha de feijão.

Fator	Teste F	Coefficiente de Regressão	P
Intercepto	--	1120,5890	7,67E-07***
X ₁	1,32E+01	9,00E+01	1,50E-02*
X ₁ ²	1,55E+01	-9,48E+01	1,10E-02**
X ₂	1,35E+00	-2,87E+01	2,98E-01 ^{n.s.}
X ₂ ²	5,54E-01	-1,79E+01	4,90E-01 ^{n.s.}
X ₃	3,75E+02	-4,79E+02	6,77E-06***
X ₃ ²	7,43E+00	6,57E+01	4,15E-02*
X ₁ X ₂	4,83E+00	-7,11E+01	7,93E-02 ^{n.s.}
X ₁ X ₃	1,09E+01	-1,07E+02	2,14E-02*
X ₂ X ₃	5,73E+00	7,74E+01	6,20E-02 ^{n.s.}
Falta de ajuste	4,22E+00	--	7,00E-02 ^{n.s.}
R²		0,94359	

X₁: Umidade (%).

X₂: Temperatura (°C).

X₃: Farinha de feijão (%) na mistura com arroz polido.

-- Não determinado.

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

* = Significativo ao nível de 5 % de probabilidade.

** = Significativo ao nível de 1 % de probabilidade.

*** = Significativo ao nível de 0,1 % de probabilidade.

Pelas considerações feitas através da análise de variância (Tabela 34) e fazendo uso dos coeficientes estatisticamente significativos ao nível de 95 a 99,9%, a equação do modelo matemático proposto para as variáveis independentes codificadas (equação 25) fica restrita como:

$$\text{Setback} = 1120,59 + 90,01X_1 - 94,81X_1^2 - 479,26X_3 + 65,67X_3^2 - 106,81X_1X_3 \quad (25)$$

A Figura 30 representa o efeito das variáveis percentual de farinha de feijão e umidade na variável resposta. Nota-se que a formulação exerce contribuição inversamente proporcional ao setback sendo a variável que contribui com maior magnitude. Assim, quanto maior o valor do percentual de farinha de feijão, menor os valores de tendência à retrogradação.

Verifica-se ainda que teores mais elevados de umidade na mistura combinados com baixo percentual de farinha de feijão preto sem tegumento resultam em valores mais elevados para setback, o que pode ser comprovado através da observação da Tabela 27, que mostra os resultados da caracterização das massas alimentícias pré-cozidas. O maior setback foi encontrado para o tratamento T₅ (2134,00 cP), que foi processado a 70 °C, com 40 % de umidade e 20 % de farinha de feijão preto sem casca em sua formulação.

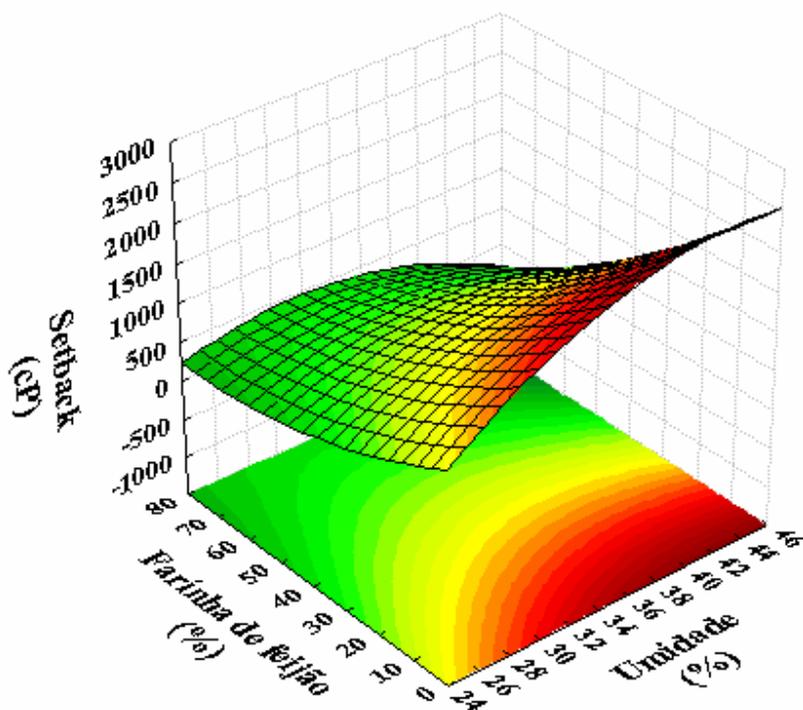


Figura 30. Efeito das variáveis quantitativas farinha de feijão (%) e umidade (%) no setback (cP) das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão.

Sabe-se que em tratamentos mais severos, onde os valores de tendência à retrogradação são menores, ocorre maior degradação dos polímeros, com rompimento das estruturas moleculares e redução da capacidade de recristalização dos mesmos, dessa forma, tendo em vista os resultados obtidos, pode-se dizer que as condições operacionais utilizadas no processamento das massas alimentícias preservaram a estrutura amilácea.

4.6 Avaliação Sensorial das Massas Alimentícias Pré-Cozidas à Base de Farinha Mista de Arroz Polido e Feijão Preto sem Casca

Os consumidores que participaram do teste de aceitação das massas alimentícias foram orientados a definir, caso quisessem, de forma livre, o que mais gostaram e desgostaram em cada uma das três amostras.

Dentre as qualidades da massa referente ao tratamento T₁ (20 % de farinha de feijão), para os provadores que não receberam informação nutricional sobre a massa alimentícia pré-cozida destacam-se o sabor da massa, sua leveza e textura e o molho. Para os consumidores que tiveram informação sobre o produto, além da leveza e textura, também foi mencionada a funcionalidade da massa e sabor característico de macarrão.

As respostas referentes ao quesito “menos gostou”, para T₁, entre os provadores com e sem informação foram textura um pouco dura e massa grudada. Para a massa referente ao tratamento T₁₃ (6,36 % de farinha de feijão), para os provadores com e sem informação, destacaram-se no quesito “mais gostou” a textura da massa, a sua aparência e sabor e dentre os atributos de “menos gostou”, pode-se citar textura um pouco dura. Para a massa referente ao tratamento T₁₇ (40 % de farinha de feijão), para os provadores sem informação, na seção “mais gostou” destacou-se o sabor diferenciado e na seção “menos gostou”, apareceram com maior frequência as seguintes características: massa quebradiça e resíduo arenoso. Já entre os provadores que tiveram informação nutricional sobre o produto as qualidades de maior expressão citadas foram a funcionalidade e a aparência do produto, e dentre o que menos gostaram, apresentaram-se a textura quebradiça e arenosa e sabor residual. Assim, pode-se sugerir que as respostas fornecidas pelos consumidores que tiveram acesso a informações relativas às amostras submetidas ao teste de aceitação relacionaram-se a sua composição e benefícios nutricionais.

Nas Tabelas 35 e 36 estão apresentadas as médias de impressão global, sabor, textura e intenção de compra das massas pré-cozidas à base de arroz e feijão para as duas classes de consumidores.

Tabela 35. Médias* de impressão global, sabor, textura e intenção de compra das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão. Consumidores sem informação a respeito do produto.

Tratamentos	Impressão Global**	Sabor**	Textura***	Intenção de Compra****
T ₁	6,45 ^a	6,40 ^a	5,31 ^a	4,90 ^a
T ₁₃	5,98 ^a	6,15 ^a	5,08 ^a	4,50 ^a
T ₁₇	4,68 ^b	4,63 ^b	4,92 ^a	3,45 ^b

T₁: Tratamento 1 – 30 % umidade – 70 °C – 20 % farinha de feijão na mistura com arroz polido.

T₁₃: Tratamento 13 – 35 % umidade – 80 °C – 6,36 % farinha de feijão na mistura com arroz polido.

T₁₇: Tratamento 17 – 35 % umidade – 80 °C – 40 % farinha de feijão na mistura com arroz polido.

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

** 1 = desgostei extremamente até 9 = gostei extremamente.

*** 1 = muito duro / 5 = ideal / 9 = muito mole.

**** 1 = certamente não compraria / 7 = certamente compraria.

Tabela 36. Médias* de impressão global, sabor, textura e intenção de compra das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão. Consumidores com informação a respeito do produto.

Tratamentos	Impressão Global**	Sabor**	Textura***	Intenção de Compra****
T ₁	6,22 ^a	6,40 ^a	4,28 ^a	4,39 ^a
T ₁₃	5,51 ^a	5,51 ^a	4,16 ^a	4,00 ^a
T ₁₇	4,34 ^b	4,34 ^b	4,10 ^a	2,85 ^b

T₁: Tratamento 1– 30 % umidade – 70 °C – 20 % farinha de feijão na mistura com arroz polido.

T₁₃: Tratamento 13 – 35 % umidade – 80 °C – 6,36 % farinha de feijão na mistura com arroz polido.

T₁₇: Tratamento 17 – 35 % umidade – 80 °C – 40 % farinha de feijão na mistura com arroz polido.

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

**1 = desgostei extremamente até 9 = gostei extremamente.

***1 = muito duro / 5 = ideal / 9 = muito mole.

****1 = certamente não compraria / 7 = certamente compraria.

Observa-se que, ao nível de 5 % de significância, não houve diferença estatística entre as massas alimentícias referentes ao tratamento T₁ (com 20 % de farinha de feijão) e ao T₁₃ (com 6,36 % de farinha de feijão) para impressão global, sabor, textura e intenção de compra, tanto para os provadores que obtiveram informações a respeito do produto antes de realizar o teste de aceitação quanto para os que não as tiveram, assim como entre os dois grupos de provadores. Entretanto, a amostra T₁ obteve as maiores médias para todos os atributos avaliados. A amostra T₁₇ (com 40 % de farinha de feijão) diferiu significativamente das demais em todos as características nos dois grupos de consumidores.

A massa alimentícia T₁, para impressão global, para os consumidores sem informação (Tabela 35), obteve média 6,45, considerada na escala hedônica de 9 pontos como “gostei ligeiramente” e a amostra T₁₃ obteve média 5,98 (não gostei nem desgostei e gostei ligeiramente), sendo semelhante ao reportado por Dutcosky, Fugmann e Waszczyński (1996) para massa alimentícia a base de farinha de arroz e amido de milho que recebeu nota 5,8 (gostei ligeiramente) e por Caperuto (1999) que elaborou massa alimentícia utilizando farinha de milho e quinoa e obteve nota média de 6,83 (gostei ligeiramente e gostei moderadamente).

Para textura, a média obtida com os dados fornecidos pelos consumidores sem informação foi de 5,31 para T₁, 5,08 para T₁₃, e 4,92 para T₁₇, valores que são classificados como ideal na escala adotada. Não houve diferença estatística significativa ao nível de 5 % entre as amostras. Para a outra classe de consumidores (Tabela 36), as médias de textura também não diferiram estatisticamente entre si e ficaram próximas do ideal.

Analisando as Tabelas 35 e 36, observa-se que as massas alimentícias referentes aos tratamentos T₁ e T₁₃, para ambas classes de consumidores, apresentaram intenção de compra com média entre 4 e 5, que na escala adotada pode ser classificada como talvez comprasse. Já a massa T₁₇, apresentou intenção de compra próxima à opção certamente não compraria.

Vale ressaltar que a escolha e conseqüente compra de um alimento pelo consumidor é influenciada por vários fatores inter-relacionados e não apenas pelas características intrínsecas do produto. Segundo Deliza, Rosenthal e Silva (2003) esses fatores variam desde experiências anteriores com o produto, o contexto, a informação disponível e ainda a personalidade do consumidor. Para Barker, Thompson e McClean (1995) citados por Silva, Silva e Chang (1998) características como sabor, satisfação e conveniência, também podem afetar a escolha do alimento e atenuar ou aumentar as razões nutricionais para a escolha de um alimento em particular.

As Tabelas 37 e 38 apresentam os percentuais de aceitação, indiferença e rejeição das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão.

Tabela 37. Percentagens de aceitação, indiferença e rejeição das massas alimentícias de arroz e feijão. Consumidores sem informação a respeito do produto.

Tratamentos	% Aceitação	% Indiferença	% Rejeição
	Notas > 5	Nota = 5	Notas < 5
T ₁	75,00	12,50	12,50
T ₁₃	72,50	15,00	12,50
T ₁₇	37,50	17,50	45,00

T₁: Tratamento 1 – 30 % umidade – 70 °C – 20 % farinha de feijão na mistura com arroz polido.

T₁₃: Tratamento 13 – 35 % umidade – 80 °C – 6,36 % farinha de feijão na mistura com arroz polido.

T₁₇: Tratamento 17 – 35 % umidade – 80 °C – 40 % farinha de feijão na mistura com arroz polido.

Tabela 38. Percentagens de aceitação, indiferença e rejeição das massas alimentícias de arroz e feijão. Consumidores com informação a respeito do produto.

Tratamentos	% Aceitação	% Indiferença	% Rejeição
	Notas > 5	Nota = 5	Notas < 5
T ₁	77,50	10,00	12,50
T ₁₃	58,54	14,63	26,83
T ₁₇	31,71	9,76	58,54

T₁: Tratamento 1 – 30 % umidade – 70 °C – 20 % farinha de feijão na mistura com arroz polido.

T₁₃: Tratamento 13 – 35 % umidade – 80 °C – 6,36 % farinha de feijão na mistura com arroz polido.

T₁₇: Tratamento 17 – 35 % umidade – 80 °C – 40 % farinha de feijão na mistura com arroz polido.

Apesar de não haver diferença estatística significativa para a aceitação entre as amostras T₁ (com 20 % de farinha de feijão) e T₁₃ (com 6,36 % de farinha de feijão), em relação ao percentual de aprovação, observa-se que para os consumidores com informação a respeito do produto (Tabela 38), a massa alimentícia pré-cozida T₁ apresentou o maior percentual de aprovação, 77,50 %, e conseqüentemente, o menor percentual de rejeição, 12,50 %. A amostra T₁₃ apresentou cerca de 59 % de aprovação e 27 % de rejeição. Entretanto, para os consumidores sem informação (Tabela 37) tanto T₁ quanto T₁₃ obtiveram aprovação superior a 72 %. Já os índices de reprovação das amostras foram inferiores a 13 %, indicando que poucos consumidores não gostaram destas massas. De forma geral, a massa alimentícia T₁ manteve um padrão tanto para aprovação, quanto para indiferença e rejeição dentro dos dois grupos de consumidores.

A amostra T₁₇ (com 40 % de farinha de feijão), que diferiu significativamente ($P < 0,05$) das demais massas alimentícias, obteve o menor percentual de aprovação e o maior índice de rejeição nas duas classes de consumidores estudadas.

Observando as Figuras 31, 32, 33 e 34, as quais apresentam os histogramas de distribuição de porcentagem das notas dos participantes para impressão global e sabor para as três amostras de massa elaboradas, torna possível visualizar a segmentação dos valores hedônicos de cada amostra. Além disso, através dos mesmos também é possível verificar o nível de aceitação das amostras, assim como permite a comparação do desempenho das massas entre si.

Analisando as Figuras 31 e 32, obtidas através da resposta individual de cada consumidor para impressão global, observa-se que, para os que tinham informação nutricional sobre as massas, as amostras T₁ e T₁₃ apresentaram 51,22 % e 51,21 % da opinião dos consumidores nos termos “gostei moderadamente” e “gostei muito”, e 19,51 % e 24,39 % para “gostei ligeiramente”, respectivamente. Para a amostra T₁ não houve resposta para o termo “desgostei extremamente”. Observa-se também que apesar de preterida, a amostra T₁₇ apresentou 24,39 % de aceitação nos termos “gostei moderadamente” e “gostei muito”. Para os consumidores sem informação, 50 % das respostas foram nos termos “gostei moderadamente”, “gostei muito” e “gostei extremamente” para T₁, e na mesma escala de classificação, T₁₃ apresentou 45 % de aceitação. Já a massa T₁₇, que diferiu das demais e obteve as menores médias, obteve 40 % de aceitação nos termos “gostei ligeiramente”, “gostei moderadamente” e “gostei muito”.

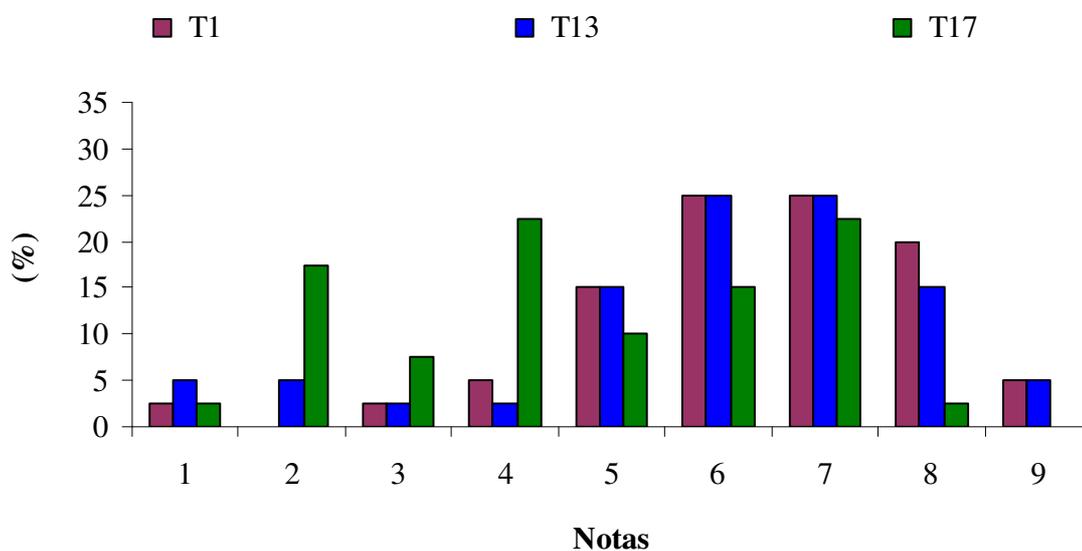


Figura 31. Histograma de distribuição de porcentagem das notas atribuídas à impressão global das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão (1 = desgostei extremamente, 5 = não gostei nem desgostei, 9 = gostei extremamente). Consumidores sem informação a respeito do produto.

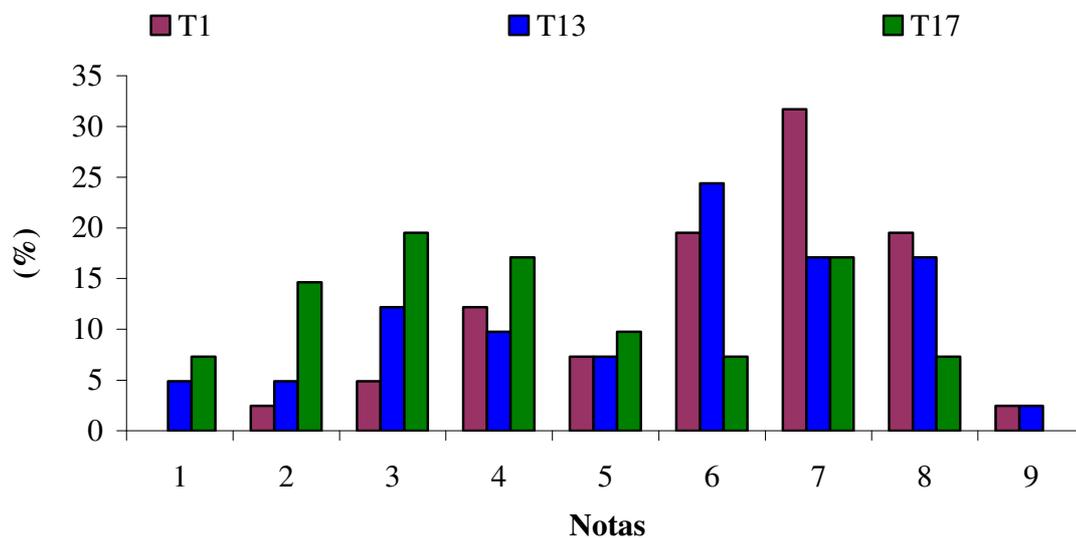


Figura 32. Histograma de distribuição de porcentagem das notas atribuídas à impressão global das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão (1 = desgostei extremamente, 5 = não gostei nem desgostei, 9 = gostei extremamente). Consumidores com informação a respeito do produto.

As Figuras 33 e 34 apresentam a distribuição das notas atribuídas ao sabor para as duas classes de consumidores.

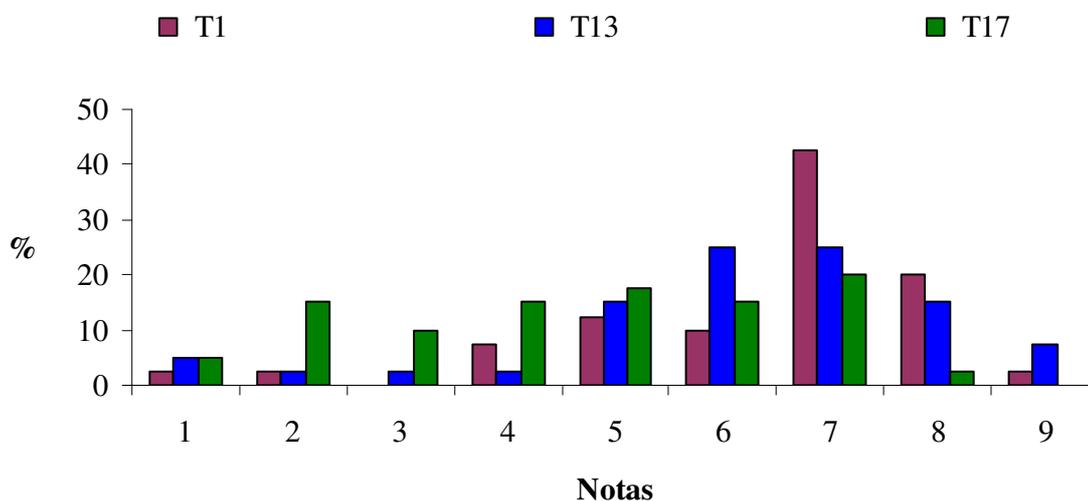


Figura 33. Histograma de distribuição de porcentagem das notas atribuídas ao sabor das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão (1 = desgostei extremamente, 5 = não gostei nem desgostei, 9 = gostei extremamente). Consumidores sem informação a respeito do produto.

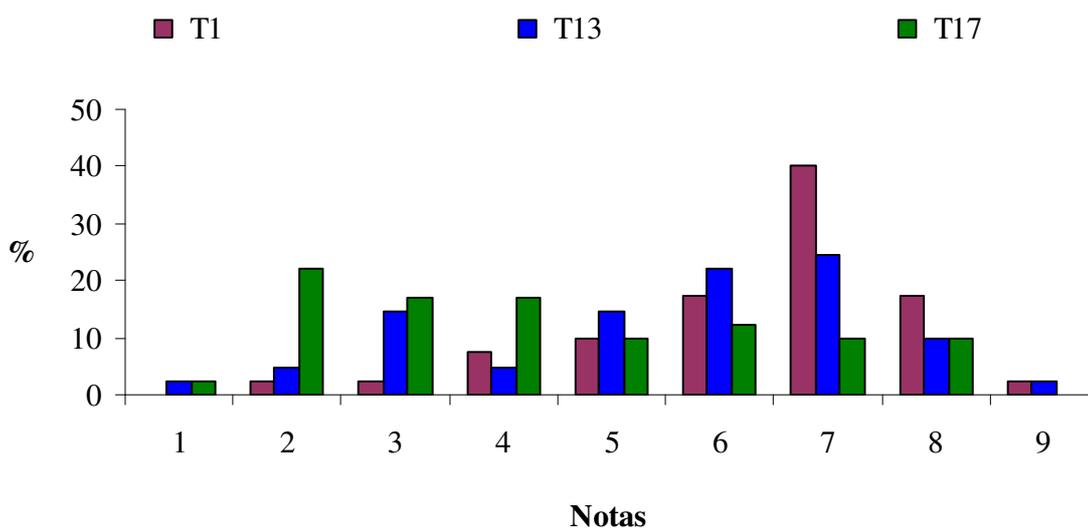


Figura 34. Histograma de distribuição de porcentagem das notas atribuídas ao sabor das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão (1 = desgostei extremamente, 5 = não gostei nem desgostei, 9 = gostei extremamente). Consumidores com informação a respeito do produto.

Para os consumidores sem informação (Figura 32), 65 % e 47,50 % das respostas em relação ao sabor foram nos termos “gostei moderadamente”, “gostei muito” e “gostei extremamente” para T₁ e T₁₃¹⁶, respectivamente. A amostra T₁₇¹⁶ apresentou 35 % das opiniões nos termos “gostei ligeiramente” e “gostei moderadamente”. Dentre os consumidores com informação (Figura 33), 75 % dos consumidores distribuíram suas impressões nos termos “gostei ligeiramente”, “gostei moderadamente” e “gostei muito” para T₁¹⁶, 56,10 % para T₁₃¹⁶ e 31,72 % para T₁₇¹⁶, para esta mesma classificação.

¹⁶ T₁ = 30 % umidade – 70 °C – 20 % farinha de feijão na mistura com arroz polido; T₁₃ = 35 % umidade – 80 °C – 6,36 % farinha de feijão na mistura com arroz polido; T₁₇ = 35 % umidade – 80 °C – 40 % farinha de feijão na mistura com arroz polido.

5 CONCLUSÕES

De acordo com os experimentos realizados e resultados observados, conclui-se que o processo de extrusão termoplástica é uma tecnologia adequada para a elaboração de massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão, tornando possível a produção de massas com satisfatórias características químicas, físicas, tecnológicas funcionais e sensoriais.

Sob o ponto de vista nutricional, a elaboração de massas com farinha de arroz polido associada à farinha de feijão preto sem casca, possibilitou a obtenção de massas com excelente qualidade nutricional, destacando-se o elevado teor de proteína, baixo teor de lipídeos e alto conteúdo mineral, principalmente ferro, cobre, zinco, magnésio e manganês. Além disso, as massas alimentícias pré-cozidas apresentaram teores expressivos de riboflavina. Isso foi possível devido ao valor nutricional apresentado pela farinha de feijão.

Quanto ao processo de extrusão, dentre as variáveis estudadas, a farinha de feijão preto sem tegumento foi a variável independente que exerceu efeito mais pronunciado sobre as características tecnológicas funcionais e de qualidade das massas alimentícias pré-cozidas, seguida pela umidade da mistura.

Com relação às características físicas, de modo geral, os parâmetros de cor avaliados foram influenciados pelo percentual de farinha de feijão presente nas massas, sendo esta farinha fundamental para que a coloração apresentada pelas massas pré-cozidas fosse semelhante a das massas convencionais à base de trigo. Já no que se refere à granulometria das matérias-primas, a mesma foi adequada, o que favoreceu a uniformidade observada nas massas alimentícias pré-cozidas.

O teste de aceitação realizado com as massas alimentícias que apresentaram melhores resultados nos testes de qualidade, tais como adequada resistência ao cozimento, menores perdas de sólidos solúveis na água de cozimento, baixa acidez alcoólica, satisfatórios aumentos de peso e volume e aparência característica, indicaram que não houve diferença estatística entre as massas T₁ (30 % umidade – 70 °C – 20 % farinha de feijão) e T₁₃ (35 % umidade – 80 °C – 6,36 % farinha de feijão), entretanto T₁ obteve as maiores médias para todos os parâmetros avaliados (impressão global, sabor, textura e intenção de compra) e menor rejeição. A massa alimentícia T₁₇ (35 % umidade – 80 °C – 40 % farinha de feijão) apresentou menor aceitação.

É válido salientar que as informações nutricionais fornecidas à metade dos provadores, previamente à realização da análise sensorial, de modo geral, não influenciaram significativamente as respostas dadas pelos provadores.

Assim, conclui-se que a elaboração de massas alimentícias pré-cozidas por extrusão termoplástica, isentas de glúten, a partir de dois alimentos de grande importância e presença na alimentação da população brasileira, é uma alternativa viável e altamente nutritiva, podendo estas massas, serem utilizadas tanto por indivíduos saudáveis, que almejam consumir produtos ricos em nutrientes essenciais para a manutenção do bom funcionamento do organismo, quanto por portadores da doença celíaca, que dispõem de poucas opções no mercado brasileiro de massas que além de conter alto valor energético, forneçam um excelente aporte mineral e apresentem boa qualidade protéica.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABECASSIS, J.; ABOU, R.; CHAURAND, M.; MOREL, M.H.; VERNOUX, P. Influence of extrusion conditions on extrusion speed, temperature and pressure in extruder and on pasta quality. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 71, p. 247-253, 1994.

ALONSO, R.; AGUIRRE, A.; MARZO, F. Effect of extrusion and traditional processing methods on antinutrients and in vitro digestibility of protein and starch in faba and kidney beans. **Food Chemistry**, Saint Paul, v. 68, p. 159-195, 2000.

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

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS (AACC). **Approved methods of the AACC**. 9ª edição, Saint Paul, 1995. v. 1-2.

ANDERSON, J.J.B. "Minerais". In: MAHAN, L.K.; ESCOTT-STUMP, S. **Krause: Alimentos, Nutrição & Dietoterapia**. 11ª edição. São Paulo: Roca, 2005. p. 115-155.

ANDERSON, R.A.; CONWAY, H.F.; PFEIFER, V.F.; GRIFFIN JR., L. Gelatinization of Corn Grits by Roll- and Extrusion-Cooking. **Cereal Science Today**, Saint Paul, v. 14, n. 1, p. 4-11, 1969.

ANDRADE, E.C.B.; BARROS, A.M.; MAGALHÃES, A.C.P.; CASTRO, L.L.C.; TAKASE, I. Comparação dos teores de cobre e zinco em leguminosas cruas e após serem processadas termicamente em meio salino e aquoso. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 24, n. 3, p. 316-318, 2004a.

ANDRADE, E.C.B.; BARROS, A.M.; MELLO, V.S.; TAKASE, I. Avaliação do teor de cobre e zinco em carnes cruas, processadas termicamente, resfriadas e congeladas no período de um mês. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 24, n. 3, p. 393-396, 2004b.

ANNISON, G.; TOPPING, D.L. Nutritional role of resistant starch: chemical, structure vs physiological function. **Chemistry Annual Review Nutrition**, v. 14, p. 297-320, 1994.

ANTUNES, P.L.; BIHALVA, A.B.; ELIAS, M.C.; SOARES, G.J.D. Valor nutricional de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.), cultivares Rico 23, Carioca, Piratã-1 e Rosinha-G2. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 1, n. 1, 1995.

ARÁMBULA, G.V; YÁÑEZ-LIMÓM, J.M.; GONZÁLEZ-HENNÁNDEZ, J.; MARTÍNEZ-MONTES, J.D.L.; FIGUEROA, J.D.C; ALVARADO-GIL, J.J.; VARGAS, H.; SANCHEZ-SINENCIO, F. Effects of starch gelatinisation on the thermal, dielectric and rheological properties of extruded corn masa. **Journal of Cereal Science**, London, v. 27, n. 2, p. 147-155, 1998.

ARAÚJO, A.C.M.F.; ARAÚJO, W.M.C. Cálcio e ferro: aspectos nutricionais. **Revista Higiene Alimentar**, São Paulo, v. 16, n. 98, p. 18-28, 2002.

ARAÚJO, R.S. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafos, 1996. 786p.

AREAS, J.A. Extrusion of food proteins. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Boca Raton, v. 32, n. 4, p. 365-392, 1992.

ASCHERI, J.L.R. **Extrusão termoplástica de amidos e produtos amiláceos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CTAA, 1997. 43p. (EMBRAPA-CTAA, Documentos, n. 19).

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

ASCHERI, J.L.R. **Curso de processo de extrusão de alimentos: aspectos tecnológicos para o desenvolvimento e produção de alimentos extrusados, para o consumo humano e animal**. EMBRAPA, 2007.

ASCHERI, D.P.R.; ANDRADE, C.T.; CARVALHO, C.W.P.; ASCHERI, J.L.R. Efeito da extrusão sobre a adsorção de água de farinhas mistas pré-gelatinizadas de arroz e bagaço de jabuticaba. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 2, p. 352-335, 2006a.

ASCHERI, D.P.R.; ANDRADE, C.T.; CARVALHO, C.W.P.; ASCHERI, J.L.R. Obtenção de farinhas mistas pré-gelatinizadas a partir de arroz e bagaço de jabuticaba: efeito das variáveis de extrusão nas propriedades de pasta. **Boletim do CEPPA**, Curitiba, v. 24, n. 1, p. 115-144, 2006b.

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

ASP, N.G.; BJORCK, I. Nutritional properties of extruded. In: MERCIER, C.; LINKO, P.; HARPER, J.M. (Eds). **Extrusion Cooking**. Saint Paul: AACC, 1989. p. 399-434.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDÚSTRIAS DE MASSAS ALIMENTÍCIAS (ABIMA). Disponível em: <http://www.abima.com.br/est_mmundial.html>. Acesso em: 10 dez. 2008.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY (AOAC). **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry**. 16^a edição. Arlington: Washington, 2005.

AUTRAN, J.C.; ABECASSIS, J.; FEILLET, P. Statistical evaluation of different technological and biochemical tests for quality assessment in durum wheat. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 63, n. 5, p.390-394, 1986.

AZEVEDO, A.; GOMES, J.C.; STRINGHETA, P.C.; GONTIJO, A.M.C.; PADOVANI, C.R.; RIBERIO, L.R.Z. et al. Black bean (*Phaseolus vulgaris*, L.) as a protective agent against DNA damage in mice. **Food and Chemical Toxicology**, v. 41, p. 1671-1676, 2003.

BADRIE, N.; MELLOWES, W.A. Effect of extrusion variables on cassava extrudates. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 56, n. 5, p. 1334-1337, 1991.

BALAGOPALAN, C. Cassava utilization in food, feed and industry. In: HILLOCKS, R.J.; THRESH, J.M.; BELLOTTI, A.C. **Cassava: biology, production and utilization**. Wallingford: CAB International, 2002. p. 301-317.

BANWART, G.J. **Basic Food Microbiology**. 3^a edição. Westport: AVI, 1983.

BARBOSA, L.N.; GARCIA, L.V.; TOLOTTI, K.D.; GOELLNER, T.; AUGUSTO-RUIZ, W.; SANTO, M.E. Elaboração de embutido tipo mortadela com farinha de arroz. **Vetor**, Rio Grande, v. 16, n. 1-2, p. 11-20, 2006.

BARKER, M.E., THOMPSON, K.A. MCCLEAN, S.I. Attitudinal dimensions of food choice and nutrient intake. Br. J. Nutr., v. 74, n. 5, p. 649-659, 1995. In: SILVA, M.R.; SILVA, M.A.A.P.; CHANG, Y.K. Utilização da farinha de jatobá (*Hymenaea stigonocarpa* Mart.) na elaboração de biscoitos tipo *cookie* e avaliação de aceitação por testes sensoriais afetivos univariados e multivariados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 18, n. 1, p. 25-34, 1998.

BECKER, A.; HILL, S.E.; MITCHELL, J.R. Milling – a further parameter affecting the rapid visco analyzer (rva) profile. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, n. 78, p. 199-172, 2001.

BERGMAN, C.J.; GUALBERTO, D.G.; WEBER, C.W. Development of a high-temperature-dried soft wheat pasta supplemented with cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). Cooking quality, color and sensory evaluation. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 71, n. 6, p. 523-527, 1994.

BERRIOS, J.J. Extrusion cooking of legumes: dry bean flours. **Encyclopedia of Agricultural, Food and Biological Engineering**, v. 1, p. 1-8, 2006.

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

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

BODWELL, C.E. The nutritional importance of protein. **Cereal Foods World**, Saint Paul, v. 25, n. 7, p. 370-376, 1980.

BOONYASIRIKOOL, P.; CHARUNUCH, C. Development of nutritious soy fortified snack by extrusion Cooking. **Kasetsart J. (Nat. Sci.)**, v. 34, n. 3, p. 355-365, 2000.

BORBA, A.M. **Efeito de alguns parâmetros operacionais nas características físicas, físico-químicas e funcionais de extrusados da farinha de batata-doce (*Ipomoea batatas*)**. 2005. 98f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo. 2005.

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

BORDERÍAS, A.J.; MONTERO, P. Fundamentos de la funcionalidad de las proteínas em alimentos. **Revista Agroquímica y Tecnología de Alimentos**, Valencia, v. 28, n. 2, p. 159-169, 1988.

BORGES, J.T.S. **Elaboração de macarrão pré-cozido à base de farinha integral de quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd) e farinha de arroz (*Oryza sativa*, L) utilizando o processo de extrusão termoplástica**. 2002. 115f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Instituto de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro. 2002.

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

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

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

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

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Resolução Mercosul n° 5, de 25 de abril de 1997. Aprova o regulamento técnico do Mercosul de identidade e de qualidade de arroz beneficiado. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF. Disponível em: <<http://extranet/agricultura.gov.br/consultasislegis>>. Acesso em: 10 fev. 2007.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). Resolução RDC N° 93 de 31 de Outubro de 2000. Dispõe sobre o regulamento técnico para fixação de identidade e qualidade de massas alimentícias. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br/alimentos/legis/especifica/htm>>. Acesso em: 10 jun. 2008.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). Resolução RDC n° 12, de 01 de Janeiro de 2001. Aprova o regulamento técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 10 jan., Seção 1, p. 45-53.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa 62, de 26 de agosto de 2003 - Métodos de Analíticos Oficiais para Análises Microbiológicas para o Controle de Produtos de Origem Animal e Água, **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2003.

BRESSANI, R. Research needs to up-grade the nutritional quality of common beans (*Phaseolus vulgaris*). **Quality Plant Foods for Human Nutrition**, v. 32, n. 1, p. 101-110, 1983.

BRESSANI, R.; ELIAS, L.G. Relación entre la digestibilidad y el valor proteínico del frijol comun (*Phaseolus vulgaris*). **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, Caracas, v. 34, n. 1, p. 189-197, 1984.

BRYANT, R.J. et al. Funtional and digestive characteristics of extruded rice flour. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 78, n. 2, p. 131-137, 2001.

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 desengordurada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, p. 1137-1143, 1994.

CAMBRODÓN, I.G.; MARTÍN-CARRÓN, N. Fermentación colónica de fibra dietética y almidón resistente. In: LAJOLO, F.M.; SAURA-CALIXTO, F.; PENNA, E.W.; MENEZES, E.W. **Fibra dietética en Iberoamérica tecnologia y salud-obtención, caracterización, efecto fisiologico y aplicación en alimentos**. São Paulo: Varela, 2001. p. 311-337.

CAPERUTO, L.C. **Desenvolvimento e avaliação de massa tipo macarrão para celíacos**. 1999. 116f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Nutrição) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo. 1999.

CARVALHO, C.N.; SDEPANIAN, V.L; MORAIS, M.B.; FAGUNDES-NETO, U. Doença celíaca em tratamento: avaliação da densidade mineral óssea. **Jornal de Pediatria**, Rio de Janeiro, v. 79, n. 4, p. 303-308, 2003.

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

CASAGRANDE, D.A.; CANNIATI-BRAZACA, M.S.; 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. **Revista de Nutrição**, 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 em arroz**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 30 p.

CHAMP, M. Impact nutritionnel de la cuisson-extrusion. In: COLLONA, P.; VALLE, D. Eds. **La Cuisson-Extrusion**. Paris: Technique and Documentation-Lavoisier, 1994. p. 203-229. (Collection sciences et techniques agro-alimentaires, 0243-5624).

CHAMP, M.; FAISANT, N. Resistant starch: analytical and physiological aspects. **Boletim da SBCTA**, Campinas, v. 30, n. 1, p. 37-43, 1996.

CHANG, Y.K.; FLORES, H.E.M. Qualidade tecnológica de massas alimentícias frescas elaboradas de semolina de trigo durum (*T. durum* L.) e farinha de trigo (*T. aestivum* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 24, n. 4, p. 487-493, 2004.

CHANG, Y.K.; HASHIMOTO, J.M.; ACIOLI-MOURA, R.; MARTINÉZ-FLORES, H.E.; MARTINÉZ-BUSTOS, F. Influence of extrusion condition on cassava starch and soybean protein concentrate blends. **Acta Alimentaria**, Amsterdam, v. 30, n. 2, p. 189-203, 2001.

CHAUHAN, G.S.; BAINS, G.S. Effect of defatted soy flour on the physico-chemical characteristics of extruded rice products. **Journal of Food Science and Technology**, London, v. 22, n. 2, p. 115-118, 1985.

CHEN, J.; SERAFIN, F.L.; PANDYA, R.N.; DAUN, H. Effects of extrusion conditions on sensory properties of corn meal extrudates. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 56, p. 84-89, 1991.

CHEYNE, A.; BARNES, J.; WILSON, D.I. Extrusion behaviour of cohesive potato starch pastes: I. Rheological characterisation. **Journal of Food Engineering**, v. 66, p. 1-12, 2005.

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

CHOE, J.S. Comparison of nutritional composition in Korean rices. **Journal Korean Society Food Science and Nutrition**, v. 31, n. 1, p. 885-892, 2002.

CHUANG, G.C.C.; YEH, A.I. Effect of screw profile on residence time distribution and starch gelatinization of rice flour during single screw extrusion cooking. **Journal of Food Engineering**, v. 63, p. 21-31, 2004.

CIACCO, C.F.; CHANG, Y.K. **Massas: tecnologia e qualidade**. Editora Unicamp: 1986. 127p.

CICLITIRA, P.J.; ELLIS, H.J. Determination of gluten content of foods. **Panminerva Medica**, v. 33, n. 2, p. 75-82, 1991.

COLE, M.E.; JOHNSON, D.E.; COLE, R.W.; STONE, M.B. High temperature-short time pasta, processing: effect of formulation on extrudates properties. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 55, n. 6, p. 1651-1656, 1990.

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

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, terceiro levantamento – dezembro/2008**. Brasília: Conab, 2008. 37p.

COOK, J.D.; DASSENKO, S.A. WHITTAKER, P. Calcium supplementation: effect on iron absorption. **American Journal of Clinical Nutrition**, Bethesda, v. 53, n. 1, p. 106-111, 1991.

COSTA, G.; QUEIROZ-MONICI, K.; REIS, S.; OLIVEIRA, A. Chemical composition, dietary fiber and resistant starch contents of raw and cooked pea, common bean, chickpea and lentil legumes. **Food Chemistry**, Saint Paul, v. 94, n. 3, p. 327-330, 2006.

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

DAWSON-HUGHES, B.; SELIGSON, F.H.; HUGHES, V.A. Effects of calcium carbonate and hydroxyapatite on zinc and iron retention in postmenopausal women. **American Journal of Clinical Nutrition**, Bethesda, v. 44, p. 83-88, 1986.

D'EGIDIO, M.G.; MARIANI, B.M.; NARDI, S.; NOVARO, P.; CUBADDA, R. Chemical and technological variables and their relationships: a predictive equation for pasta cooking quality. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 67, n. 3, p. 275-281, 1990.

DELIZA, R.; ROSENTHAL, A; SILVA, A.L S. Consumer attitudes towards information on non conventional technology. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v. 14, n. 1, p. 43-49, 2003.

DENARDIN, C.C.; SILVA, L.P.; STORCK, C.R.; NÖRNBERG, J.L. Composição mineral de cultivares de arroz integral, parboilizado e branco. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 15, n. 2, p. 125-130, 2004.

DEPIERI, M. **Desenvolvimento de pastas alimentícias instantâneas por processo de extrusão termoplástica: influência do tipo de trigo, teor de emulsificantes e parâmetros do processo na qualidade do produto**. 2004. 133f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo. 2004.

DESHPANDE, S.S.; RANGNEKAR, P.D.; SATHE, S.K.; SALUNKE, D.K. Functional properties of wheat-bean composite flours. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 48, n. 2, p.1659-1662, 1983.

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

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

DORS, G.C.; CASTIGLIONI, G.L.; AUGUSTO-RUIZ, W. Utilização da farinha de arroz na elaboração de sobremesa. **Vetor**, Rio Grande, v. 16, n. 1-2, p. 63-67, 2006.

DOWNES, F.P.; ITO, K. **Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods**. 4ª edição. Washington, D.C.: American Public Health Association (APHA), 2001.

DUARTE, M.S.L. **Digestibilidade in vivo e in vitro de proteínas de feijão preto**. 1999. 63f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais. 1999.

DUTCOSKY, S.D.; FUGMANN, H.A.J.; WASZCZYNSKYJ, N. Desenvolvimento de tecnologia para fabricação de massas alimentícias isentas de glúten, tipo espaguete pré-cozido. **Boletim do CEPPA**, Curitiba, v. 14, n. 1, p. 111-130, 1996.

DZIEZAK, J.D. Romancing the kernel: a salute to rice varieties. **Food Technology**, Chicago, v. 45, n. 6, p. 74-60, 1991.

EL-DASH, A.A. Application and control of thermoplastic extrusion of cereals for food and industrial uses. In: POMERANZ, Y.; MUNICH, L. **Cereals: a renewable resource, theory and practice**. American Association of Cereal Chemists. Saint Paul: 1981, cap. 10, p.165-216.

EL-DASH, A.A. **Termoplastic extrusion of food, theory and techniques**. Campinas: UNICAMP, 1982. 81p.

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

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Embrapa Arroz e Feijão. **Análise da cultura do feijão no contesto mundial**. Disponível em: <<http://www.cnpaf.embrapa.br/eventosenoticias/antiores/antiores2008/081222.htm>>. Acesso em: 26 dez. 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Embrapa Arroz e Feijão. **Composição Nutricional do Arroz**. Disponível em: <<http://www.cnpaf.embrapa.br/parperfeito/arroz/composicao.htm>>. Acesso em: 02 jan. 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Embrapa Arroz e Feijão. **Composição Nutricional do Feijão**. Disponível em: <<http://www.cnpaf.embrapa.br/parperfeito/feijao/composicao.htm>>. Acesso em: 02 jan. 2009.

EMPSON, K.L.; LABUZA, T.P.; GRAF, E. Phytic acid as a food antioxidant. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 56, n. 2, p. 560-563, 1991.

ENSMINGER, AH.; ENSMINGER, M.E.; KONLANDE, J.E.; ROBSON, J.R.K. **Foods & Nutrition Encyclopedia**. 2ª edição. Boca Raton: CRC Press, v. 1. 2090p. 1994.

ESTEVES, A.M. **Comparação química e enzimática de seis linhagens de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 2000. 55f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais. 2000.

EUROPEAN STANDARD EN 14152. **Determination of vitamin B2 by HPLC**. Deutsches Institute fur Nourmung, Alemanha, Berlim, 2003.

EUSÉBIO, S.; MAMARIL, J.C.; EUSÉBIO, J.A. et al. Studies on Philippine leguminous seeds as protein foods. I. Evaluation of protein quality in some local beans based on their aminoacid patterns. **The Philippine Agriculturist**, v. 52, p. 211-217, 1968.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Statistical Databases**. Disponível em: <<http://www.fao.org.br>>. Acesso em: 3 mai. 2007.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS/ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE (FAO/OMS). **Human energy requirements**. Report of a joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation FAO Food and nutrition technical report series n. 1, Geneva. 2001.

FELBERG, I.; CABRAL, L.C. **Otimização do processo de descascamento de soja utilizando descascador de disco paralelos horizontais**. Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2001 (Comunicado Técnico (n. 43)).

FELLOWS, P.J. **Food processing technology: principles and practice**. 2ª edição. Cambridge: Midway Technology Limited, 2000. 608p.

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

FERREIRA, S.M.R. Controle da qualidade de alguns produtos. In: FERREIRA, S.M.R. **Controle da qualidade em sistemas de alimentação coletiva I**. São Paulo: Varela, 2002. Capítulo 6, p. 49-150.

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, 1985. 170p.

FOOD AND DRUG ADMINISTRATION (FDA). Center for Food Safety and Applied Nutrition. BENNETT, R.W.; LANCETTE, G.A. *Staphylococcus aureus*. In: _____. **Bacteriological and Analytical Manual Online**. USA. 2001. Disponível em: <<http://www.cfsan.fda.gov/~ebam/bam-12.html>>. Acesso em: 16 mar. 2008.

FRANCESCHINI, S.C.C.; PRIORE, S.E.; EUCLYDES, M.P. “Necessidades e recomendações de nutrientes”. In: CUPPARI, L. **Nutrição Clínica no Adulto**. 2ª edição. Barueri, São Paulo: Manole, 2005. (Guias de Medicina Ambulatorial e Hospitalar). p. 3-32.

FREITAS, M.C.J. Amido resistente: propriedades funcionais. **Nutrição Brasil**, Rio de Janeiro, v. 1, p. 40-49, 2002.

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

GALLAGHER, M.L. "Vitaminas". In: MAHAN, L. K.; ESCOTT-STUMP, S. **Krause: Alimentos, Nutrição & Dietoterapia**. 11ª edição. São Paulo: Roca, 2005. p. 72-114.

GALLANT, D.J.; BOUCHET, B.; BALDWIN, P.M. Microscopy of starch: evidence of a new level of granule organization. **Carbohydrates Polymers**, London, v. 32, p. 177-191, 1997.

GANDOLFI, L.; PRATESI, R.; CÓRDOBA, J.C.; TAUILL, P.L.; GASPARIN, M.; CATASSI, C. Prevalence of celiac disease among blood donors in Brazil. **American Journal of Gastroenterology**, v. 95, n. 3, p. 689-692, 2000.

GARIB, C.C. **Alimentação balanceada: uma proposta alternativa de merenda escolar**. 2002. 93f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, Paraná. 2002.

GEIL, P.B.; ANDERSON, J.W. Nutrition and health implications of dry beans: a review. **Journal of the American College Nutrition**, v. 13, n. 6, p. 549-558, 1994.

GERMANI, R.; BENASSI, V.T.; CARVALHO, J.L.V. **Métodos de avaliação de grão e farinha de trigo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CTAA, 1997. 84p. (EMBRAPA-CTAA, Documentos, n. 28).

GLORE, S.R.; TREEK, D.V.; KNEHANS, A.W.; GUILD, M. Soluble fiber and serum lipids: a literature review. **Journal of the American Dietetic Association**, v. 94, p. 425-436, 1994.

GODOI, B.K.; OSWALT, A.J.; CHOUDHURY, G.S. Reverse screw element (s) and feed composition effects during twin-screw extrusion of rice flour and fish muscle blends. **Journal of Food science**, Chicago, v. 61, n. 3, p. 590-595, 1996.

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

GÓMEZ, M.E.B. **Produção de Snacks de segunda geração, a partir de misturas de farinhas de arroz e batata – doce, por extrusão termoplástica**. 1997. 125f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Instituto de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro. 1997.

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

GOMEZ, M.H., AGUILERA, J.M. A physicochemical model for extrusion of corn starch. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 49, n. 1, p. 40-43, 1984.

GONÇALVES, J.S.; SOUZA, S.A.M. Gangorra de preços: a produção e o abastecimento de feijão na safra 1997/98 no Estado de São Paulo. **Informações Econômicas**, v. 28, n. 6, p. 60-65, 1998.

GONZÁLES, J.R; TORRES, R.L; DE GREEF, D.M. Extrusión-cocción de cereales. **Boletim da SBCTA**, Campinas, v. 36, n. 2, p. 104-115, 2002.

GREENFIELD, H.; SOUTHGATE, D.A.T. **Food composition data: production, management and use**. London: Chapman & Hal, 1992. 243p.

GUEVARA, G.P. Enfermedad celíaca. **Revista Chilena de Pediatría**, Santiago, v. 73, n. 4, p. 394-397, 2002.

GUHA, M.; ALI, S.Z.; BHATTACHARYA, S. Effect of barrel temperature and screw speed on rapad viscoanalyser pasting behaviour of rice extrudate. **International Journal of Food Science and Technology**, London, v. 33, n. 3, p. 259-266, 1998.

GUILBOT, A.; MERCIER, C. Starch. In: ASPINALL, G.O. **The Polysacchrides**. New York: Academic Press, 1987. v. 3. p. 209-282.

GUJSKA, E.; KHAN, K. Functional properties of extrudates from high starch fractions of navy and pinto beans and corn meal blended with legume high protein fractions. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 56, n. 2, p. 431-435, 1991.

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

GUTKOSKI, L.C. **Caracterização tecnológica de frações de moagem de aveia e efeito de umidade e temperatura de extrusão na sua estabilidade**. 1997. 241f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo. 1997.

GUY, R.C.E. **Extrusion cooking: technologies and applications**. Cambridge, UK: Woodhead Publishing, 2001. 288p.

GUY, R.C.E. **Extrusión de los alimentos Tecnología y aplicaciones**. Zaragoza: Acribia, 2002, 218p.

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

HALLBERG, L.; BRUNE, M.; ERLANDSSON, M.; SANDBERG, A.; ROSSANDER-HULTHÉN, L. Calcium: effect of different amounts on nonheme and heme-iron absorption in humans. **American Journal of Clinical Nutrition**, Bethesda, v. 53, n. 1, p. 112-119, 1991.

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

HARPER, J.M. **Extrusion of Food**. Boca Raton: CRC Press, 1981. v. 2, 174p

HAYAKAWA, S.; NAKAI, S. Relationships of hydrophobicity and net charge to the solubility of milk and soy proteins. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 50, n. 2, p. 486-491, 1985.

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

HOPKINS, D.T.; STEINKE, F.H. Updating protein quality measurement techniques. **Cereal Foods Words**, Saint Paul, v. 23, n. 9, p. 539-543, 1978.

HUANG, J.C.; KNIGHT, S.; GOAD, C. Model prediction for sensory attributes of nongluten pasta. **Journal of Food Quality**, n. 24, p. 495-511, 2001.

HUMMEL, C. **Macaroni products: manufacture processing and packing**. 2ª edição. London: Food Trade Press, 1966. 287p.

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

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. 3ª edição. São Paulo, 1985, v. 1, 533p.

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

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Tabelas de composição de alimentos**. 5ª edição. Rio de Janeiro, 1999. 137p. (Estudo Nacional da Despesa Familiar).

INSTITUTE OF MEDICINE/FOOD AND NUTRITION BOARD. Dietary reference intakes (DRI) for calcium, phosphorus, magnesium, vitamin D and fluoride. Washington, National Academy Press, DC, 1997. In: MAHAN, L.K.; ESCOTT-STUMP, S. **Krause: Alimentos, Nutrição & Dietoterapia**. 11ª edição. São Paulo: Roca, 2005.

INSTITUTE OF MEDICINE/FOOD AND NUTRITION BOARD. Dietary reference intakes (DRI) for water, potassium, sodium, chloride and sulfate. Washington, National Academy Press, DC, 2004. In: CUPPARI, L. **Nutrição Clínica no Adulto**. 2ª edição. Barueri, São Paulo: Manole, 2005. (Guias de Medicina Ambulatorial e Hospitalar).

INSTITUTE OF MEDICINE/FOOD AND NUTRITION BOARD. Dietary reference intakes (DRI) for vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium and zinc. Washington, National Academy Press, DC, 2001. In: MAHAN, L. K.; ESCOTT-STUMP, S. **Krause: Alimentos, Nutrição & Dietoterapia**. 11ª edição. São Paulo: Roca, 2005.

INSTITUTE OF MEDICINE/FOOD AND NUTRITION BOARD. Dietary reference intakes (DRI) for thiamin, riboflavin, niacin, vitamin B₆, folate, vitamin B₁₂, pantothenic acid, biotin and choline. Washington, National Academy Press, DC, 1998. In: MAHAN, L. K.; ESCOTT-STUMP, S. **Krause: Alimentos, Nutrição & Dietoterapia**. 11ª edição. São Paulo: Roca, 2005.

JAIME, P.C; MONTEIRO, C.A. Fruit and vegetable intake by Brazilian adults, 2003. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 21, suppl. 1, p.19-24, 2005.

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

JANSEN, G.R. Biological evaluation of protein quality. **Food Technology**, Chicago, v. 32, n. 12, p. 5256, 1978.

JOSEPH, E.; SWANSON, B.G. Growth and nitrogen retention of rats fed bean (*Phaseolus vulgaris*) and bean and rice diets. **Food Research International**, v. 26, p. 261-269, 1993.

JULIANO, B.O. **El arroz en La Nutrición Humana**. Roma: FAO, Instituto Internacional de Investigaciones sobre el arroz, 1994. 176p.

JULIANO, B.O. **Rice in human nutrition**. Roma: FAO, 1993. Disponível em: <<http://www.fao.org>>. Acesso em: 10 mar. 2008.

JULIANO, B.O.; BECHTEL, D.B. The rice grain and its gross composition. In: JULIANO, B. O. (Ed.). **Rice: chemistry and technology**. Minnessota, USA: American Association of Cereal Chemists, 1985. cap. 2. p. 17-57.

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

JULIANO, B.O.; PEREZ, C.M.; ALYOSHIN, E.P. et al. Cooperative Test on Amylography of Milled-Rice Flour for Pasting Viscosity and Starch Gelatinization Temperature. **Starch/Stärke**, New York, v. 37, n. 2, p. 40-50, 1985.

KENNEDY, G.; BURLINGAME, B. Analysis of food composition data on rice from a plant genetic resources perspective. **Food Chemistry**, Oxford, v. 80, n. 4, p. 589-596, 2003.

KENNEDY, G.; BURLINGAME, B.; NGUYEN, V.N. **Nutritional contribution of rice: impact of biotechnology and biodiversity in rice-consuming countries**. Bangkok: The International Rice Commission – Twentieth Session, 2002. v. 51.

KHOKHAR, S.; CHAUHAN, B.M. Antinutritional factors in moth bean (*Vigna aconitifolia*): varietal differences and effects of methods of domestic processing and cooking. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 51, n. 3, p. 591-594, 1986.

KNOCHEL, J.P. “Fósforo”. In: SHILS, M.E.; OLSON, J.A.; SHIKE, M.; ROSS, A.C. **Tratado de Nutrição Moderna na Saúde e na Doença**. 9ª edição. São Paulo: Manole, 2003. p. 169-179.

KOTZE, L.M.S. Distúrbios entéricos da absorção. In: DANI, R. **Gastroenterologia essencial**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1998. p. 211-224.

KRAMER, A.; TWIGG, B.A. **Fundamentals of quality control for the food industry**. The AVI Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut, 1962.

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

KUTOS, T.; GOLOB, T.; KAC, M.; PLESTENJAK, A. Dietary fiber content of dry and processed beans. **Food Chemistry**, Oxford, v. 80, p. 231-235, 2003.

LANCETTE, G.A.; TANINI, S.R. *Staphylococcus aureus*. In: VANDERZANT, C.; SPLITTSTOESSER, D.F. (Ed.) **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. 3 ed. Washington D.C.: AMERICAN PUBLIC HEALTH PRESS. 1992. p.533-550.

LANDABURO, R.V.; PÉREZ, F.S. Celiaquía: nuevos rostros de una antigua enfermedad. **Medicentro**, v. 6, n. 2, 2002.

LANDGRAF, M. Microrganismos indicadores. In: FRANCO, B.D.G.M; LADGRAF, M. **Microbiologia dos alimentos**. São Paulo: Atheneu, 1996. cap. 3, p. 27-31.

LARREA, M.A. **Otimização do processo de extrusão da polpa de laranja: modificação das propriedades funcionais e sua aplicação como fonte de fibra alimentar**. 1999. 163f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo. 1999.

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

LEITÃO, R.F.F.; GONÇALVES, J.R.; VITTI, P. Utilização da alta temperatura na secagem de macarrão. **Coletânea do ITAL**, Campinas, n. 19, p. 186-195, 1989.

LINDEN, G.; LORIENT, D. **Bioquímica agroindustrial**. Zaragoza: Acribia, 1994. 426p.

LINKO, P.; COLONNA, P.; MERCIER, C. HTST extrusion of cereal based materials. In: POMERANZ, Y. **Advances in cereal sciences and technology**. American Association of Cereal Chemists. Saint Paul, v. 4, p. 145-235, 1981.

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

LOBO, A.R.; LEMOS SILVA, G.M. Amido resistente e suas propriedades físico-químicas. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 16, n. 2, p. 219-226, 2003.

LONDERO, P.M.G.; RIBEIRO, N.D.; FILHO, A.C. Teores de fibra e rendimento de grãos em populações de feijão. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 32, n. 1, p. 167-173, 2008.

LOPES, A.C.S.; CAIAFFA, W.T.; SICHIERI, R. MINGOTI, S.A.; LIMA-COSTA, M.F. Consumo de nutrientes em adultos e idosos em estudo de base populacional: Projeto Bambuí. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 4, p. 1201-1209, 2005.

LUSAS, E; RIAZ, M. An introduction to extruders and extrusion principles. **Extrusion Communiqué**, p. 9-34, 1994.

MAIA, L.H. **Características químicas e propriedades funcionais do mingau desidratado de arroz e soja e, propriedades reológicas e sensoriais deste mingau reconstituído**. 2000. 110f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro. 2000.

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

MAIA, L.H.; WANG, S.H.; FERNANDES, M.S.; CABRAL, L.C. Características químicas dos mingaus desidratados de arroz e soja. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 20, n. 3, p. 416-423, 2000.

MALDONADO, S.; SAMMÁN, N. Composición química y contenido de minerales de leguminosas y cereales producidos en el noroeste argentino. **Archivos Latino Americanos de Nutrición**, Caracas, v. 50, n. 2, p. 195-199, 2000.

MANOHARKUMAR, B.; GERSTENKORN, P.; ZWINGELBERG, H.; BOLLING, H. On some correlation between grain compositions and physical characteristics to the dry milling performance in maize. **Journal of Food Science and Technology**, London, v. 15, n. 1, 1978.

MARIUSSO, A.C.B. **Estudo do enriquecimento de massas alimentícias com subprodutos agroindustriais visando o melhoramento funcional e tecnológico de massas frescas**. 2008. 100f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo. 2008.

MARTÍNEZ, C.; ROS, G.; PERIAGO, M.J. Biodisponibilidad del hierro de los alimentos. **Archivos Latino Americanos de Nutrition**, Caracas, v. 49, n. 2, p. 106-113, 1999.

MATSUO, R.R.; DEXTER, J.E.; KOSMOLAC, F.G.; LEISLE, D. Statistical evaluation of tests for assessing spaghetti-making quality of durum wheat. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 59, n. 3, p. 222-228, 1982.

MATUDA, T.G. **Análise térmica da massa de pão francês durante os processos de congelamento e descongelamento: otimização de uso de aditivos**. 2004. 142f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2004.

McCORMICK, D.B. “Riboflavina”. In: SHILS, M.E.; OLSON, J.A.; SHIKE, M.; ROSS, A.C. **Tratado de Nutrição Moderna na Saúde e na Doença**. 9ª edição. São Paulo: Manole, 2003. p. 417-426.

McELROY, D.M.; JAYKUS, L.A.; FOEGEDING, P.M. Validation and Analysis of Modeled Predictions of Growth of *Bacillus cereus* Spores in Boiled Rice. **Journal of Food Protection**, v. 63, n. 2, p. 268-272, 2000.

MENDONÇA, X.M.F.D. **Efeito da adição de isolado protéico de soja nas propriedades físico-químicas de pellets de farinha de arroz**. 2000. 104f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro. 2000.

MENDONÇA, X.M.F.D. **A extrusão termoplástica no desenvolvimento de produtos derivados de amaranto e arroz**. 2005. 182f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2005.

MENDOZA, N.; McGOUGH, N. Coeliac disease: an overview. **Nutrition & Food Science**, v. 35, n. 3, p. 156-162, 2005.

MENEGASSI, B.; LEONEL, M. Análises de qualidade de uma massa alimentícia mista de mandioca-salsa. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, Botucatu, v. 2, p. 27-36, 2006.

MENEGASSI, B.; LEONEL, M. Efeito da adição de farinha de mandioca-salsa nas características de massa alimentícia. **Revista Publicatio UEPG Ciências Exatas da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias**, Ponta Grossa, v. 11, n. 3, p. 13-19, 2005.

MENEGASSI, B.; LEONEL, M.; MISCHAN, M.M.; PINHO, S. Z. Extrusão de farinha de mandioca-salsa: efeito da temperatura, rotação e umidade nas características físicas dos extrusados. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 10, p. 252-258, 2007.

MERCIER, C.; CANTARELLI, C. **Pasta and extrusion cooked foods: some technological and nutritional aspects**. London: Elsevier Applied Science Publishers, 1986. p.52-68.

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

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

MESSINA, M.; BARNES, S. The role of soy products in reducing risk of cancer. **Journal of National Cancer Institute**, Bethesda, v. 83, n. 8, p. 541-546, 1991.

MINNAARD, J.; HUMEN, M.; PÉREZ, P.F. Effect of *Bacillus cereus* Exocellular Factors on Human Intestinal Epithelial Cells. **Journal of Food Protection**, v. 64, n. 10, p. 1535-1541, 2001.

MISKELLY, D.M. Noodles: a new look at an old food. **Food Australia**, v. 45, n. 10, p. 496-500, 1993.

MITCHELL, J.R.; ARÊAS, J.A.G. Structural changes in biopolymers during extrusion. In: KOKINI, J.L.; HO, C.T.; KARWE, M.V. eds. **Food extrusion science and technology**. New York: Marcel Dekker, 1992, n. 49, p. 345-360.

MONDINI, L.; MONTEIRO, C.A. Mudanças no padrão de alimentação da população urbana brasileira (1962 – 1988). **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 28, n. 6, p. 433-439, 1994.

MONTEIRO, C.A; MONDINI, L.; COSTA, R.B.L. Mudanças na composição e adequação nutricional da dieta familiar nas áreas metropolitanas do Brasil (1988 – 1996). **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 34, n. 3, p. 251-258, 2000.

MORAIS, M.B; SDEPANIAN, V.L; FAGUNDES NETO, U. Doença Celíaca. **Nutrição em Pauta**, São Paulo, v. 51, p. 30-34, 2001.

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

MUNHOZ, M.P.; WEBER, F.H.; CHANG, Y.K. Influência de hidrocolóides na textura de gel de amido de milho. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 24, n. 3, p. 403-406, 2004.

MURTHY, K.V.R.; REY, L.; BELON, P. Photoluminescence and thermally stimulated luminescence characteristics of rice flour. **Journal of Luminescence**, v. 122-123, n. 1, p. 279-283, 2007.

NABESHIMA, E.H. **Desenvolvimento de massas alimentícias instantâneas de arroz, pelo processo de extrusão termoplástica, utilizando farinhas quimicamente modificadas**. 2007. 183f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo. 2007.

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

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

NICOLETTI, A.M. **Enriquecimento nutricional de macarrão com uso de subprodutos agroindustriais de baixo custo**. 2007. 77f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio de Grande do Sul. 2007.

NIELSEN, M.A.; SUMMER, A.K.; WHALLEY, L.L. Fortification of pasta with pea flour and air classified pea protein concentrate. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 57, n. 3, p. 203-206, 1980.

NÚCLEO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM ALIMENTAÇÃO (NEPA). **TACO: Tabela brasileira de composição de alimentos**. Campinas: NEPA-UNICAMP, 2006. 113p.

OLIVEIRA, A.C.; QUEIROZ, K.S.; HELBIG, E.; REIS, M.P.M.; CARRARO, F. O processamento doméstico do feijão-comum ocasionou uma redução nos fatores antinutricionais fitatos e taninos, no teor de amido e em fatores de flatulência rafinose, estaquiose e verbascose. **Archivos Latino Americanos de Nutrition**, Caracas, v. 51, n. 3, p. 276-283, 2001.

OLIVEIRA, J.E.D.; VANNUCCHI, H. The protein requirement of Brazilian rural works studies with a rice and a bean a diet. In: RAND, W.M. **Protein-energy requirements of developing countries: results of international research**. Tokio: United University, 1983. p. 98-114.

OLIVEIRA, M.K.S.; MARTINEZ-FLORES, H.E.; ANDRADE, J.S.; GARNICA-ROMO, M.G.; CHANG, Y.K. Use of pejibaye four (*Bactris gasipaes*, Kunth) in the production of food pastas. **International Journal of Food Science and Technology**, London, v. 41, p. 933-937, 2006.

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

ORMENESE, R.C.S.C. Influência da adição de emulsificantes nas características de cozimento do macarrão de Arroz obtido pelo processo convencional de produção de massas alimentícias. **Anais do XVI Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 2, p. 754-757, 1998.

ORMENESE, R.C.S.C. **Efeito da adição de farinha de arroz pré-gelatinizada, clara de ovo e monoglicérides nas características sensoriais e na qualidade do macarrão produzido pelo processo convencional**. 2002. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo. 2002.

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**, Campinas, v. 18, n. 1, p. 7-12, 1998.

ORMENESE, R.C.S.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**, Campinas, v. 4, p. 67-7, 2001.

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

PAGANI, M.A.; RESMINI, P.; DALBON, G. Formulazione e produzione di paste alimentari a partire da materie prime non convenzionali. **Tecnica Molitoria**, v. 32, n. 5, p. 1-24, 1981.

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

PARDI, M.C.; SANTOS, I.F.; SOUZA, E.R.; PARDI, H.S. **Ciência, higiene e tecnologia da carne: Riscos microbiológicos da carne**. Goiânia: UFG, 1995. v. 1, p. 294-308.

PENNA, F.J.; MOTA, J.A.C.; FAGUNDES NETO, U. Doença celíaca. In: FAGUNDES NETO, U.; PENNA, F.J.; eds. **Gastroenterologia pediátrica**. 2ª edição. Rio de Janeiro: Medsi, 1991. p. 227-235.

PETER, L.; BEYER, M.S. “Terapia Nutricional para Distúrbios do Trato Gastrointestinal Inferior”. In: MAHAN, L.K.; ESCOTT-STUMP, S. **Krause: Alimentos, Nutrição & Dietoterapia**. 11ª edição. São Paulo: Roca, 2005. p. 679-681.

PEREIRA, C.A.S.; COSTA, N.M.B. Proteínas do feijão preto sem casca: digestibilidade em animais convencionais e isentos de germes (*germ-free*). **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 15, n. 1, p. 5-14, 2002.

POLTRONIERI, F.; ARÊAS, J.A.G.; COLLI, C. Extrusion and iron bioavailability in chickpea (*Cicer arietinum* L.). **Food Chemistry**, Oxford, v. 70, p. 175-180, 2000.

PRATESI, R.; GANDOLFI, L.; GARCIA, S.G.; MODELLI, I.C.; LOPES DE ALMEIDA, P. et al. Prevalence of coeliac disease: unexplained age-related variation in the same population. **Scand Journal Gastroenterology**, v. 38, p. 747-750, 2003.

PRATESI, R.; GANDOLFI, L. Doença celíaca: a afecção com múltiplas faces. **Jornal de Pediatria**, Rio de Janeiro, v. 81, n. 5, p. 357-358, 2005.

RAMÍREZ-CÁRDENAS, L.; LEONEL, A.J.; COSTA, N.M.B. Efeito do processamento doméstico sobre o teor de nutrientes e de fatores antinutricionais de diferentes cultivares de feijão comum. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 1, p. 200-213, 2008.

REWERS, M. Epidemiology of celiac disease: what are the prevalence, incidence, and progression of celiac disease? **Gastroenterology**, v. 128, n. 4, suppl. 1, p. S47-S51, 2005.

RIBAS, A.I.; CÁNOVAS, G.V.B.; GARZA, S.G.; AÑÓ, V.G. **Métodos Experimentales en la Ingeniería de los Alimentos**. 1ª edição. Zaragoza: Acribia, 2000. 292 p.

RIBEIRO, N.D.; JOST, E.; CERUTTI, T. MAZIERO, S.M.; POERSCH, N.L. Composição de microminerais em cultivares de feijão e aplicações para o melhoramento genético. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 2, p. 267-273, 2008.

ROSTON, A.J. **Feijão**. Boletim Técnico, n. 199. Campinas: CATI, 1990. 18p.

RYU, G.H.; WALKER, C.E. The effects of extrusion conditions on the physical properties of wheat flour extrudates. **Starch**, New York, v. 47, n. 1, p. 33-36, 1993.

SAHLSTRÖM, S.; MOSLETH, E.; BAEVRE, A.B.; GLORIA, H.; FAYARD, G. Influence of starch, gluten proteins and extraction rate on bread and pasta quality. **Carbohydrate Polymers**, London, v. 21, p. 169-175, 1993.

SALUNKHE, D.K.; KADAM, S.S.; CHAVAN, J.K. **Postharvest biotechnology of food legumes**. Flórida: CRC Press, 1985. 160 p.

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**, Santa Maria, v. 34, n. 2, p. 517-521, 2004.

SANTUCCI, M.C.C.; ALVIM, I.D.; SCHIMIT, F.; FARIA, E.V.; SGARBIERI, V.C. Enriquecimento de macarrão tipo tubo (massa curta) com derivados de levedura (*Saccharomyces* sp.): impacto nutricional e sensorial. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, n. 2, p. 290-295, 2003.

SÃO PAULO (Estado). Decreto-Lei nº 52 504 de 28 de julho de 1970. Estabelece normas técnicas relativas a alimentos, bebidas e acidez do macarrão. **Diário Oficial do Estado**, São Paulo, v. 80, n. 142, p. 15-16, 1 ago. 1970.

SATHE, S.K.; DESPHANDE, S.S.; SALUNKE, D.K. Dry beans of Phaseolus: a review I. Chemical composition proteins. **Critical Review in Food Science and Nutrition**, Cleveland, v. 20, n. 5, p. 31-39, 1984.

SAURA-CALIXTO, F.; GOÑI, I.; BRAVO, L.; MAÑAS, E. Formation of resistant starch in deproteinized and non-deproteinized beans. **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 46, suppl. 2, p. 109-111, 1992.

SCHIERI, R. Dietary patterns and their associations with obesity in the Brazilian city of Rio de Janeiro. **Obesity Research**, v. 10, p. 42-49, 2002.

SCHIERI, R.; CASTRO, J.F.G.; MOURA, A.S. Fatores associados ao padrão de consumo alimentar da população brasileira urbana. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 19, suppl. 1, p. 547-553, 2003.

SCHINTU, M.; MELONI, P.; SAL, M.; CONTU, A. Esperienze sul controllo microbiológico di paste fresche di produzione artigianale. **L'Igiene Moderna**, v. 105, p. 55-62, 1996.

SDEPANIAN, V.L.; MORAIS, M.B.; FAGUNDES NETO, U. Doença celíaca: a evolução dos conhecimentos desde sua centenária descrição original até os dias atuais. **Arquivos de Gastroenterologia**, São Paulo, v. 36, p. 244-257, 1999.

SDEPANIAN, V.L.; SCALETSKY, I.C.A.; MORAIS, M.B.; NETO, U.F. Pesquisa de gliadina em medicamentos - informação relevante para a orientação de pacientes com doença celíaca. **Arquivos de Gastroenterologia**, São Paulo, v. 38, n. 3, p. 176-182, 2001.

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

SEBIO, L.; CHANG, Y.K. Effects of selected process parameters in extrusion of yam flour (*Dioscorea rotundata*) on physicochemical properties of the extrudates. **Nahrung**, Weinheim, v. 44, n. 2, p. 96-11, 2000.

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

SHAMSUDDIN, A.M.; Phytate and colon-cancer risk. **American Journal of Clinical Nutrition**, Bethesda, v. 55, n. 2, p. 478, 1992.

SHIMELIS, E.A.; RAKSHIT, S.K. Effect of processing on antinutrients and in vitro digestibility of kidney bean (*Phaseolus vulgaris*, L.) varieties grown in East Africa. **Food Chemistry**, Oxford, v. 103, p. 161-172, 2007.

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

SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3ª edição. Editora UFV: Universidade Federal de Viçosa, 2006. 235p.

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

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

SILVA, V.L.M. **Efeito das variáveis de extrusão nas características físicas, químicas, sensoriais e nutricionais da farinha instantânea de misturas de quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd.) e arroz (*Oryza sativa*, L.)**. 2002. 175f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro. 2002.

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**, Campinas, v. 24, n. 2, p. 303-310, 2004.

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

SIQUEIRA, R.S. **Manual de microbiologia de alimentos**. Brasília: EMBRAPA, 1995. 159p.

SMITH, O.B. Why extrusion cooking? **Cereal Foods World**, Saint Paul, v. 21, n. 1, p. 4-8, 1976.

SMITH, O.B. Technical aspects of extrusion. **Cereal Foods World**, Saint Paul, v. 24, n. 4, p. 132-135, 1979.

TAIRA, H. Grain quality: physicochemical properties and quality of rice grains. In: MATSUO, T.; KUMAZAWA, K.; ISHII, R.; ISHIHARA, K.; HIRATA, H. **Science of the rice plant**. Tokyo: Food and Agriculture Police Research Center, 1995. V. 2 (Physiology). Cap. 6.1. p. 1063-1089.

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

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

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **National Nutrient Database for Standard Reference**, Release 14, (2001). Disponível em: <<http://www.unifesp.br/dis/servicos/nutri/nutri.php?id=5916>>. Acesso em: 3 set. 2008.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **National Nutrient Database for Standard Reference**, Release 19 (2006). Disponível em: <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/cgi-bin/list_nt_edit.pl>. Acesso em: 18 jun. 2008.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (USP). **Tabela brasileira de composição de alimentos**. Versão 5.0, 2008. Disponível em: <<http://www.fcf.usp.br/tabela>>. Acesso em: 10 dez. 2008.

VERONICA, A.O.; OLUSOLA, O.O.; ADEBOWALE, E.A. Qualities of extruded puffed snacks from maize/soybean mixture. **Journal of Food Processing Engineering**, v. 29, p. 149-161, 2006.

VIEIRA, C. Leguminosas de grãos: importância na agricultura e na alimentação humana. **Informe Agropecuário**, v. 16, n. 174, p. 5-11, 1992.

VIEIRA, C.R.; LOPES JR, C.O.; RAMOS, C.S.; CAPOBIANGO, M.; SILVESTRE, M.P.C. Extração enzimática das proteínas da farinha de arroz. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 3, p. 599-606, 2008.

VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T.J.; BORÉM, A. **Feijão**. 2ª edição. Viçosa: Editora da Universidade Federal de Viçosa, 2006. 600p.

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

YACHHA, S.K.; SRIVASTAVA, A.; MOHINDRA, A.; KRISHNANI, N.; AGGARWAL, R.; SAXENA, A. Effect of a gluten-free diet on growth and small-bowel histology in children with celiac disease in India. **Journal of Gastroenterology and Hepatology**, v. 22, p. 1300-1305, 2007.

YOUNG, V.R.; PELLETT, P.L. Plant proteins in relation to human protein and amino acid nutrition. **American Journal of Food Clinical Nutrition**, Bethesda, v. 59 (suppl.), p. 1203-1212, 1994.

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

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

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

WALKER-SMITH, J.; MURCH, S. Celiac disease. In: WALKER-SMITH, J.; MURCH, S. **Diseases of the small intestine in childhood**. 4ª edição. Oxford: Isis Medical Media, 1999. p. 235-277.

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

WANDER, A. E. **Cultivo do feijão irrigado na região Noroeste de Minas Gerais**. Sistemas de produção, n. 5: Embrapa Arroz e Feijão. Versão eletrônica. 2005. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijão/FeijaoIrigadodoNoroesteMG/mercado_comercializacao.htm>. Acesso em: 10 jan. 2009.

WANG, N.; BHIRUD, P.R.; SOSULSKI, F.W.; TYLER, R.T. Pasta-like product from pea flour by twin-screw extrusion. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 64, n. 4, p. 1671-1678, 1999a.

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

WANG, S.H.; OLIVEIRA, M.F.; COSTA, P.S.; ASCHERI, J.L.R.; ROSA, A.G. Farinhas de trigo e soja pré-cozidas pro extrusão para massas de pizza. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 4, p. 389-395, 2005.

WANG, S.H.; NASCIMENTO, T.P.; BATISTA, G.S.; MENESES, S.P.; ASCHERI, J.L.R. *Pellets* de trigo e soja produzidos por extrusão. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 3, p. 629-634, 2008.

WATT, B.K.; MERRILL, A.L. **Composition of foods: raw, processed, prepared**. Washington, D.C.: United States Department of Agriculture, 1975. (Agriculture Handbook, 8).

WINHAM, D.M.; HUTCHINS, A.M. Baked bean consumption reduces serum cholesterol in hypercholesterolemic adults. **Nutrition Research**, Canadá, v. 27, p. 380-386, 2007.

WOOD, R.J.; ZHENG, J.J. High dietary calcium intakes reduce zinc absorption and balance in humans. **American Journal of Clinical Nutrition**, Bethesda, v. 65, n. 6, p. 1803-1809, 1997.

WU, W.; WILLIAMS, W.P.; KUNKEL, M.E.; ACTON, J.C.; HUANG, Y.; WARDLAN, F.B.; GRIMES, L.W. True protein digestibility and digestibility-corrected amino acid score of red kidney beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 43, n. 5, p. 1295-1298, 1995.

ZHOU, Z.; BLANCHARD, C.; HELLIWELL, S.; ROBARDS, K. Fatty acid composition of three rice varieties following storage. **Journal of Cereal Science**, London, v. 37, n. 3, p. 327-335, 2003.

ZHOU, J.R.; ERDMAN, J.W. Phytic acid in health and disease. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Boca Raton, v. 35, n. 6, p. 495-508, 1995.

ANEXOS

Anexo A	Testes preliminares para elaboração da farinha de feijão preto sem casca.	160
Anexo B	Imagens das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão.	161
Anexo C	Materiais utilizados na análise sensorial e metodologia de preparo do molho de tomate.	163
Anexo D	Perfil de viscosidade das massas alimentícias à base de arroz e feijão.	164
Anexo E	Perfil de viscosidade das massas alimentícias de trigo e arroz (controles).	174
Anexo F	Perfil dos consumidores participantes do teste de aceitação.	175

Anexo A. Testes preliminares para elaboração da farinha de feijão preto sem casca.

Para a elaboração da farinha de feijão preto sem casca foram realizados diversos testes preliminares conforme descrito a seguir.

Inicialmente, na tentativa de promover a retirada do tegumento dos feijões, foram utilizados cerca de 300 g de feijão para cada teste. Os feijões foram submetidos ao aquecimento a 100 °C em estufa com circulação de ar nos tempos 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 e 40 minutos. Após cada período os grãos ficaram descansando por 15 minutos e então foram levados ao descascador de arroz adaptado para soja para que fosse realizada a retirada das cascas, entretanto os feijões foram apenas polidos e as cascas não foram retiradas.

Em outro momento, os grãos de feijão foram deixados de molho em água potável, com o triplo da sua massa, por 2 horas, foram lavados em água corrente e posteriormente submetidos a um aquecimento a 100 °C em estufa com circulação de ar nos tempos 5, 10, 15, 20, 25, 30, 45 e 60 minutos. Vale ressaltar que após cada período os grãos ficaram descansando por 15 minutos, e em seguida, os mesmos foram levados ao descascador de soja, mas as cascas não foram retiradas.

Numa terceira tentativa os feijões foram macerados por 17 horas em água potável, com o quádruplo da sua massa. A água foi escorrida, os feijões foram lavados em água corrente e então levados à estufa com circulação de ar a 100 °C nos tempos 10, 15, 20, 30, 40, 50 e 60 minutos. Os grãos descansaram por 15 minutos, e posteriormente encaminhados para o descascador de soja. As amostras que foram descascadas com êxito foram às submetidas ao tratamento térmico por 60 minutos.

Anexo B. Imagens das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão.



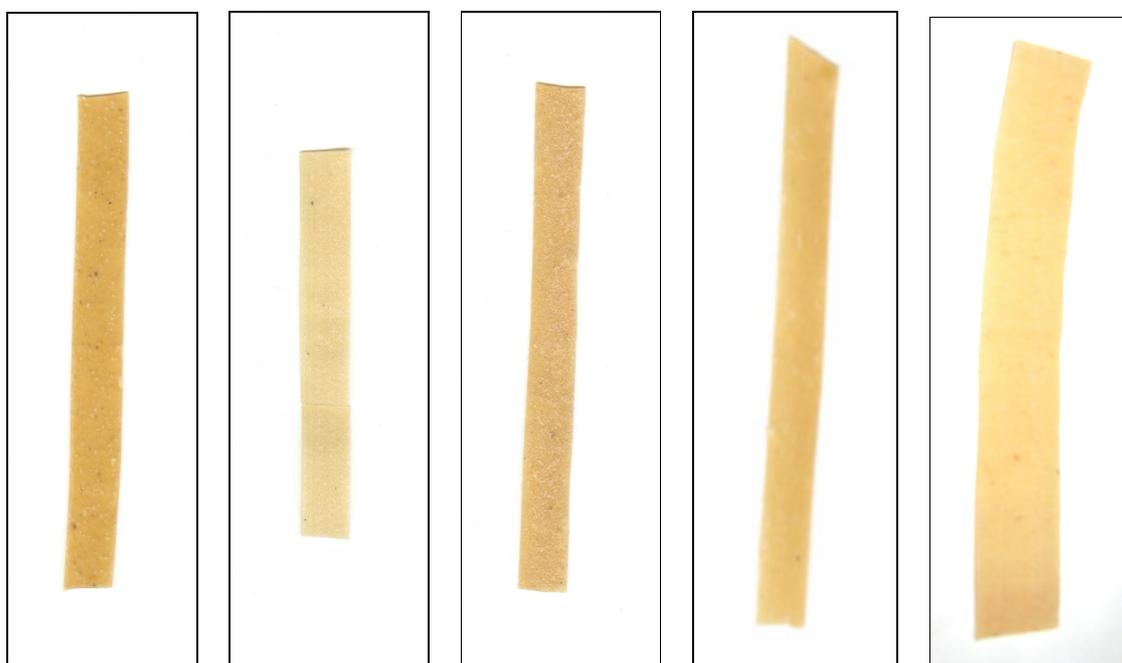
T₁ 30 %Umidade
70 °C
20 % Far. Feijão

T₂ 30 %Umidade
70 °C
60 % Far. Feijão

T₃ 30 %Umidade
90 °C
20 % Far. Feijão

T₄ 30 %Umidade
90 °C
60 % Far. Feijão

T₅ 40 %Umidade
70 °C
20 % Far. Feijão



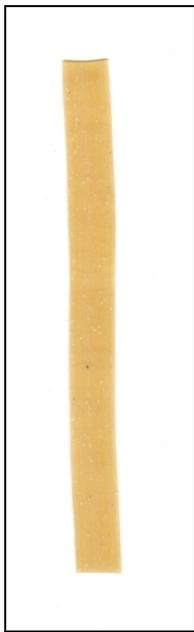
T₆ 40 %Umidade
70 °C
60 % Far. Feijão

T₇ 40 %Umidade
90 °C
20 % Far. Feijão

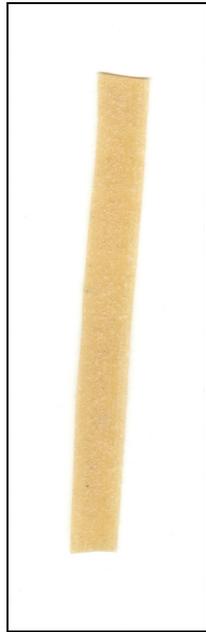
T₈ 40 % Umidade
90 °C
60 % Far. Feijão

T₉ 26,59 % Umidade
80 °C
40 % Far. Feijão

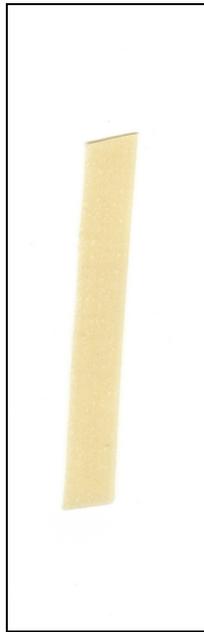
T₁₀ 43,41 %Umidade
80 °C
40 % Far. Feijão



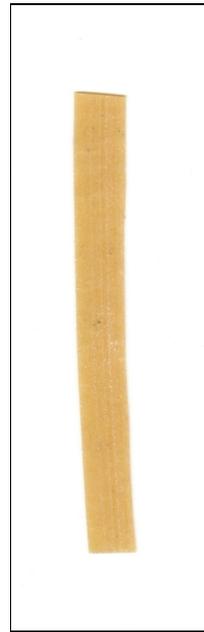
T₁₁ 35 % Umidade
63,18 °C
40 % Far. Feijão



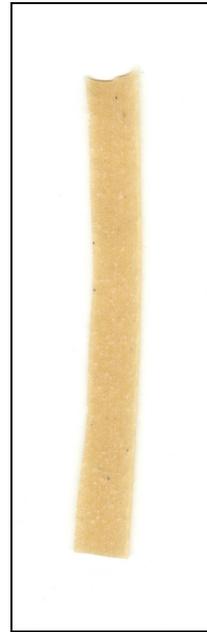
T₁₂ 35 % Umidade
96,82 °C
40 % Far. Feijão



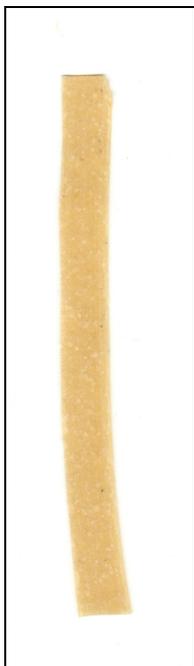
T₁₃ 35 % Umidade
80 °C
6,36 % Far. Feijão



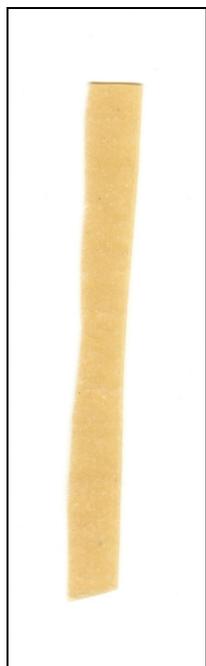
T₁₄ 35 % Umidade
80 °C
73,64 % Far. Feijão



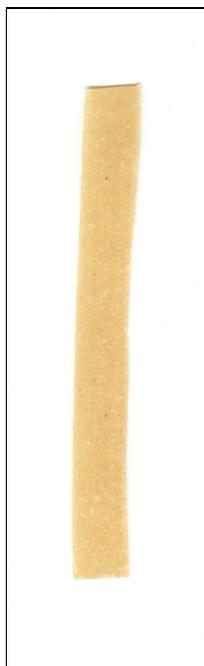
T₁₅ 35 % Umidade
80 °C
40 % Far. Feijão



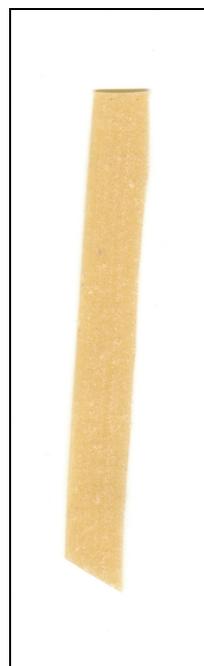
T₁₆ 35 % Umidade
80 °C
40 % Far. Feijão



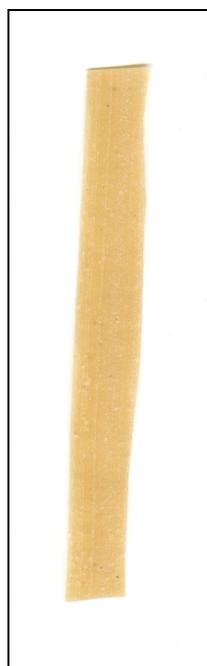
T₁₇ 35 % Umidade
80 °C
40 % Far. Feijão



T₁₈ 35 % Umidade
80 °C
40 % Far. Feijão



T₁₉ 35 % Umidade
80 °C
40 % Far. Feijão



T₂₀ 35 % Umidade
80 °C
40 % Far. Feijão

Anexo C. Materiais utilizados na análise sensorial e metodologia de preparo do molho de tomate.

Material utilizado na realização na análise sensorial das massas alimentícias

- ✓ Ficha técnica de controle dos provadores.
- ✓ Ficha técnica de avaliação socioeconômica dos provadores.
- ✓ Ficha técnica de avaliação dos provadores.
- ✓ Folder informativo fornecido aos provadores na avaliação sensorial das massas.
- ✓ Água mineral.
- ✓ Sal.
- ✓ Açúcar refinado.
- ✓ Copos descartáveis.
- ✓ Garfos descartáveis.
- ✓ Guardanapos.
- ✓ Pratos de porcelana.
- ✓ Molho de tomate tradicional peneirado *Tarantella Arisco*®.

Preparo do molho de tomate

O molho de tomate utilizado no teste sensorial foi preparado utilizando 2080 g de molho de tomate *Tarantella Arisco*®, 1 L de água mineral, 2 colheres de sopa rasas de sal e 1 colher de sopa de açúcar refinado.

Em uma panela foram adicionados o molho de tomate, a água, o sal e o açúcar, que foram levados ao fogo até a fervura, que foi mantida durante cinco minutos.

Anexo D. Perfil de viscosidade das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão.

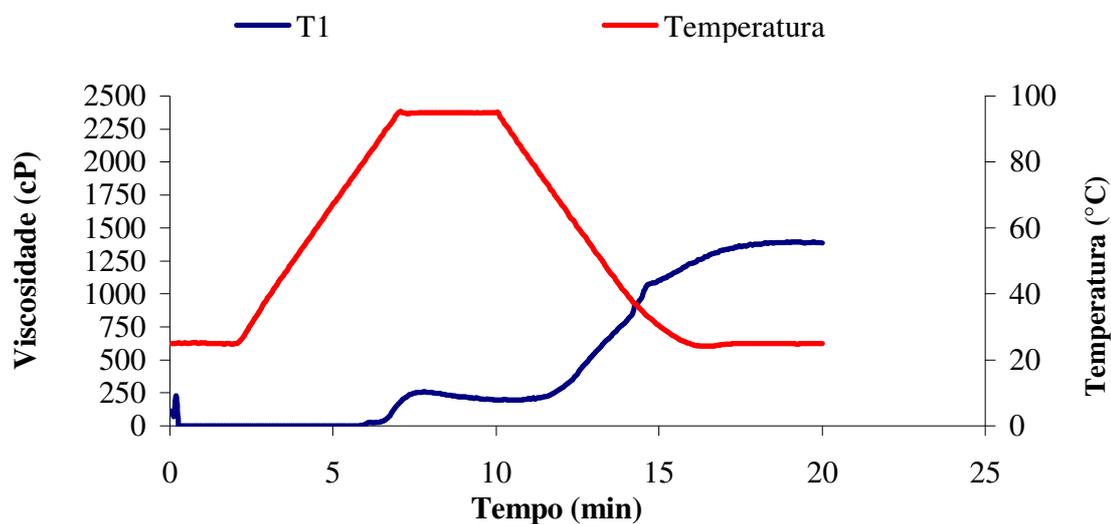


Figura 35. Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 1 (30 % umidade/ 70 °C/ 20 % farinha de feijão).

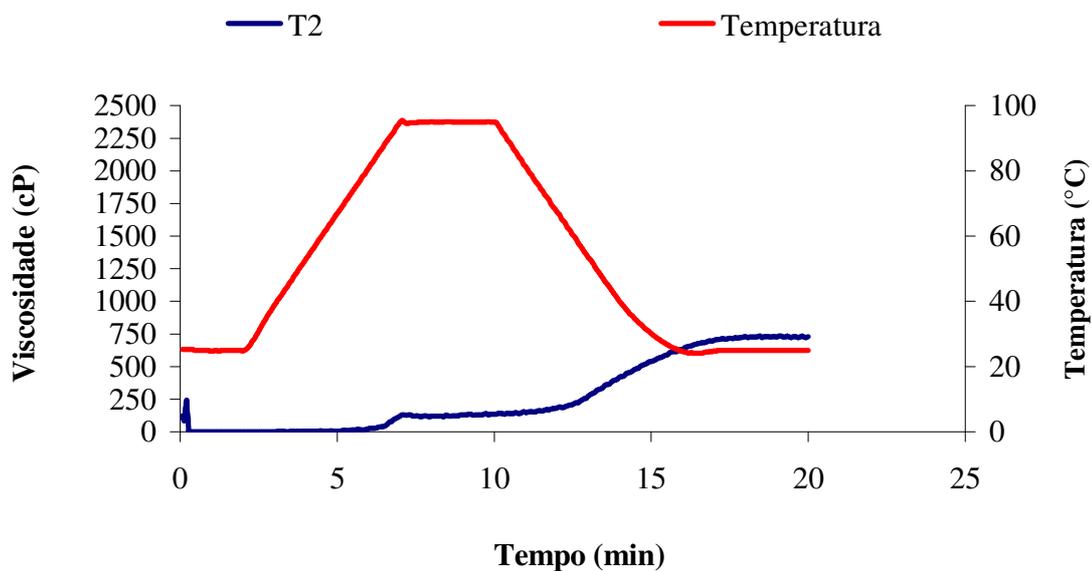


Figura 36. Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 2 (30 % umidade/ 70 °C/ 60 % farinha de feijão).

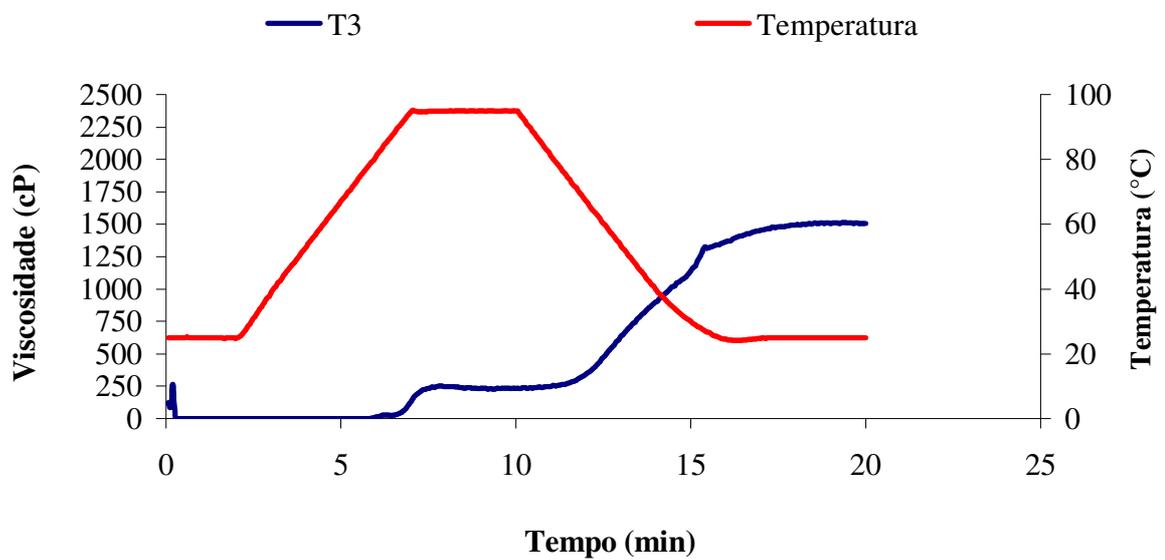


Figura 37. Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 3 (30 % umidade/ 90 °C/ 20 % farinha de feijão).

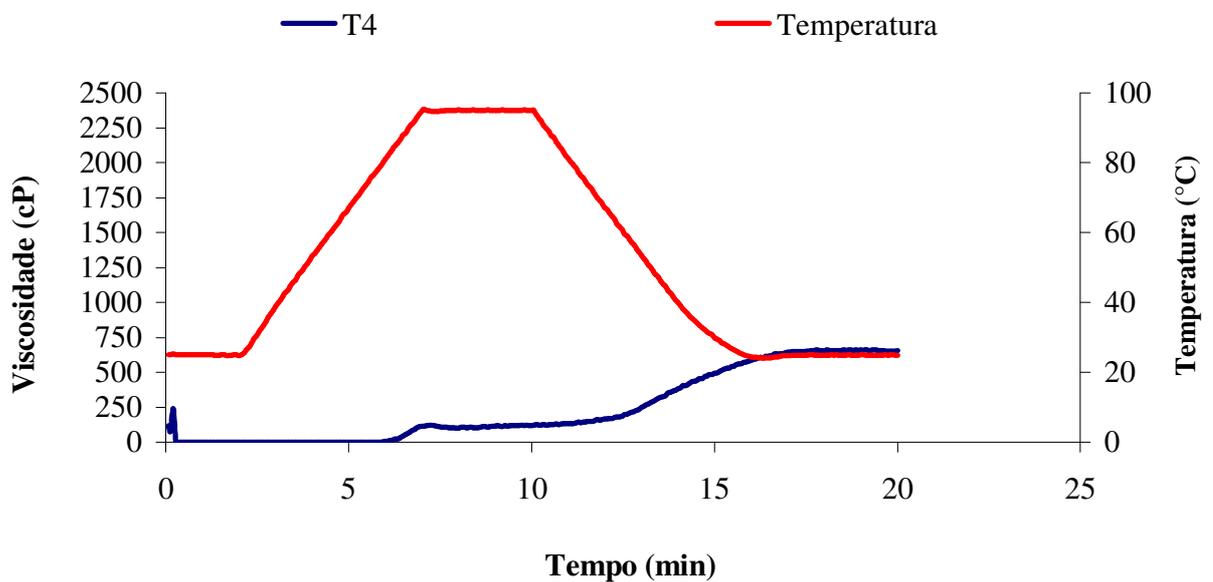


Figura 38. Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 4 (30 % umidade/ 90 °C/ 60 % farinha de feijão).

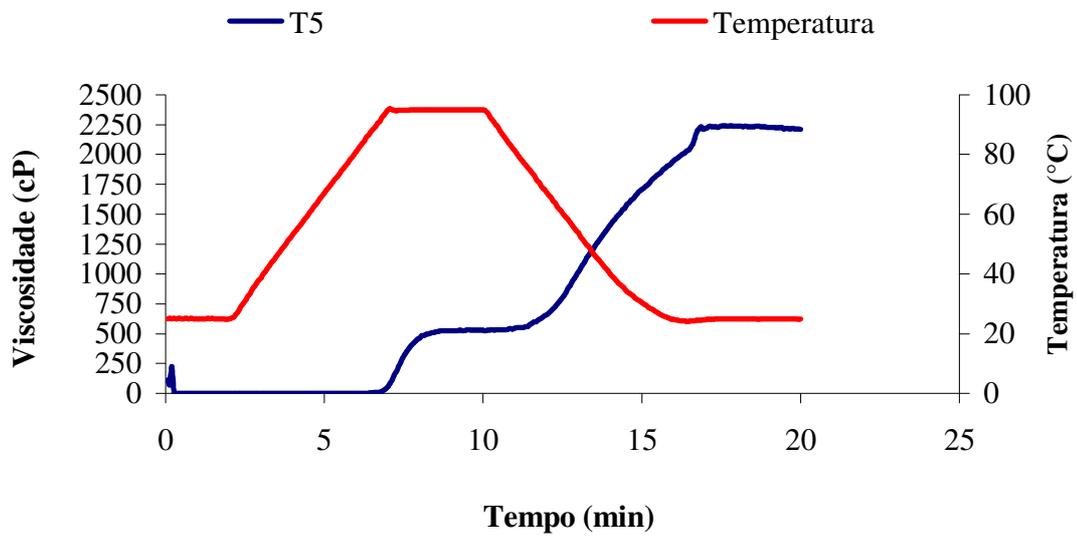


Figura 39. Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 5 (40 % umidade/ 70 °C/ 20 % farinha de feijão).

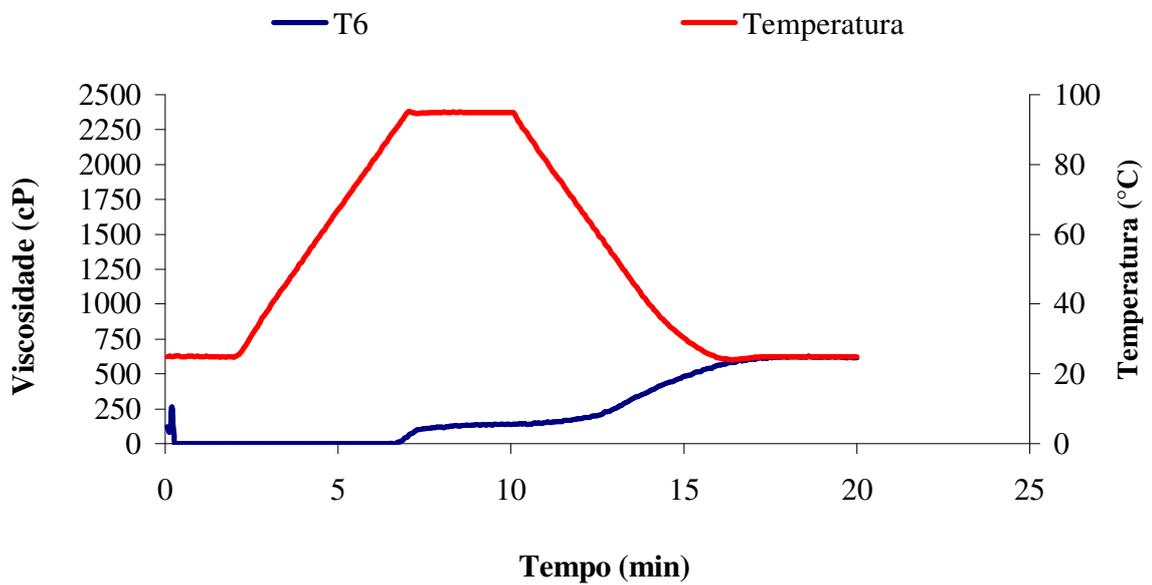


Figura 40. Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 6 (40 % umidade/ 70 °C/ 60 % farinha de feijão).

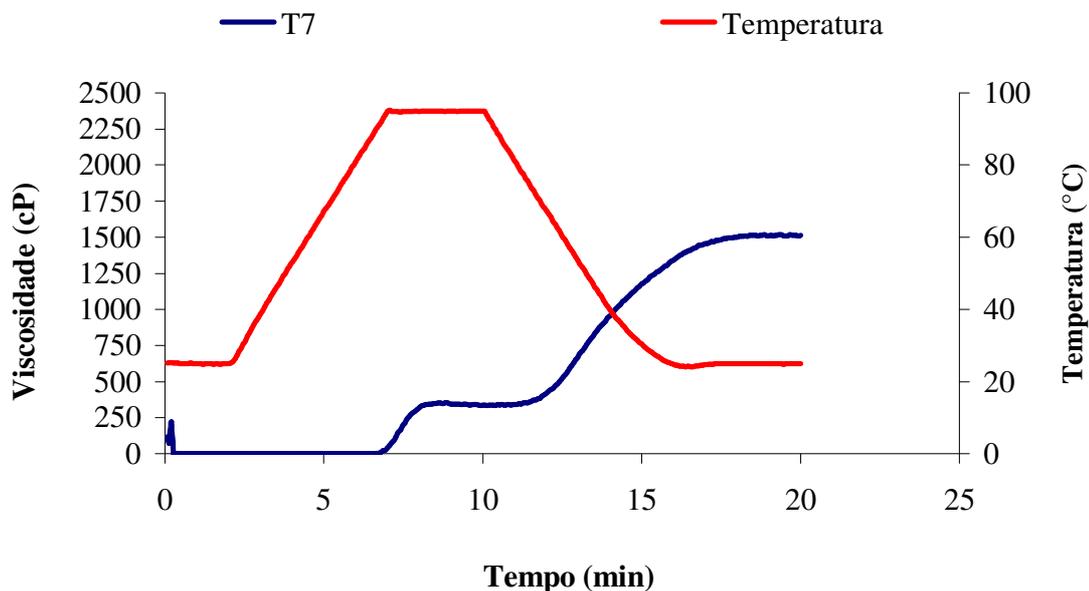


Figura 41. Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 7 (40 % umidade/ 90 °C/ 20 % farinha de feijão).

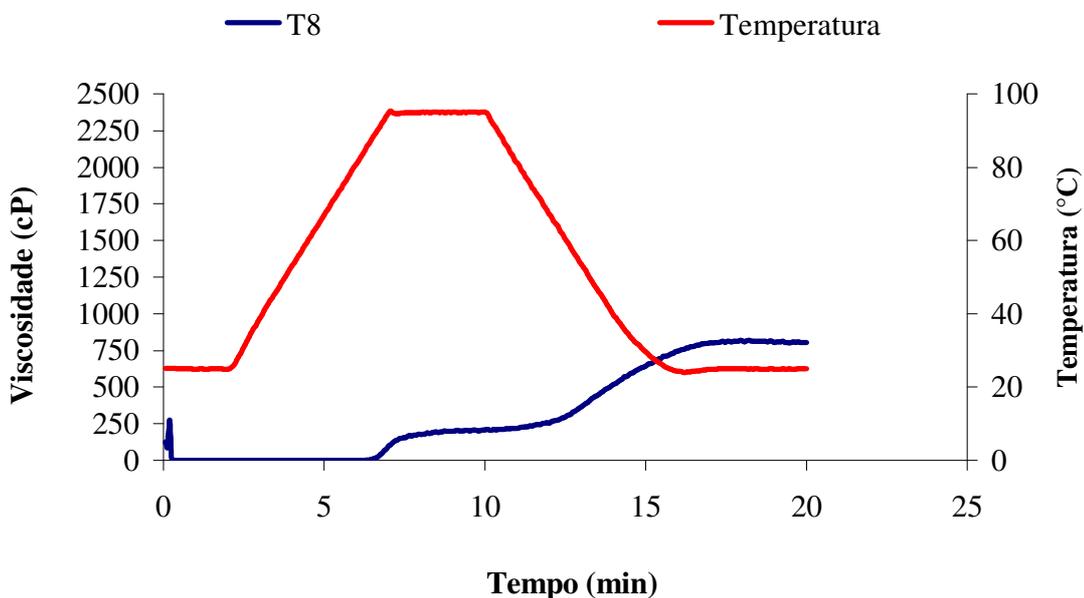


Figura 42. Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 8 (40 % umidade/ 90 °C/ 60 % farinha de feijão).

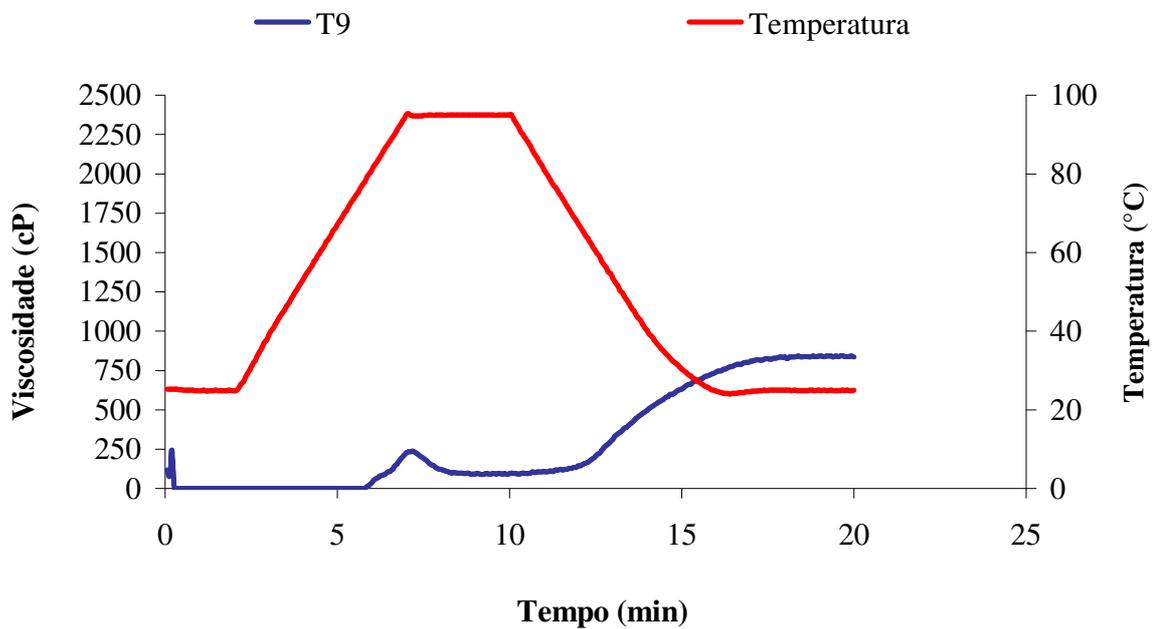


Figura 43. Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 9 (26,59 % umidade/ 80 °C/ 40 % farinha de feijão).

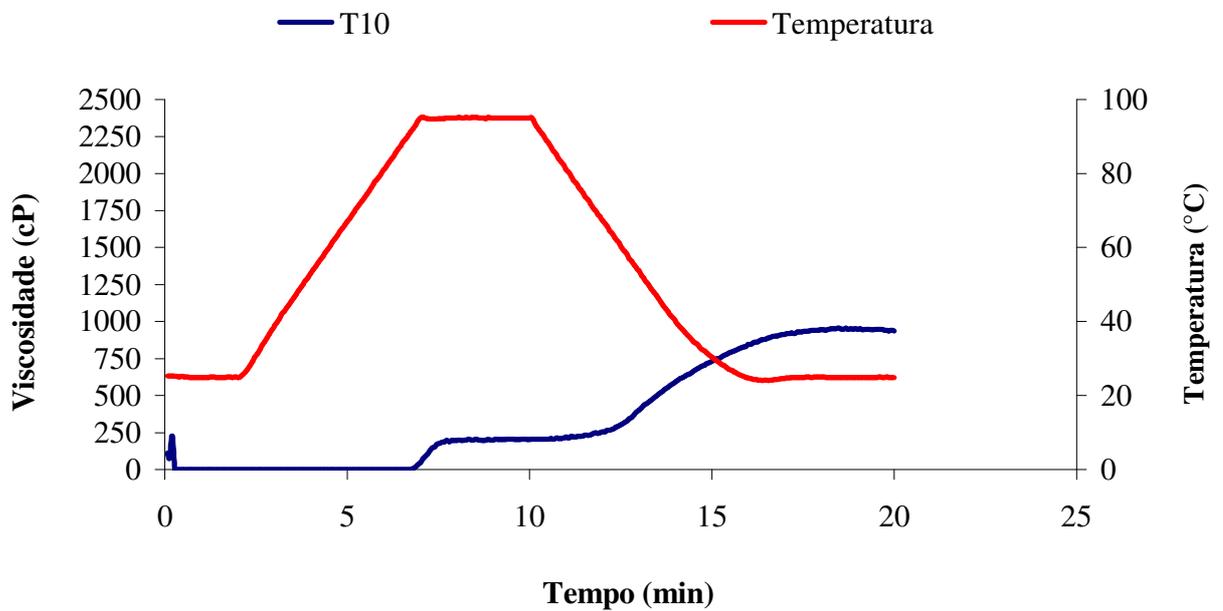


Figura 44. Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 10 (43,41 % umidade/ 80 °C/ 40 % farinha de feijão).

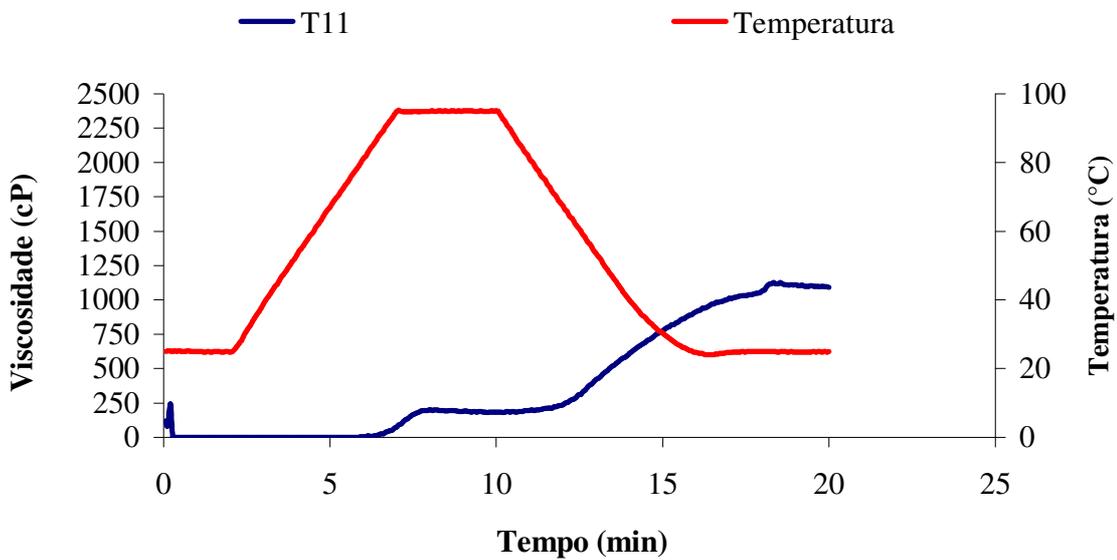


Figura 45. Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 11 (35 % umidade/ 63,18 °C/ 40 % farinha de feijão).

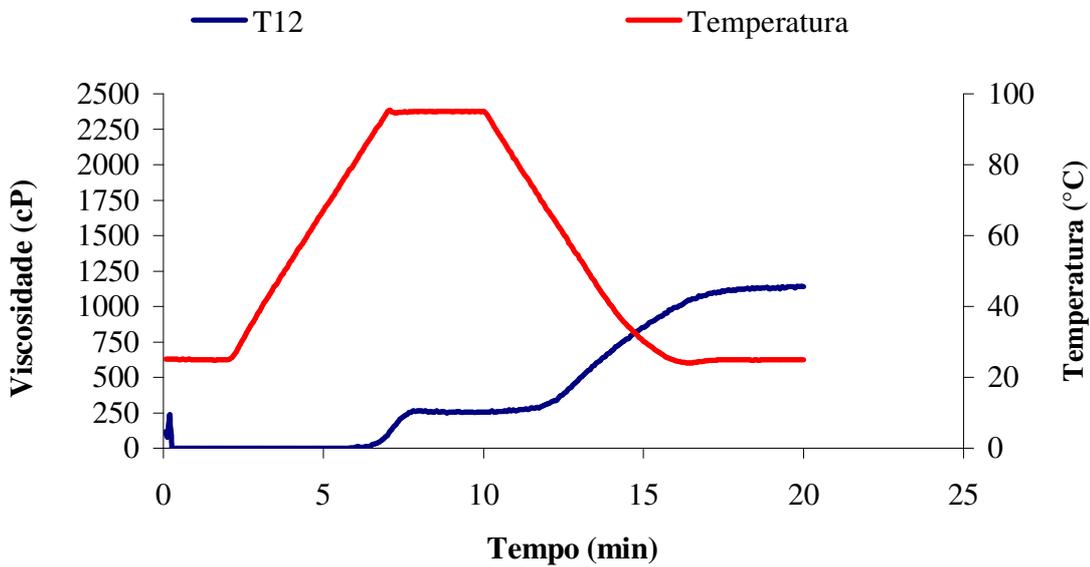


Figura 46. Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 12 (35 % umidade/ 96,82 °C/ 40 % farinha de feijão).

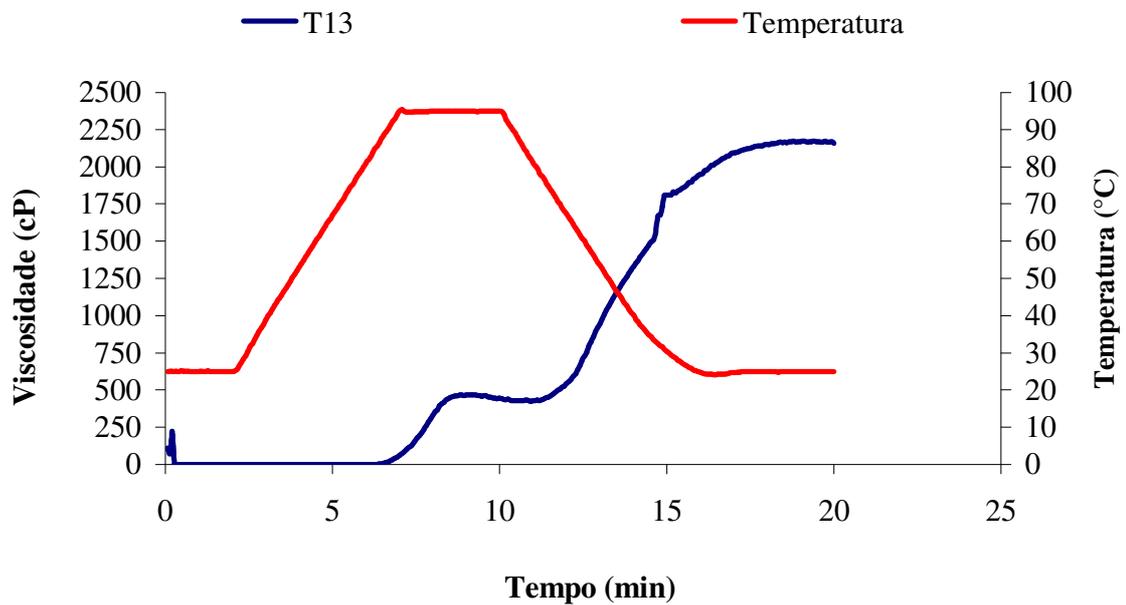


Figura 47. Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 13 (35 % umidade/ 80 °C/ 6,36 % farinha de feijão).

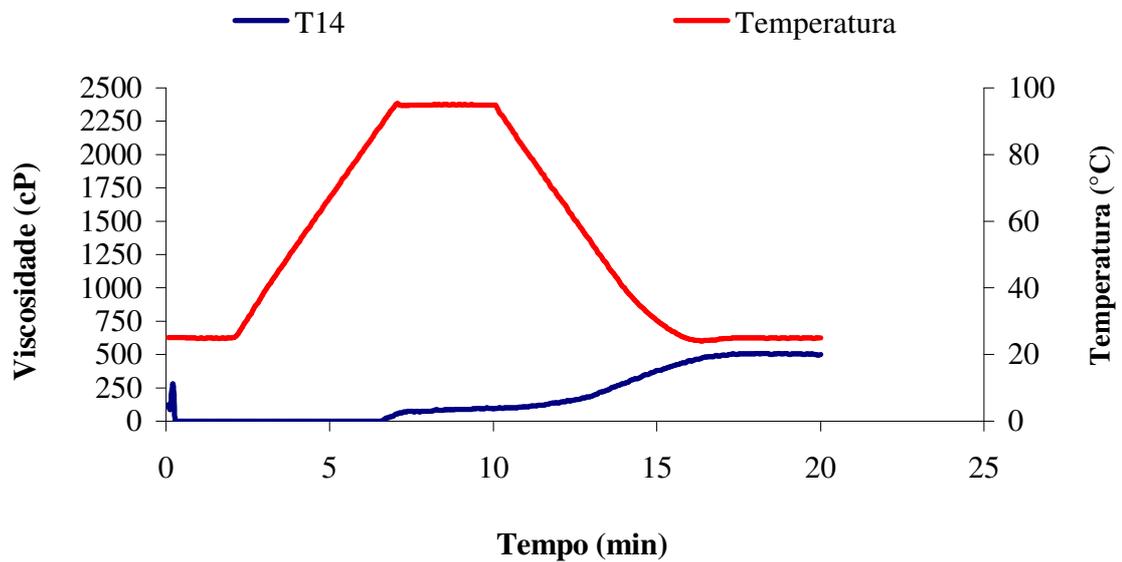


Figura 48. Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 14 (35 % umidade/ 80 °C/ 73,64 % farinha de feijão).

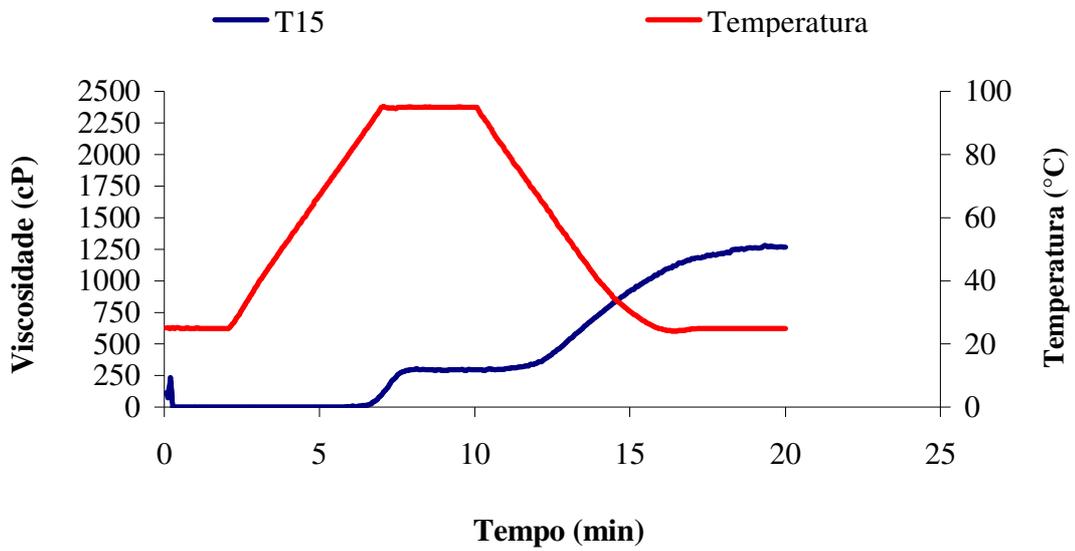


Figura 49. Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 15 (35 % umidade/ 80 °C/ 40 % farinha de feijão).

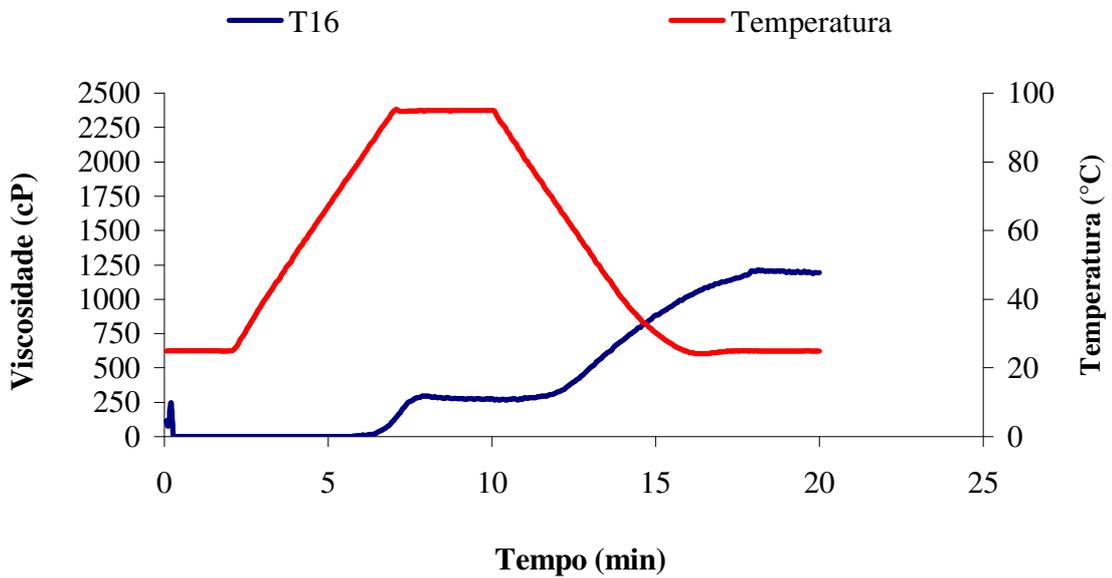


Figura 50. Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 16 (35 % umidade/ 80 °C/ 40 % farinha de feijão).

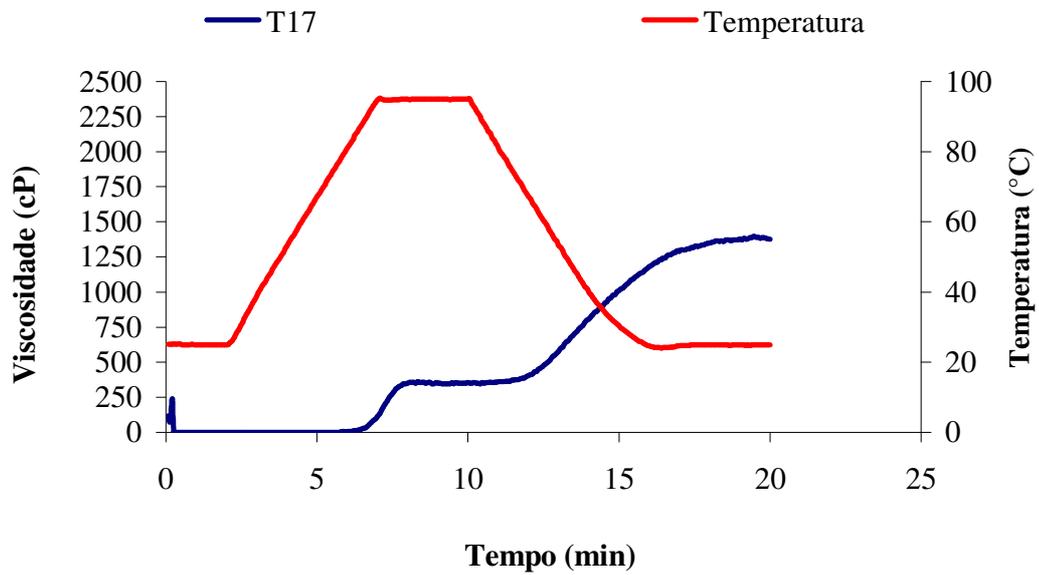


Figura 51. Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 17 (35 % umidade/ 80 °C/ 40 % farinha de feijão).

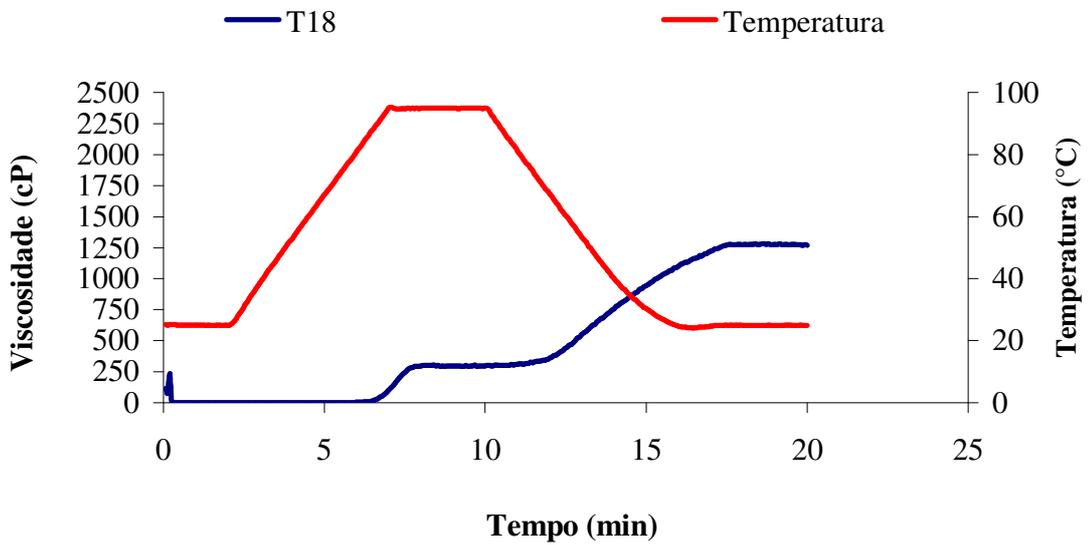


Figura 52. Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 18 (35 % umidade/ 80 °C/ 40 % farinha de feijão).

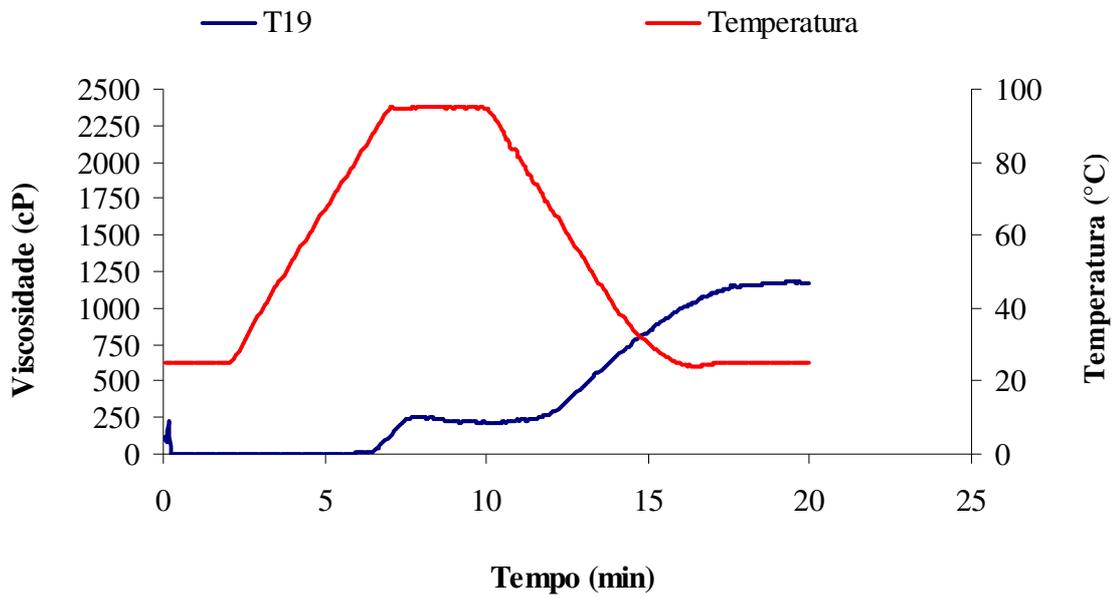


Figura 53. Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 19 (35 % umidade/ 80 °C/ 40 % farinha de feijão).

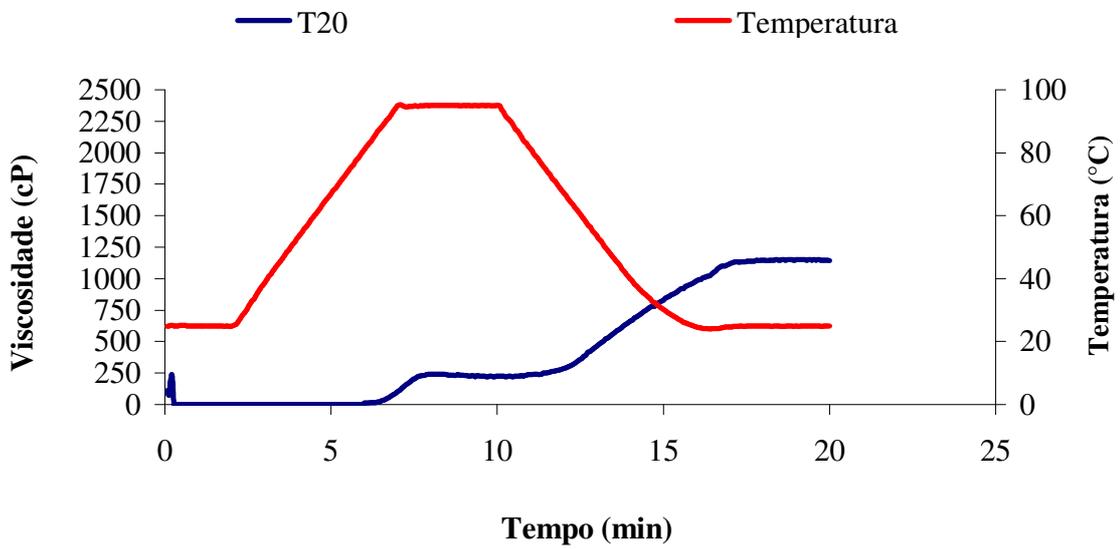


Figura 54. Perfil da curva de viscosidade de pasta do tratamento 20 (35 % umidade/ 80 °C/ 40 % farinha de feijão).

Anexo E. Perfil de viscosidade das massas alimentícias de trigo e arroz (controles).

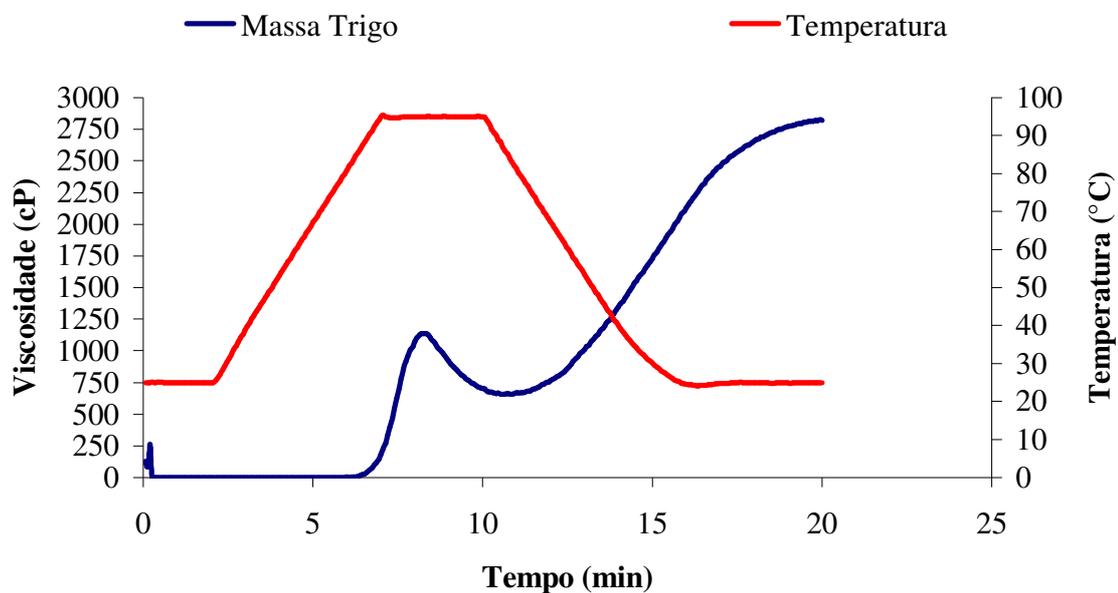


Figura 55. Perfil da curva de viscosidade de pasta da massa controle de trigo.

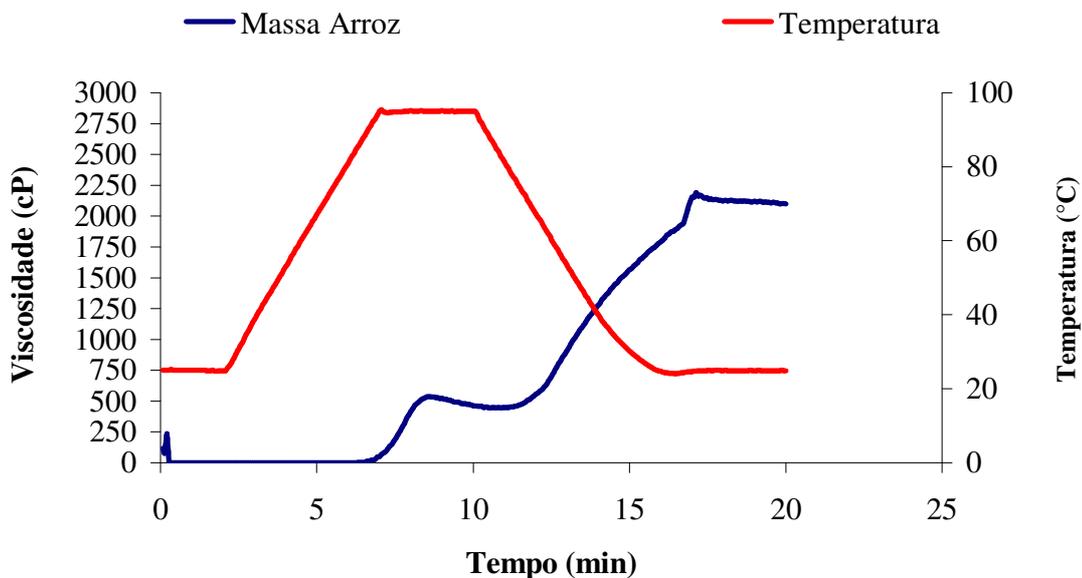


Figura 56. Perfil da curva de viscosidade de pasta da massa controle de arroz.

Anexo F. Perfil dos consumidores participantes do teste de aceitação.

O teste de aceitação das massas alimentícias pré-cozidas à base de arroz e feijão foi realizado por 81 provadores não treinados, dentre os quais 56 % eram do sexo feminino e 44 % do sexo masculino, na faixa etária de 18 a 65 anos. Analisando a Figura 57, observa-se que cerca de 35 % dos consumidores apresenta idade entre 26 e 35 anos e 32 % entre 18 e 25 anos, sendo estas as faixas etárias predominantes.

Os consumidores participantes tinham escolaridade extremamente variável, indo do nível fundamental incompleto à pós-graduação. Esta intensa variação pode ser explicada, pois o teste foi realizado com a participação dos funcionários terceirizados responsáveis pela limpeza da Embrapa Agroindústria de Alimentos, estagiários de nível médio da área administrativa, estagiários de graduação, estudantes de pós-graduação que realizam seus experimentos na unidade e assistentes, analistas e pesquisadores da instituição. Na figura 58 está apresentado o grau de instrução dos provadores. Verifica-se que aproximadamente 33 % possuem pós-graduação, 30 % são graduados (universitário) e 21 % estão cursando o nível superior (universitário incompleto), representando 84 % da população.

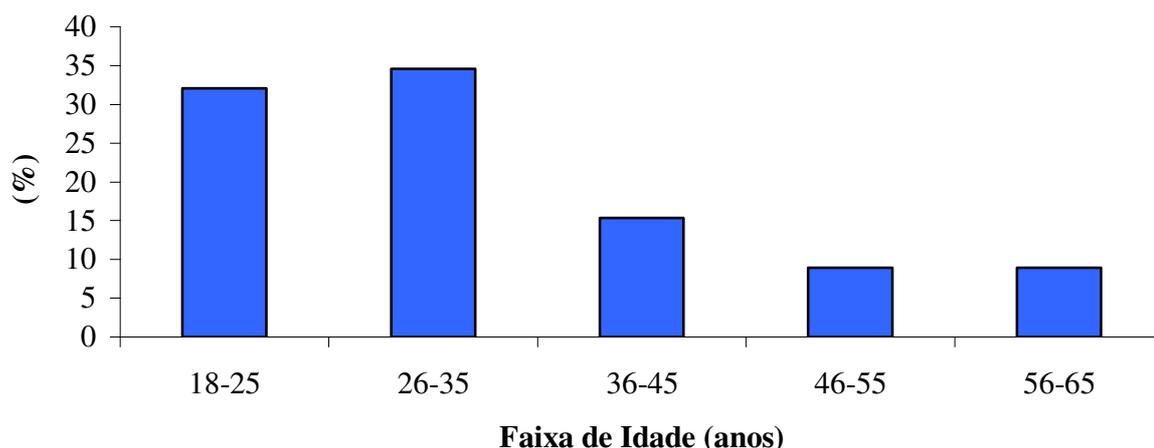


Figura 57. Distribuição de frequência da faixa de idade dos consumidores participantes do teste de aceitação.

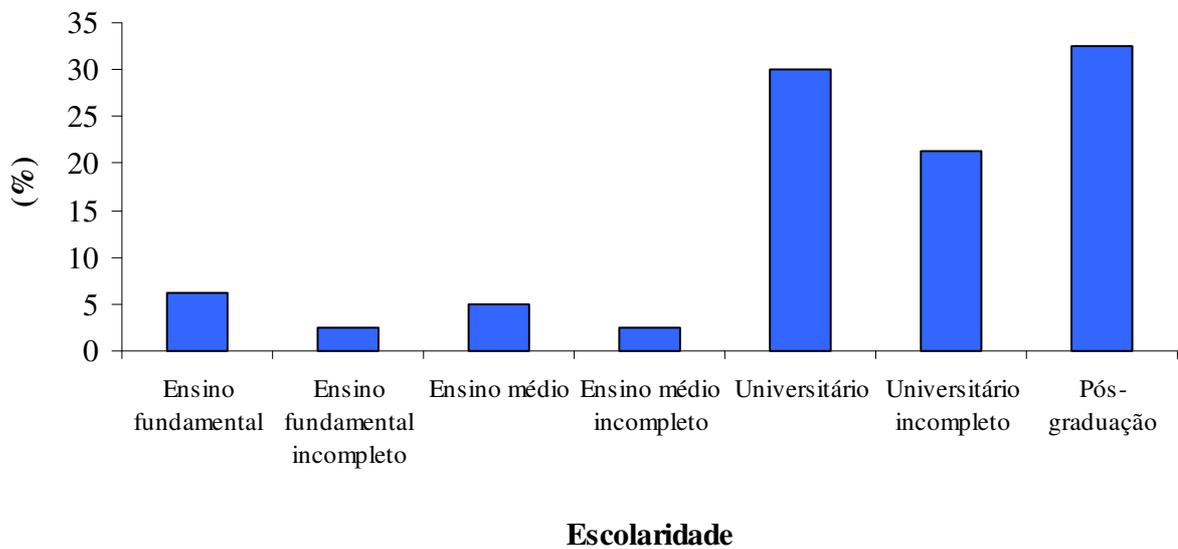


Figura 58. Distribuição de frequência da escolaridade dos consumidores participantes do teste de aceitação.

O perfil econômico dos consumidores participantes do teste sensorial está apresentado na Figura 59. Observa-se que 41 % da população têm renda maior que 5 a 10 salários mínimos por mês (R\$ 2075,01 a R\$ 4150,00), 23 % entre 1 e 5 salários mínimos (R\$ 415,00 a R\$ 2075,00), 23 % maior que 10 a 20 salários (R\$ 4150,01 a R\$ 8300,00) e 13 % afirmam ter renda superior a 20 salários mínimos por mês.

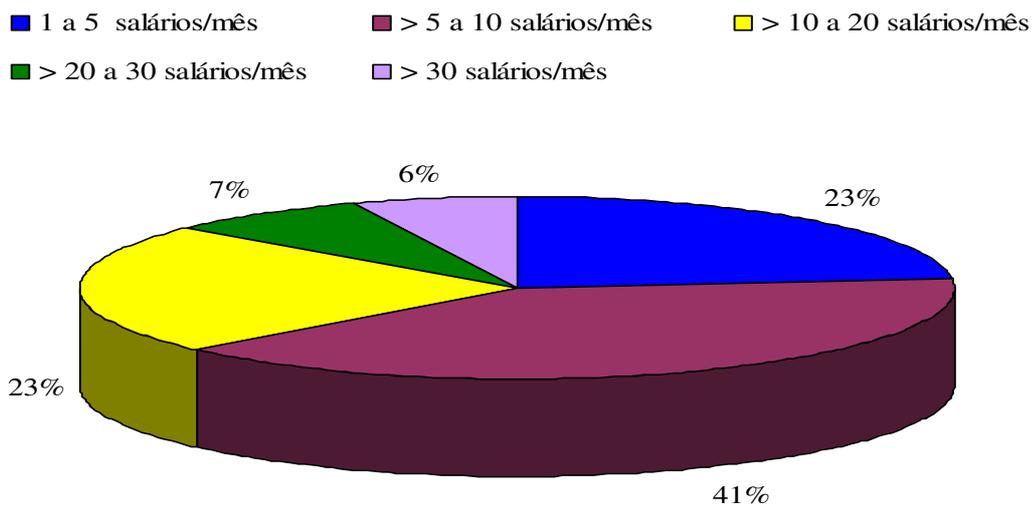


Figura 59. Perfil econômico dos consumidores participantes do teste sensorial de aceitação.

Na ficha técnica de avaliação socioeconômica dos provadores (Quadro 6) foram questionados o consumo de macarrão e a sua frequência, assim como foi verificada a propensão a experimentar novos produtos. Os resultados de aceitação e consumo de massas estão dispostos na Figura 60.

Observou-se que 95 % dos consumidores afirmaram gostar de macarrão, 99 % o consomem e dentre estes, 80 % dizem consumir massas frequentemente. Vale ressaltar que não houve relatos de nunca consumir macarrão, entretanto, 12,5 % afirmam consumir esporadicamente e 3,8 % raramente.

Quanto a experimentar novos produtos, apenas 1 % do total respondeu que definitivamente não gosta e 67 % definitivamente gostam de experimentar novos produtos.

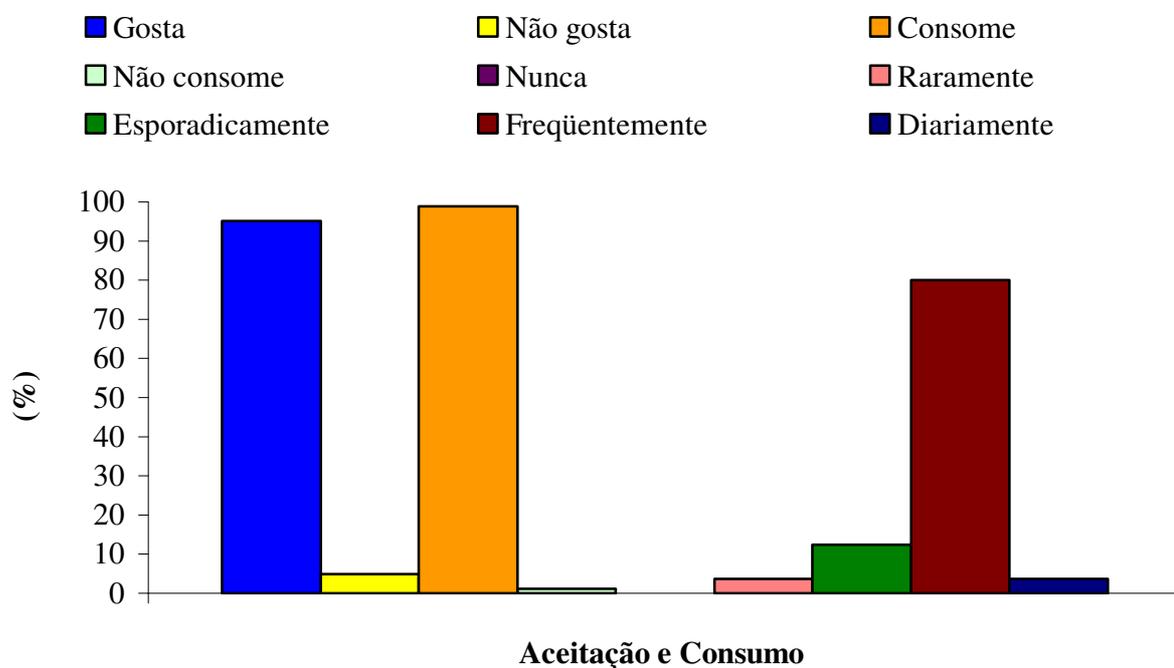


Figura 60. Levantamento da frequência da aceitação e do consumo de macarrão pelos consumidores participantes do teste de aceitação.