

**UFRRJ**

**INSTITUTO DE TECNOLOGIA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
DE ALIMENTOS**

**DISSERTAÇÃO**

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO – QUÍMICA DE EXTRUDADOS  
EXPANDIDOS DE MULTICEREAIS**

**ANGLESON FIGUEIRA MARINHO**

**2015**



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

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO – QUÍMICA DE EXTRUDADOS**  
**EXPANDIDOS DE MULTICEREAIS**

**ANGLESON FIGUEIRA MARINHO**

*Orientador*

**José Luis Ramírez Ascheri**

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

Seropédica, RJ

Agosto de 2015

664.7

M338c

T

Marinho, Angleson Figueira, 1979-

Caracterização físico-química de extrudados expandidos de multicereais / Angleson Figueira Marinho. - 2015.

xviii, 85 f.: il.

Orientador: José Luis Ramírez Ascheri.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2015.

Bibliografia: f. 76-85.

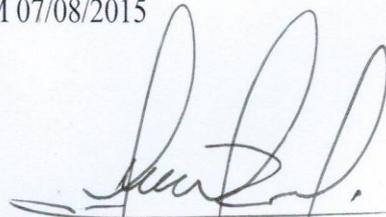
1. Cereais - Processamento - Teses. 2. Cereais - Análise - Teses. 3. Cereais - Composição - Teses. 4. Tecnologia de alimentos - Teses. I. Ascheri, José Luis Ramírez, 1955-II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. III. Título.

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

**ANGLESON FIGUEIRA MARINHO**

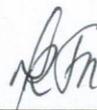
Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciências, no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Área de Concentração em Tecnologia de Alimentos.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 07/08/2015



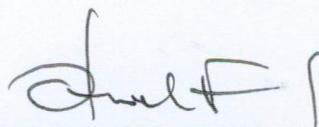
---

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



---

Maria Rosa Figueiredo Nascimento (D.Sc.) UFRRJ  
(Membro titular)



---

Otniel Freitas Silva (D.Sc.) EMBRAPA – CTAA  
(Membro titular)

## **DEDICATÓRIA**

### **A minha mãe Maria da Graça Figueira Marinho,**

Essa guerreira que soube aguentar e me dar força, por muitas vezes nos meus desesperos e anseios sempre sendo o meu porto seguro, por todo amor, investimento, incentivo, ajuda, orações e por sempre acreditar no meu sucesso e realização pessoal e profissional.

### **A minha irmã AnglaSivie Figueira Marinho,**

Pelo apoio, amizade, amor e carinho que demonstrou durante todo o meu processo de formação.

### **Aos meus familiares e amigos,**

Por todo o incentivo e força e carinho demonstrados para alcançar o meu êxito.

A todos vocês,

## AGRADECIMENTOS

A Deus, em primeiro lugar por sua presença constante, me concedendo saúde, por me dar motivação e alegria para superar todas as adversidades que surgiram ao longo de toda minha trajetória acadêmica; e por me mostrar que vale apenas estudar sempre.

Ao Pesquisador PhD. José Luis Ramirez Ascheri por ter aceitado me orientar, acreditado na minha força de vontade, pelo estímulo, solicitude sempre que necessário, incentivo e atenção.

A Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), especialmente ao Departamento de Tecnologia de Alimentos (DTA) e Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos (PPGCTA), pela oportunidade concedida para a realização do curso ampliando assim os meus conhecimentos.

A Embrapa Agroindústria de Alimentos pelas instalações cedidas para a execução de toda a minha pesquisa.

A Professora Dra. Maria Rosa Figueiredo Nascimento por ter me aceitado como seu aluno de estagio em docência, onde pude vivenciar na pratica como um professor deve se portar e agir em sala de aula, e também por todo carinho, estímulo, orientação e atenção dados.

Aos meus amigos Raphael de Oliveira Pereira e Elisamar de Assis Pereira, por toda demonstração de carinho, estímulo para nunca desistir e amizade infinita, me ajudado a passar por todos os percalços do caminho sempre de cabeça erguida e mostrando o quanto eu sou capaz.

Aos pesquisadores, técnicos, analistas, demais funcionários e estagiários da Embrapa Agroindústria de Alimentos que contribuíram de forma direta ou indireta na execução da minha pesquisa, pela colaboração e apoio.

Aos doutorandos Jhony Willian Solórzano e Valéria França de Souza; e a mestranda Vanessa Toledo por toda ajuda dada na elaboração deste trabalho.

A todos os meus familiares e amigos que torceram por mim, desde o inicio quando estudava para a seleção do mestrado, até a conclusão dele.

## RESUMO

MARINHO, Angleson Figueira. 2015. **Caracterização físico-química de extrudados expandidos de multicereais**. 85 p. (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Instituto de Tecnologia, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2015.

Os hábitos alimentares da população mundial vêm mudando constantemente com o passar dos tempos, havendo um crescimento pela busca de alimentos prontos para o consumo, mais nutritivos, de baixo custo e que sejam atraentes aos olhos do consumidor. A mistura de cereais como: Arroz, cevada e trigo constituem uma importante fonte nutricional. O uso destas matérias primas no desenvolvimento de produtos é uma alternativa na contribuição da qualidade e segurança alimentar. A utilização de novas tecnologias como a extrusão termoplástica é uma alternativa na busca de alimentos que atendam os interesses desses novos consumidores, visando obter produtos de alto valor nutricional, com baixo teor calórico, e um bom teor de fibras. Em consequência, o objetivo desse trabalho foi caracterizar os aspectos físico-químicos de extrudados expandidos por extrusão provenientes das misturas de arroz, cevada e trigo, de forma a propor uma formulação de mistura para posterior extrusão, para que haja uma expansão satisfatória. Dez misturas (T1 a T10) foram processadas em uma extrusora de laboratório de rosca simples as quais foram mantidas constantes: umidade das misturas a 14%, velocidade de rotação do parafuso a 200 rpm, temperatura das zonas de aquecimento da extrusora (da zona de alimentação até a saída da matriz): 1ª zona – 50°C, 2ª 100 e 3ª 130, alimentador vertical helicoidal na rotação de 15 rpm (~5kg/h). Como delineamento experimental, foram utilizadas frações (porcentagem) variadas das farinhas dos cereais com arroz, cevada e trigo, por tratamento, na seguinte proporção, (arroz, cevada, trigo); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T7-10: (33,3%; 33,3%; 33,3%). As farinhas das misturas foram analisadas quanto à composição centesimal, fibra alimentar e cor; foi determinada também a distribuição granulométrica das matérias primas. As variáveis de resposta foram a vazão de alimentação das misturas, densidade aparente (DA), energia mecânica específica (EME), índices expansão (IE), caracterização por imagens; textura instrumental; viscosidade de pasta; índices de absorção (IAA) e solubilidade em água (ISA), Difração de Raio X. Dentre os tratamentos utilizados o maior valor de energia mecânica específica (EME) foi maior para o tratamento T1, tendo total relação observada no IE, que obteve maior valor de expansão, devido ao menor conteúdo de fibras, contrapondo o valor de densidade aparente que foi o menor. O T1 também obteve o maior valor de crocância (maior valor de Nsr), assim como apresentou também o maior ISA e IAA; e maior porcentagem de cristalinidade. O T2 alcançou a maior Viscosidade de pasta já que tinha em sua mistura a maior quantidade de cevada que possui a maior quantidade de fibra. Já T2 se destacou também por apresentar baixo valor para o ISA. Referente a cor, T2 mostrou maior luminosidade ( $L$ ); maior cor ( $a^*$ ) e maior intensidade ( $b^*$ ). Portanto, o presente estudo demonstra que os tratamentos feitos através da mistura desses três cereais, não obtiveram uma expansão satisfatória para uso em coextrusão, sugerindo novos estudos dessas misturas para serem utilizadas em outros produtos.

**Palavras chave:** Propriedades físico químicas. Extrusão. Cereais

## ABSTRACT

MARINHO, AnglesonFigueira. 2015. **Physical Chemistry characterization of expanded extruded multicereals**. 85 p. (M.Sc.in Food Science and Technology).Institute of Technology, Department of Food Technology, Rural Federal University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2015.

The eating habits of the world population is constantly changing with the passage of time, with an increase by the search for food ready for consumption, more nutritious, inexpensive and that are attractive to the consumer's eyes. The mixture of cereals such as rice, barley and wheat are an important source of nutrition. The use of these materials in product development is an alternative in quality contribution and food safety. The use of new technologies such as thermoplastic extrusion is an alternative in the search for foods that meet the interests of these new consumers to obtain high nutritional value products, low-calorie, and a good fiber content. Consequently, the aim of this study was to characterize the physicochemical aspects of extruded expanded extruded from mixtures of rice, barley and wheat, in order to propose a formulation mixture for subsequent extrusion, so there is a satisfactory expansion. Ten mixtures (T1 to T10) were processed in a single screw laboratory extruder which were kept constant: moisture content of the mixtures at 14%, screw rotation speed 200 rpm, temperature of the extruder heating zones (zone of power until the output of the matrix): 1st Zone - 50°C 2nd, 3rd 130 and 100°C, vertical screw feeder 15 in the rotation rpm (~ 5kg / h). As experimental design used were fractions (percent) of various cereal flours and rice, barley and wheat, by treatment in the following proportion (rice, barley, wheat); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42.5%; 42.5%; 15%); T5: (42.5%; 15%; 42.5%); T6: (15%; 42.5%; 42.5%); T7-10: (33.3%; 33.3%; 33.3%). Flour mixtures were analyzed for chemical composition, dietary fiber and color; It was also determined the particle size distribution of raw materials. Response variables were the feed rate of the mixtures, bulk density (BD), specific mechanical energy (SME), expansion index (EI), characterized by images; instrumental texture; pasting viscosity; water absorption index (WAI) and water solubility index (WSI), Ray Diffraction X from the treatments used the highest value of specific mechanical energy (SME) was higher for the treatment T1, having full observed relationship in the IE, which obtained the highest expansion of value, due to lower fiber content, comparing the value of density which was the lowest. The T1 also had the highest amount of crispness (higher value Nsr) and also had the highest WSI and WAI; and higher percentage of crystallinity. The T2 achieved the highest folder viscosity since it had in its mix the greatest amount of barley that has the highest amount of fiber. Since T2 is also noted for having a low value for the ISA. Regarding color, T2 showed higher brightness (L); greater color (a \*) and highest intensity (b \*). Therefore, the present study demonstrates that the treatments made by mixing these three cereal, did not achieve satisfactory expansion for use in coextrusion, new studies suggested these mixtures to be used in other products.

Keywords: Physicochemical properties. Extrusion. Cereals.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Diagrama esquemático de uma extrusora (Carvalho, 2001)	9
Figura 2.	Ilustração esquemática da extrusoramonorosca utilizada no experimento (Fraiha, 2008)	9
Figura 3.	Setores do canhão extrusor (Ferraz, 2012)	10
Figura 4.	Moinho de discos (MD) LM3600	16
Figura 5.	Moinho de martelos (MM) LM3100	16
Figura 6.	Peneiras de aço inox	17
Figura 7.	Rotap RX-20-10	17
Figura 8.	Visão geral das regiões do delineamento de uma mistura simples de três componentes (BORSATO, 2010)	19
Figura 9.	Mistura de farinhas de Arroz; cevada e trigo	20
Figura 10.	Homogeneizador industrial	20
Figura 11.	Mistura de farinhas de Arroz; cevada e trigo ensacadas	20
Figura 12.	Balança de unida MOC-120H	21
Figura 13.	Fluxograma de preparo das farinhas mistas	22
Figura 14.	Extrusora de laboratório de parafuso único 19/20 DN (Brabender, Duisburg, Alemanha) acoplada em um reômetro de torque Plasti-CorderLabStation (Brabender, Duisburg, Alemanha)	23
Figura 15.	Extrudados coletados em bandejas plásticas	24
Figura 16.	Fluxograma do processo de extrusão das farinhas mistas	25
Figura 17.	Extrudados expandido	27
Figura 18.	Paquímetro industrial	27
Figura 19.	Scanner de escritório	28
Figura 20.	Texturômetro Instrumental	29
Figura 21.	Representação gráfica do resultado típico da força de compressão aplicada sobre um extrudado expandido (BOUVIER; BONNEVILLE)	

	e GOULLIEUX, 1997)	29
Figura 22.	Preparação para análise de viscosidade (Água e Farinha extrudada)	31
Figura 23.	Rapid Viscosity Analyser	31
Figura 24.	Produto de análise de viscosidade	31
Figura 25.	Curva de viscosidade de pasta de uma farinha extrudada, com agitação constante e perfil de temperatura de aquecimento-resfriamento. V <sub>máx</sub> , viscosidade máxima; V <sub>mín</sub> , viscosidade mínima; V <sub>fin</sub> , viscosidade final; QV, quebra da viscosidade; TR, tendência à retrogradação. (VARGAS-SOLORZANO, J. W, 2013)	32
Figura 26.	Banho de água	34
Figura 27.	Centrifuga	34
Figura 28.	Agitador tipo Vortex	34
Figura 29.	Amostras separadas em quadruplicata para ISA e IAA	34
Figura 30.	Representação de modelo de cor Hunterlab color solid L*, a*, b* (JANIN; GONÇALEZ; ANANÍAS et al., 2001	35
Figura 31.	Difrator de Raios X D2 Phaser	36
Figura 32.	Preparação para método do pó	36
Figura 33.	Esquema das análises realizadas nas matérias primas e nos extrudados	37
Figura 34.	Distribuição do tamanho de partículas de farinhas de arroz, cevada e trigo	40
Figura 35.	Pareto - Densidade aparenta dos tratamentos das farinhase nos tratamentos. Porcentagem de farinhas integrais por Tratamento (arroz%, cevada%, trigo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T7-10: (33,3%; 33,3%; 33,3%)	44
Figura 36.	Pareto – Energia Mecânica Específica dos tratamentos das farinhas de arroz, cevada e trigo; e nos tratamentos. Porcentagem de farinhas (arroz%, cevada, trigo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T7-10: (33,3%; 33,3%;	

- 33,3%) 46
- Figura 37. Linhas de contorno – Energia Mecânica Específica dos tratamentos das farinhas de arroz, cevada e trigo; e nos tratamentos, . Porcentagem de farinhas (arroz%, cevada, trigo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T7-10: (33,3%; 33,3%; 33,3%) 47
- Figura 38. Superfície de resposta – Energia Mecânica Específica dos tratamentos das farinhas de arroz, cevada e trigo; e nos tratamentos, . Porcentagem de farinhas (arroz%, cevada, trigo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T7-10: (33,3%; 33,3%; 33,3%). 47
- Figura 39. Pareto – Índice de expansão radial dos tratamentos das farinhas de arroz, cevada e trigo; e nos tratamentos, . Porcentagem de farinhas (arroz%, cevada, trigo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T7-10: (33,3%; 33,3%; 33,3%) 49
- Figura 40. Linhas de contorno- Índice de Expansão radial (IER) dos extrudados em função dos fatores: Porcentagem de farinhas (arroz%, cevada%, trigo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T7-10: (33,3%; 33,3%; 33,3%) 50
- Figura 41. Superfície de resposta- índice de Expansão Seccional (IES) dos extrudados em função dos fatores: Porcentagem de farinhas (arroz%, cevada%, trigo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T7-10: (33,3%; 33,3%; 33,3%) 50
- Figura 42. Imagens de expandidos feitas em scanner de escritório, sem gel de iodo. Porcentagem de farinhas por tratamento (arroz%, cevada%, trigo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T7-10: (33,3%; 33,3%; 33,3%) 51

- Figura 43. Imagens de expandidos feitas em scanner de escritório, com gel de iodo. Porcentagem de farinhas por tratamento (arroz%, cevada%, trigo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T7-T10: (33,3%; 33,3%; 33,3%) 51
- Figura 44. Pareto - Efeito sobre Textura (Nsr) dos extrudados em função dos fatores: Variação de porcentagem de farinhas por tratamento ( arroz%, cevada%, sorgo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T7-T7-10: (33,3%; 33,3%; 33,3%) 53
- Figura 45. Linhas de contorno – Efeito sobre Textura (Nsr) dos extrudados em função dos fatores Variação de porcentagem de farinhas por Tratamento ( arroz%, cevada%, trigo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T7-T10: (33,3%; 33,3%; 33,3%) 54
- Figura 46. Pareto - Efeito sobre Textura (Fc) dos extrudados em função dos fatores: Variação de porcentagem de farinhas integrais por Tratamento (milho%, arroz, sorgo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T10: (33,3%; 33,3%; 33,3%) 54
- Figura 47. Linhas de contorno – Efeito sobre Textura (Fc) dos extrudados em função dos fatores Variação de porcentagem de farinhas por Tratamento ( arroz%, cevada%, trigo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T7-T10: (33,3%; 33,3%; 33,3%) 55
- Figura 48. Pareto - Efeito sobre Textura sobre Textura (Fsr) dos extrudados em função dos fatores Variação de porcentagem de farinhas por Tratamento ( arroz%, cevada%, trigo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T7-T10: (33,3%; 33,3%; 33,3) 55
- Figura 49. Linhas de contorno – Efeito sobre Textura (Fsr) dos extrudados em função dos fatores Variação de porcentagem de farinhas por Tratamento ( arroz%, cevada%, trigo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T7-T10: (33,3%; 33,3%; 33) 56

- Figura 50. Pareto – Efeito sobre Textura (Wc) dos extrudados em função dos fatores Variação de porcentagem de farinhas por Tratamento ( arroz%, cevada%, trigo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T7-T10: (33,3%; 33,3%; 33,3) 56
- Figura 51. Lnhas de contorno – Efeito sobre Textura (Wc) dos extrudados em função dos fatores Variação de porcentagem de farinhas por Tratamento ( arroz%, cevada%, trigo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T7-T10: (33,3%; 33,3%; 33,3) 57
- Figura 52. Curva de viscosidade de pasta de uma farinha extrudada, com agitação constante e perfil de temperatura de aquecimento-resfriamento. Vmax, viscosidade máxima; Vmin, viscosidade mínima; Vfin, viscosidade final; QV, quebra da viscosidade; TR, tendência à retrogradação (Vargas Solórzano, 2013) 57
- Figura 53. Perfis das curvas de viscosidade de pasta de farinha de grão de arroz, cevada e trigo. Variação de porcentagem de farinhas por Tratamento ( arroz%, cevada%, trigo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T7-T10: (33,3%; 33,3%; 33,3) 59
- Figura 54. Perfis das curvas de viscosidade de pasta dos extrudados de misturas de farinhas de arroz, cevada e trigo, dos tratamentos de T1 a T6. Variação de porcentagem de farinhas por Tratamento ( arroz%, cevada%, trigo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%) 61
- Figura 55. Perfis das curvas de viscosidade de pasta dos extrudados de misturas de farinhas de arroz, cevada e trigo, dos tratamentos de T7 a T10. Variação de porcentagem de farinhas por Tratamento ( arroz%, cevada%, trigo%) T7-T10: (33,3%; 33,3%; 33,3) 61
- Figura 56. Pareto – Efeito sobre ISA em função dos fatores Variação de porcentagem de farinhas por Tratamento ( arroz%, cevada%, trigo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T7-T10: (33,3%; 33,3%; 33,3) 65
- Figura 57. Pareto – Efeito sobre IAA em função dos fatores Variação de porcentagem de farinhas por Tratamento ( arroz%, cevada%, trigo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%);

	T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T7-T10: (33,3%; 33,3%; 33,3)	65
Figura 58.	Linhas de contorno – Efeito sobre IAA em função dos fatores Variação de porcentagem de farinhas por Tratamento ( arroz%, cevada%, trigo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T7-T10: (33,3%; 33,3%; 33,3)	66
Figura 59.	Pareto – para parâmetro L das amostras cruass: Arroz, cevada e trigo	68
Figura 60.	Pareto – para parâmetro B* das amostras cruas e dos tratamentos das farinhasde arroz, cevada e trigo;. Porcentagem de farinhas (arroz%, cevada%, trigo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T7-10: (33,3%; 33,3%; 33,3)	69
Figura 61.	Linhas de contorno - para parâmetro B* das amostras cruas e dos tratamentos das farinhasde arroz, cevada e trigo;. Porcentagem de farinhas (arroz%, cevada%, trigo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T7-10: (33,3%; 33,3%; 33,3)	70
Figura 62.	Difratograma de Raio X das amostras cruas de arroz, cavada e trigo	71
Figura 63.	Difratogramas de Raios Xda mistura das farinhas extrudadass. Porcentagem de farinhas (arroz%, cevada%, trigo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%)	73
Figura 64.	Difratogramas de Raios Xda mistura das farinhas extrudadass. Porcentagem de farinhas (arroz%, cevada%, trigoT4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%)	73
Figura 65.	Difratogramas de Raios Xda mistura das farinhas extrudadass. Porcentagem de farinhas (arroz%, cevada%, trigo%); T7-10: (33,3%; 33,3%; 33,3)	74

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Composição das misturas para a produção de extrudados expandidos formulados com farinhas de multicereais	18
Tabela 2.	Intensidades e características das amostras pós Raio X Ilustração esquemática da extrusoramonitorada utilizada no experimento (Fraiha, 2008)	36
Tabela 3.	Composição química aproximada dos grãos de arroz cevada e trigo	38
Tabela 4.	Granulometria das farinhas de arroz, cevada e trigo	39
Tabela 5.	Composição química aproximada dos tratamentos (misturas de farinhas de arroz, cevada e trigo)	41
Tabela 6.	Densidade aparente de extrudados de misturas de farinhas de arroz, cevada, trigo	43
Tabela 7.	Resumo dos parâmetros de Extrusão de amostras de mistura de farinha	45
Tabela 8.	Propriedades de expansão dos extrudados	49
Tabela 9.	Textura dos extrudados de mistura de farinhas de grãos (arroz, cevada e trigo. Nsr: frequência de rupturas estruturais; Fsr: Força específica das rupturas estruturais; Fc: Força de compressão; Wc: Trabalho de crocância; <sup>a</sup> Média ± desvio padrão de 20 medições. Porcentagem de farinhas por tratamento (arroz%, cevada%, trigo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T7-T10: (33,3%; 33,3%; 33,3%)	53
Tabela 10.	Resumo dos parâmetros de RVA para amostras cruas das farinhas de arroz, cevada e trigo VP: Viscosidade de pasta; tP: Tempo de pasta (para atingir VP); TiP: Temperatura de início de formação de pasta (que corresponde quando se inicia o aumento da viscosidade); VM: Viscosidade mínima na etapa de resfriamento; QV: Quebra da viscosidade = VP – VM; VF: Viscosidade final; TR: Tendência à retrogradação = VF – VM; <sup>a</sup> Média ± desvio padrão de medições em duplicata	59

Tabela 11.	Resumo dos parâmetros de RVA para amostras extrudadas VP: Viscosidade de pasta; tP: Tempo de pasta (para atingir VP); TiP: Temperatura de início de formação de pasta (que corresponde quando se inicia o aumento da viscosidade); VM: Viscosidade mínima na etapa de resfriamento; QV: Quebra da viscosidade = VP – VM; VF: Viscosidade final; TR: Tendência à retrogradação = VF – VM; <sup>a</sup> Média ± desvio padrão de medições em duplicata	60
Tabela 12.	Resumo da média, DP do teste de Tukey, $\bar{x}$ média ± desvio padrão de medições em triplicata Porcentagem de farinhas integrais por Tratamento (arroz%, cevada, trigo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T7-T10: (33,3%; 33,3%; 33,3%)	64
Tabela 13.	Análise de cor (L; a*; b*) das farinhas integrais de grão de arroz, cevada e trigo. L*: Luminosidade, a*: Cor, b*: Saturação; <sup>a</sup> Média ± desvio padrão de medições em quadruplicata	67
Tabela 14.	Análise de cor (L, a*, b*, e variação de cor) das amostras cruas e das farinhas extrudadas de mistura de farinhas de grãos (arroz, cevada e trigo). L*: Luminosidade, a*: Cor, b*: Saturação; Média ± desvio padrão de medições em quadruplicata	70
Tabela 15.	Porcentagem de cristalinidade (%C) das amostras cruas e dos tratamentos após extrusão	72

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	1
1.1 Objetivos	2
1.1.1. Objetivo geral	2
1.1.2. Objetivos específicos	2
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b>	3
2.1 Alimentos Funcionais	3
2.2 Arroz	4
2.3 Cevada	5
2.4 Trigo	6
2.5 Processamento de cereais por extrusão termoplástica	8
2.5.1 Fatores que afetam a expansão de produtos extrudados	11
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b>	15
3.1 Locais de Execução	15
3.2 Matéria-Prima	15
3.3 Métodos	15
3.3.1 Obtenção e caracterização da matéria prima	15
3.3.2. Análises físico-químicas das matérias primas	16
3.3.2.1. Determinação da composição centesimal	16
3.3.2.2. Determinação da composição de carboidratos totais	16
3.3.2.3. Determinação da composição de fibra alimentar	16
3.3.3. Determinação da distribuição granulométrica	17
3.3.4. Delineamento experimental	18
3.3.5. Análise estatística	18
3.3.6. Preparo da amostra para extrusão: Farinhas mistas	20
3.3.7 Caracterização da umidade	20
3.3.8. Processo de extrusão	22
3.3.8.1. Condições de processo	22
3.3.8.2 Obtenção dos extrudados	23
3.3.9. Propriedades físicas dos produtos extrudados	25
3.3.9.1. Determinação da vazão do processo de extrusão e densidade aparente	25

3.3.9.2. Determinação da energia mecânica específica (EME)	26
3.3.9.3. Determinação do índice de expansão	27
3.3.9.4. Caracterização por imagens	28
3.3.9.5. Determinação de Textura	28
3.3.9.6. Determinação das propriedades visco amilográficas (RVA)	31
3.3.9.7. Determinação da viscosidade de pasta	31
3.3.9.8. Determinação do índice de solubilidade em água (ISA) e índice de absorção de água (IAA)	33
3.3.9.9. Determinação de cor	34
3.3.9.10. Determinação da composição química e fibras dos extrudados	35
3.3.9.11. Difração de Raio X das farinhas extrudadas	36
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>38</b>
4.1 Caracterização da Matéria Prima	38
4.1.1 Classificação granulométrica da matéria prima	39
4.2.1 Composição química e fibra alimentar dos extrudados	41
4.2.2 Densidade aparente (DA)	43
4.2.3 Energia mecânica específica (EME)	44
4.2.4 Índices de expansão radial (IER), volumétrica (IEV) e longitudinal (IEL)	48
4.2.5 Extrudado por imagem	51
4.2.6 Textura instrumental	52
4.2.7 Viscosidade de pasta (RVA)	57
4.2.8 Índice de solubilidade em água (ISA) e índice de absorção de água (IAA)	62
4.2.9 Análises de Cor	66
4.2.10 Difração de Raio X	71
<b>5 CONCLUSÕES</b>	<b>75</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>76</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A busca pela qualidade de vida e bem estar é uma preocupação cada vez mais presente no conjunto da sociedade, há uma necessidade do desenvolvimento de alimentos nutritivos, particularmente aqueles de origem vegetal. Nutrição e qualidade de vida caminham juntas, uma boa saúde é fundamental para o bem estar e o desenvolvimento econômico e social sustentável.

Os hábitos alimentares da população em geral vêm mudando consideravelmente com o passar dos anos, a busca por produtos de rápido preparo ou já prontos tem se popularizado mundialmente, devido a mudança de estilo de vida da população, onde nas famílias os casais trabalham fora, ou a um crescimento de pessoas solteiras que moram sozinhas, não havendo tempo hábil para preparação de grandes refeições. Sendo que esse novo consumidor também é exigente, buscando produtos que sejam o mais nutritivo possível.

O arroz frequenta a mesa de dois terços da população mundial, constituindo-se o cultivo alimentar mais importante de vários países, principalmente da Ásia e Oceania. O seu cultivo é tão antigo quanto à própria civilização, remontando à Antiguidade. A maioria dos autores acreditam que ele seja originário da Ásia Sul - Oriental, região que inclui a China, a Índia e a Indochina. Embora o planeta esteja globalmente industrializado, a cadeia agrária ainda detém muita importância na alimentação das pessoas. O arroz, por sua vez, além de ser fonte alimentar rica em carboidratos e proteínas, possui adaptação versátil a vários tipos de clima e solo, motivo pelo qual o cultivo é praticado em todos os continentes, movendo a economia de muitos países em desenvolvimento.

Na alimentação humana a cevada pode ser um substituto do trigo e do café. Ela também é utilizada para a fabricação de bebidas como a cerveja e em destilados, no Brasil essa é a forma mais utilizada do grão. A cevada também é aplicada na alimentação animal como forragem verde, na fabricação de ração e usada também na indústria farmacêutica. É um grão pouco conhecido pelos brasileiros, mas com um valor nutricional excelente e comparável a outros cereais presentes n nosso dia a dia.

O trigo tem sido uma das principais fontes de alimento do homem, desde os tempos pré-históricos, principalmente por ser rico em proteínas e calorias. O cultivo do trigo remonta à época dos primórdios da agricultura. Atualmente, por causa da crescente concentração da população nas cidades, a maioria das pessoas não viu e talvez nunca verá uma planta de trigo. Mesmo assim, o trigo ainda é parte importante da sua alimentação. Os derivados de trigo continuarão a ser fundamentais para a alimentação, com qualidade e preço competitivo. Os consumidores de pão, de massa ou de biscoito sabem que esses alimentos podem ser encontrados em qualquer parte do mundo e a preços acessíveis.

O processo de extrusão vem sendo explorado como alternativa às modificações químicas tradicionais; é uma tecnologia que se mostra bastante eficaz, de baixo custo, alta produtividade, curto tempo de reação e ausência de geração de resíduos. Há uma importância tecnológica que o processo de extrusão termoplástica representa frente aos alimentos de preparo rápido, como, as farinhas pré-cozidas, instantâneas, pré-gelatinizadas e gelatinizadas, entre outras.

Os consumidores estão muito interessados nos benefícios potenciais da nutrição, e passaram a exigir mais dos alimentos industrializados, além de sabor agradável e praticidade, alto valor nutritivo. Os aspectos apresentados são indicativos da necessidade de uma

estratégia para ampliar o mercado a partir de matérias-primas, como o arroz, cevada e trigo por meio do desenvolvimento de farinhas que tenham melhores propriedades funcionais para poderem ser aplicadas em produtos e formulações, ou que possam ser moldadas para alimentos de conveniência, ou para fins especiais.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Desenvolver novos formulados de farinhas mistas e caracterizá-las quanto aos aspectos físico – químicos, elaboradas através do processo de extrusão, contendo arroz, cevada e trigo.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Desenvolver misturas de farinhas de cereais a base de arroz, cevada e trigo.
- Produzir expandidos, através do processo de extrusão, de dez formulados de cereais a base da mistura de arroz, cevada e trigo.
- Avaliar os parâmetros físico – químicos das farinhas mistas cruas e extrudadas.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Alimentos funcionais

O termo alimentos funcionais foi introduzido no Japão em meados dos anos 80 e, referia-se à alimentos processados, contendo ingredientes que auxiliam funções específicas do corpo além de serem nutritivos (MORAES; COLLA, 2006).

No Brasil, entre as 24 categorias de alimentos mais vendidos em 2005, 75% estão ligados à saúde (AC NIELSEN, 2007). Uma pesquisa feita pela Health Focus em 30 países mostra que 44% dos consumidores brasileiros da classe A e B escolhem seus alimentos com base na relação que eles têm com a saúde, sendo um dos maiores índices da América Latina (OLIVEIRA & FERNANDES, 2004).

Segundo Sgarbieri (1996) alimento funcional é aquele semelhante em aparência ao alimento convencional, consumido como parte da alimentação normal, capaz de produzir efeitos metabólicos ou fisiológicos desejáveis na manutenção da saúde. Adicionalmente às suas funções nutricionais como fonte de energia e de substrato para a formação de células e tecidos, possui, em sua composição, uma ou mais substâncias capazes de agir no sentido de modular os processos metabólicos, melhorando as condições de saúde, promovendo o bem-estar das pessoas e prevenindo o aparecimento precoce de doenças degenerativas, que levam a uma diminuição da longevidade. Os alimentos funcionais se caracterizam por oferecer vários benefícios à saúde, além do valor nutritivo inerente à sua composição química, podendo desempenhar um papel potencialmente benéfico na redução do risco de doenças não transmissíveis (OLIVEIRA et al., 2002; MORAES; COLLA, 2006)

De fato, esse novo nicho de mercado revela-se extremamente dinâmico. O setor registrou um crescimento de mais de 50%, entre 2002 e 2005, no mundo, de acordo com o instituto de pesquisa AC Nielsen. Nos Estados Unidos, esse mercado movimentou cerca de 15 bilhões de dólares por ano (SOCIEDADE BRASILEIRA DE ALIMENTOS FUNCIONAIS, 2007).

No Brasil, a tendência é de classificar como alimentos funcionais fisiológicos, aqueles alimentos que, pela sua composição, irão produzir no organismo efeitos benéficos à saúde, que vão além das funções estritamente nutricionais, modulando processos bioquímico-fisiológicos que resultem em benefícios para a saúde. O alimento funcional deverá 10 constituir parte da dieta normal, inclusive quanto à apresentação e forma de consumo. A adição de nutrientes aos alimentos, aqui no Brasil, é regulamentada pela Portaria nº31, de 13 de janeiro de 1998, da Secretaria de Vigilância Sanitária do Ministério de Saúde (BRASIL, 1998).

Os grãos e seus derivados, como farinhas e farelos integrais, juntamente com as frutas e hortaliças são as principais fontes de fibra alimentar. Do ponto de vista químico, os constituintes da fibra alimentar podem ser divididos em componentes não glicérides, polissacarídeos não-amido e amido resistente, que além do efeito terapêutico, fornece uma melhor textura, aparência e sabor (CHARALAMPOPOULOS et al., 2002).

## 2.2 Arroz

Existem 23 espécies de *Oryza* distribuídas em todo o mundo, mas apenas duas são cultivadas: *Oryza sativa* L. (cariopse claro) e *Oryzablaberrima* Steud (Cariopse roxo). A *O. glaberrima* está sendo gradualmente substituída pela *O. sativa*, principalmente por esta última possuir grãos de melhor qualidade e maior capacidade de adaptação. O arroz é cultivado na Ásia, aproximadamente, 5.000 anos. Atualmente, admite-se que o arroz propagou-se da Índia até a China e daí, por intermédio da Coreia, foi introduzido no Japão. Da Índia, o arroz penetrou também na Indonésia e no Sri Lanka (antigo Ceilão). Mais tarde, chegou à Ásia Ocidental e à Costa do Mediterrâneo.

Os árabes, no século IV d.C., introduziram o arroz no Egito, no Norte da África e no século VIII, na Península Ibérica, onde surgiu a designação arroz (SOARES, 2012)

O arroz constitui-se em uma das mais importantes culturas agrícolas do mundo, com mais de 90% da sua produção proveniente das regiões tropicais e subtropicais da Ásia. Essa cultura é responsável pelo fornecimento de 50 a 70% do aporte diário de carboidratos e proteínas, na maioria dos países asiáticos, sendo também considerado um alimento básico para vários países da América Latina e Caribe (COMISSÃO INTERNACIONAL DO ARROZ, 2004).

A cultura do arroz apresenta características particulares, onde os maiores países produtores do cereal são também os maiores consumidores, tendo poucos países que se destinam a produção com o propósito de suprir a própria demanda como também a externa. Há poucos países importadores, que movimentam quantidades pouco significativas no volume total produzido no mundo, ao redor de 4% (CABRAL, 2002).

Os principais fatores climáticos que influenciam o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade do arroz são a temperatura, a radiação solar, o fotoperíodo e a precipitação pluvial. Segundo STEINMETZ (2004), a temperatura ótima para o desenvolvimento do arroz situa-se entre 20 e 35 °C. Em geral, a cultura exige temperaturas relativamente elevadas desde a germinação até a maturação, preferencialmente crescentes até a floração (antese) e decrescentes, porém sem quedas bruscas, após a mesma.

O Brasil é o nono maior produtor mundial e colheu 11,26 milhões de toneladas na safra 2009/2010. A produção nacional de arroz está distribuída pelos seguintes estados: Rio Grande do Sul, 64,4% da produção nacional, Santa Catarina, 8,3%, Mato Grosso, 5,4% e Maranhão, 4,4% (CONAB, 2011).

A relativa estabilização do consumo projetado do arroz é condizente com os dados de suprimento da Conab (2013) de nos últimos anos, ser por volta de 12 milhões de toneladas. As estimativas para a projeção de área plantada de arroz mostram que deverá ocorrer redução de área nos próximos anos. Pelas projeções pode cair de 2,23 milhões de hectares em 2012/13 para 1,50 milhão de hectares em 2022/23. A produtividade deverá ser a principal variável no comportamento desse produto nos próximos anos. A projeção indica uma produtividade de 5,5 toneladas por hectare, cerca de 600 Kg a mais do que a produtividade atual, de 4,9 toneladas por hectare. Mas, o arroz se concentra em áreas do Rio Grande do Sul onde a produtividade atual é de 7,5 toneladas por hectare. (BRASIL, 2013).

## 2.3 Cevada

O gênero *Hordeum* pertence à tribo Triticeae da família Poaceae (Gramineae) e é composto por pelo menos, 32 espécies descritas (BOTHMER et al., 1995). Caracteriza-se por possuir três espiguetas uniflorais, providas de ráquila unida ao grão. A espiguetas central é sempre fértil enquanto as laterais são, usualmente, estéreis. Cada espiguetas possui estruturas de proteção, denominadas de pálea e lema. Esta última pode apresentar arista ou ser mútica (CAIERÃO, 2008; KUNZE, 2006).

A cevada (*Hordeum vulgare L.*) ocupa a quarta posição mundial na produção de cereais em quantidade produzida e área de cultivo. A produção brasileira de cevada é de aproximadamente 295 mil toneladas e está concentrada na Região Sul do Brasil (EMBRAPA, 2013).

O grão de cevada de um modo geral é constituído de embrião, endosperma, aleurona e casca. O embrião é a parte mais importante do grão, pois é sua parte viva. Localiza-se na parte dorsal da base do grão, representa 3 a 4% do peso do grão (isento de água) e contém proteínas, lipídeos, sacarose, rafinose e minerais. No endosperma estão localizadas as células de amido. O amido é um hidrato de carbono complexo  $(C_6H_{10}O_5)_n$ , não solúvel em água, constituído por amilose (20%) e amilopectina (80%). A amilose é formada por cadeias lineares longas, com as unidades de D-Glucose ligadas por ligações  $\alpha$ -1-4. A amilopectina é muito ramificada, formada por ligações  $\alpha$ -1-4 no esqueleto e  $\alpha$ -1-6 nas ramificações de sua estrutura. O amido é degradado através de ações enzimáticas, transformando-se em extrato (KUNZE, 2006).

A casca é constituída basicamente de celulose, que é insolúvel em água. A mesma é utilizada como camada filtrante na filtração do mosto em tinas de clarificação (KUNZE, 2006). Conforme Savin & Aguinaga (2011), a aleurona é uma camada fina de células que envolvem o endosperma e sintetiza várias enzimas hidrolíticas ( $\alpha$ -amilases,  $\beta$ -glucanases,  $\beta$ -amilases, entre outras) e contribui no transporte de hormônios para o interior do endosperma. A cevada é preferida para a produção de malte, pois ela mantém sua casca durante o processo de malteação, protegendo o folículo ou broto durante a germinação, permitindo a completa modificação do endosperma do grão pela ação destas enzimas. Desta forma, a cevada reúne várias características que justificam sua utilização na produção de cerveja: rica em amido, presença de enzimas, casca que confere proteção e serve como agente filtrante do mosto na cervejaria, aroma e sabor característicos na cerveja.

Em grãos de cevada, têm sido identificados derivados dos ácidos hidroxibenzoico e hidroxicinâmico, como o ácido trans-ferúlico, encontrado em maior quantidade no grão, seguido dos ácidos p-cumarínico e vanílico (MC MURROUGH et al., 1992; SHAHIDI & NACZK, 2003). Esses ácidos são conhecidos por atuarem como antioxidantes primários na recepção de radicais livres, interrompendo a reação em cadeia e encontram-se presentes na camada de aleurona e no endosperma do grão (GOUPY et al., 1999).

Torna-se importante salientar que este cereal não pode ser utilizado diretamente na produção de cerveja, pois seu sistema enzimático não está capacitado para transformar o amido presente nas células da cevada em açúcar. Assim, deve-se realizar a malteação do grão antes da fabricação de cerveja (SENAI, 2004).

Os principais componentes do grão de cevada são : o amido, a proteína e a fibra alimentar, eos componentes minoritários são os lipídeos , minerais e vitaminas (YALÇIN et al., 2007). Esses grupos sofrem variações químicas por fatores genéticos e ambientais (MOLINA-CANO et al., 1995; YALÇIN et al., 2007). Os diferentes componentes do alimento e suas propriedades exercem efeitos diferenciados no organismo. Assim a variação na composição química de determinado alimento pode definir sua utilização.

Existe variação quanto à composição química de grãos de diferentes cultivares de cevada avaliadas (Oscarsson et al., 1996; Molina-Cano et al., 1997; Helm & De Francisco, 2004; Holtkjølen et al., 2007) e de outros grãos, tais como aveia (Gutkoski & Trombetta, 1999; Monteiro, 2005), arroz (Freitas, 2002), milho (Callegaro et al., 2005) e feijão (Ribeiro et al., 2005; Lonero et al., 2006).

## 2.4 Trigo

O trigo, historicamente foi o primeiro produto agrícola utilizado no processamento de alimentos. É um cereal fasciculado, pertencente a família Poácea e ao gênero *Triticum*, possuindo diversas espécies. As primeiras nascidas há cerca de 17 mil anos atrás foram *Triticum monococcum* e *Triticum diocum* (POSNER, 2000).

Acredita-se que o trigo é consumido há mais de 12 mil anos, isto não justifica a infinidade de estudos e pesquisas realizadas no mundo a fim de cada vez mais suas características. A origem do trigo é remotíssima pois o homem cultivava *Triticum vulgare*, a pelo menos 6 mil anos, no início, triturando-o entre pedras rústicas para extrair a farinha (ABITRIGO, 2008).

O trigo é um cereal de inverno e constitui-se numa excelente opção de cultivo para implantação do cultivo rotacionado. No cerrado, o cultivo do trigo pode ser feito sob regime de sequeiro ou irrigado, permitindo também o plantio do trigo no período da safra após a soja ou milho, no sistema de plantio direto (CUNHA, 2005).

As inúmeras espécies conhecidas do gênero *Triticum* (*T. monococcum*, *T. dicoccum*, *T. turgidum*, *T. aestivum*, *T. compactum*, etc.) são provenientes de genitores diferentes, com diferentes números de cromossomos. Os principais trigos comerciais são variedades das espécies *T. aestivum* e *T. durum*. O trigo comum ou trigo pão (*T. aestivum*, hexaploide;  $2n = 42$ ), possui três genomas (A, B e D), correspondendo cada um a um jogo normal diploide de cromossomos (CAMARGO et al., 1995), os quais provavelmente, são obrigatórios da hibridação (mutação do gene) de uma espécie diploide (*T. taushi*) com um híbrido tetraploide de *T. monococcum* e *T. speltoides* (duas espécies diploides com duplicação de cromossomos) (KENT, 1987);

Os fatores genéticos responsáveis pela qualidade de panificação da espécie *T. aestivum* estão localizados nos cromossomos do genoma D (CAMARGO et al., 1995). Seu genoma, ou seja o conjunto de informações genéticas que comandam a construção da planta e caracterizam a espécie tem uma peculiaridade especial: os genomas provenientes das três espécies primitivas conferem excepcional capacidade de adaptação às mais variedades de condições ecológicas (SOUZA, 1999). O trigo duro (*Triticum durum*), conhecido como trigo para macarrão, tem somente os genomas A e B, não apresentando qualidade para panificação (CAMARGO et al., 1995).

Segundo DELOUCHE (1964) e CARVALHO & YANAI (1976), trigo atinge a maturação fisiológica (definida como o estágio de desenvolvimento em que as sementes alcançam máximo peso seco) com aproximadamente 30% de umidade no grão. A partir desse ponto, ocorre somente perda de água e o grão está em condições de ser colhido. A medida que o grão vai secando, as perdas de pré-colheita, ou seja, por debulha natural, por tombamento, por ataque de pássaros, por doenças e por outras adversidades climáticas, aumentam progressivamente.

A farinha de trigo é o maior ingrediente de alimentos a base de cereais e consiste principalmente de amido (70-75%) e proteínas (10-12%). Apresenta também polissacarídeos não amiláceos (2-3%) e lipídeos (2%), os quais estão presentes em menor quantidade, mas são importantes na produção de alimentos derivados de farinha de trigo (GOESAERT et al., 2005).

A farinha facilita o consumo deste cereal principalmente, porque possibilita a melhor utilização de suas excelentes propriedades tecnológicas e nutricionais. A característica desejável da farinha de trigo deve-se aos componentes que constituem cada fração do grão em quantidades específicas (POMERANZ, 1998; POSNER, 2000).

Com relação às características de qualidade do trigo, há cultivares que interagem melhor com o ambiente em comparação a outras (FELICIO et al., 2000). A qualidade da farinha de trigo depende, principalmente, da qualidade do grão que se originou e das condições de moagem utilizadas (PRABHASANKAR et al., 2000).

A característica de trigo é, amplamente, definida pela sua composição (isto é, conteúdo protéico, teor de cinzas, etc.) e suas propriedades estruturais (tais como: amido danificado, distribuição do tamanho das partículas, etc.) (MOUSA et al., 2004). A qualidade tecnológica da farinha depende principalmente, das proteínas que estão intimamente ligadas ao patrimônio genético de uma variedade (proteínas formadoras de glúten: gliadina e glutenina), as quais sofrem alterações causadas por fatores ambientais (KHATKAR et al., 2002).

A qualidade da farinha para um produto final específico não pode ser descrita por um único parâmetro (GRAS et al., 2000). As indústrias geralmente, estabelecem padrões de qualidade para as farinhas, que incluem determinação de umidade, cinzas, proteínas, glúten úmido e seco e as análises reológicas (como farinografia e alveografia) (MIRALBÉS, 2004).

## **2.5 Processamento de Cereais por Extrusão Termoplástica**

Estudos vêm demonstrando que a mistura, em proporções adequadas de cereais e leguminosas, apresenta efeito complementar mútuo de aminoácidos e, conforme a proporção empregada na mistura destes alimentos, pode suprir ou complementar a recomendação diária de nutrientes por causa da qualidade protéica e da excelente fonte de minerais (SGIARBIERI, 1996).

A extrusão termoplástica representa um processo térmico a uma temperatura elevada durante curto tempo, pelo qual, materiais amiláceos e/ou proteínicos são plasticizados com água e cozidos em um tubo, pela combinação de pressão, temperatura e cisalhamento mecânico (SMITH, 1976). É um processo contínuo e de um único estágio, que por envolver

altas temperaturas e pressões, umidade e trabalho mecânico, promovem a transformação dos alimentos quanto as suas características químicas, físicas e nutricionais (ASCHERI, 1997; GUY, 2001; RIBAS et al., 2000).

A extrusão termoplástica de alimentos é definida como um processo termomecânico pelo qual, materiais amiláceos e/ou proteínicos são plasticizados com água e cozidos em um tubo, pela combinação de câmbios de pressão, transferência de calor e massa, e cisalhamento mecânico (SMITH, 1976; BERK, 2009). Literalmente, "extrusão" (da palavra latina *extrudere*) significa a ação de empurrar para fora. Já na área de engenharia, descreve uma operação de forçar um material para fora por uma abertura estreita (BERK, 2009).

A extrusão, pode ainda ser entendida como um processo de cozimento contínuo em uma etapa que combine as forças de cisalhamento, de alta pressão e alta temperatura em um curto espaço de tempo (BERK, 2009; NAYAK; BERRIOS; POWERS et al., 2011; WILEY, 2013).

A aplicação da tecnologia de extrusão termoplástica na área de cereais e amiláceos, em geral, está sendo identificada como uma tendência mundial inovadora de mercado, sendo vista portanto, como uma tecnologia versátil e moderna, que converte os produtos agrícolas, usualmente em formato de grãos ou farinhas em produtos terminados e de pronto consumo, tais como de biscoitos expandidos, entre outras (CARVALHO et al., 2002; CHANG et al., 1999; NAYAK et al., 2011; BERRIOS et al., 2010; WILEY, 2013).

A extrusão começou a ser utilizada com maior intensidade a pouco mais de duas décadas, devido ao fato da crescente demanda por alimentos de pronto consumo (GUHA et al., 1997).

Quanto as partes da extrusora, se vê que, o extrusor é constituído basicamente por um alimentador, um ou dois parafuso, um cilindro encamisado, matriz e mecanismo de corte. O alimentador é composto de um recipiente para receber o material a ser extrudado e de um vibrador ou parafuso localizado vertical ou horizontalmente. 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 (BORBA et al., 2005).

Uma extrusora é composta de várias partes, sendo o parafuso ou rosca sem-fim uma das mais importantes. O parafuso possui várias seções, para facilidade da operação e manuseio. Nesta parte do equipamento se desenvolve uma alta pressão que força o material em direção à matriz (Figura 1). Neste trajeto, a temperatura se eleva e o amido rompe-se ao deixar a extrusora, a pressão decresce violentamente e a água se vaporiza instantaneamente, provocando uma expansão no material extrudado. a temperatura da câmara de extrusão é mantida por vapor ou por resistências elétricas (CARVALHO et al., 2002).

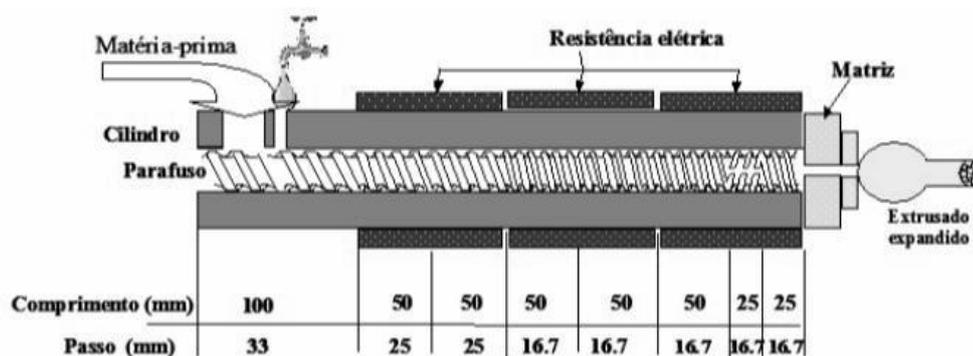


Figura 1. Diagrama esquemático de uma extrusora (Carvalho, 2001)

Além desses, existem os produtos texturizados em geral como: Alimento humana, Cereais pronto para comer; *Snacks* (salgados e doces); Alimentos para bebês; Sopas instantâneas; Farinhas para pão, etc.; Proteína vegetal texturizada; Substitutos de proteína animal; Misturas enriquecidas de farinhas; Substitutos de laticínios; Aditivos para padaria; Amido modificado; Massas; Bebidas em pó; Biscoitos (salgados e doces); Produtos dietéticos; Cereais, e vegetais pré-cozidos; Alimentação animal; Alimentos para ruminantes, porco, aves, peixes, etc.; Alimento para animais de estimação; Produtos de resíduos industriais, processados para reaproveitamento; Usos industriais; Industria de papel; Industria de biofilmes; Industria têxtil; Industria metalúrgica; Industria do petróleo; Adesivos; Coadjuvante, inseticidas, fungicidas; Processos de compostura, plásticos biodegradáveis, etc. (ALVIM et al., 2002; FERNANDES et al., 2003; WILEY, 2013).

No processo de extrusão, o material alimentar é plastificado com água para conseguir fluidez sendo portanto, continuamente cozido ao atravessar através de um tambor cilíndrico. O tambor e parafuso da extrusora mono rosca, geralmente divide-se em 3 seções (de alimentação, de transição e de alta pressão) os quais estão ilustrados na Figura 2 (BERRIOS et al., 2013).

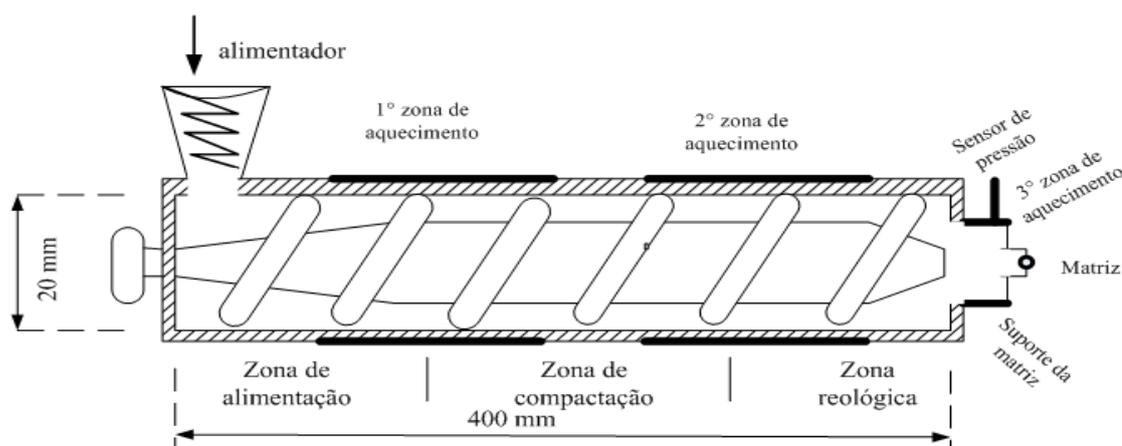


Figura 2. Ilustração esquemática da extrusora mono-rosca utilizada no experimento (Fraíha, 2008).

O princípio básico do processo de extrusão consiste em converter um material sólido em fluido pela aplicação de calor e trabalho mecânico e conduzi-lo através de uma matriz. O processo promove a conversão do amido, a desnaturação e reorientação das proteínas, a inativação enzimática, a destruição de substâncias tóxicas, tais como os inibidores das proteases, e a diminuição da contagem microbiana para formar um produto de características físicas e geométricas pré-determinadas (SEBIO, 1996). Além disso, proporciona a hidratação de amidos e proteínas, homogeneização, cisalhamento, fusão de gorduras, plastificação e expansão da estrutura alimentar (FELLOWS, 2002).

Após o período em que o material atravessa o condicionador este passa para o canhão extrusor. O extrusor tem a finalidade de realizar a maior parte do processo de extrusão e, conseqüentemente, a gelatinização do amido contido no produto. O extrusor é dividido em três fases: setor de alimentação, setor de cisalhamento e setor final ou cocção, de acordo com a figura 3. O setor de alimentação tem a função de transportar o material condicionado para o interior do canhão. Já o setor de cisalhamento é responsável pela transformação da mistura em uma massa amórfica. Por fim, o setor de cocção é a parte imediatamente anterior ao sistema de matriz e ao corte.

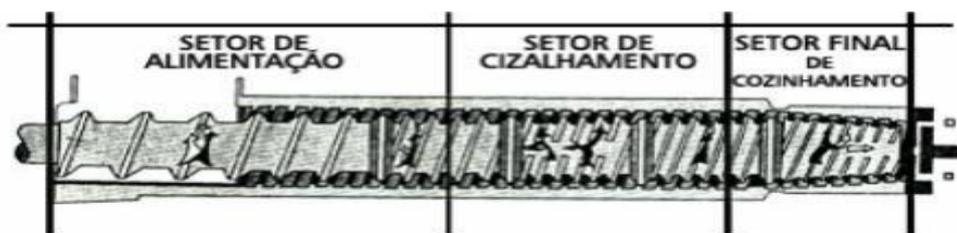


Figura 3 - Setores do canhão extrusor (FERRAZ, 2012).

A extrusão traz muitas vantagens como, uma grande variedade de produtos pode ser produzida em um sistema básico de extrusão com uma capacidade de produção maior que outros sistemas de cozimento, além de ter requerimentos de trabalho e espaço por unidade de produção menor, bem como, extrusores produzem formas que não são facilmente obtidas com outros métodos de produção. A alta temperatura e o curto tempo do processo minimiza a degradação dos nutrientes ao mesmo tempo em que destrói microrganismos. A extrusão pode ainda modificar proteínas vegetais, amidos e outros materiais para produzir novos alimentos sem deixar resíduos nem materiais perigosos para o meio ambiente (SMITH, 1976; MAKARAVICIUS et al., 2012; WIRLEY, 2013). É importante o controle do processo de extrusão para permitir a obtenção de produtos com características variadas, como também melhorar a eficiência e economia da operação. Embora a extrusão seja um processo tecnológico simples, seu controle é complicado devido ao grande número de variáveis envolvidas no processo e sua complexidade (CARVALHO et al, 2002; WILEY, 2013).

Para Fellows (2002), os dois principais fatores que influenciam nas características dos produtos extrudados são: as características das matérias-primas e as condições operacionais da extrusora. 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, fibras, gorduras 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 da extrusora e pelo seu comprimento; além da velocidade e geometria da (s) rosca (s).

No extrusor intercorre a maior alteração do material que foi parcialmente cozido no condicionador. Esta transformação determina as características finais do produto (ROKEY et al., 2012).

Segundo El-Dash (1982) e Guy (2001) o processo de extrusão compreende as etapas de pré-extrusão, extrusão e pós-extrusão. A pré-extrusão inclui a preparação dos ingredientes e sua mistura em proporção adequada. Após a mistura, o material é transportado para ser condicionado a um conteúdo apropriado de umidade. Na etapa de extrusão, a matéria-prima é introduzida no equipamento através do alimentador, sendo impulsionada pelo(s) parafuso(s) em direção à matriz. À medida que o produto atravessa as diferentes zonas de extrusão (de alimentação, de transição e de alta pressão), ocorre aumento gradativo do atrito mecânico, provocado por modificações da geometria do parafuso e abertura da matriz. Em consequência, aumentam também a pressão e a temperatura, ocorrendo o cozimento do produto. A pós-extrusão inclui a secagem dos extrudados expandidos para umidades inferiores a 10%, o resfriamento e a aplicação de sabores e temperos, quando conveniente.

O processo de extrusão apresenta o sistema de matriz e corte. A matriz possui duas funções: restringir a saída da mistura para criar a pressão necessária para a aplicação da energia mecânica e alterar o formato final do extrudado através do formato do orifício da matriz e da velocidade de corte das facas (COWELL et al., 2000).

A extrusão é considerada um processo de alta temperatura e curto espaço de tempo (high temperature – short time – HTST), com período de residência do alimento no extrusor de 1 a 2 minutos. A extrusão aumenta a digestibilidade das proteínas, amido e energia e elimina fatores antinutricionais, microrganismos e enzimas (KRABBE, 2007).

Atualmente, processos termomecânicos, como a extrusão, estão sendo aplicados com o objetivo de melhorar as propriedades funcionais das fibras e incrementar seu nível de incorporação nos alimentos (ARTZ; WARREN e VILLOTA, 1990; CHANG et al., 2001).

### **2.5.1 Fatores que afetam a expansão de produtos extrudados**

A principal mudança físico-química que ocorre com a proteína durante a extrusão é a melhora da digestibilidade devido à desnaturação, pela aplicação de calor úmido e cisalhamento, e a inativação de inibidores de enzimas. São fatores que interferem na digestibilidade da proteína durante a extrusão: aumento da temperatura, aplicação de calor anterior ao processamento, origem da proteína, velocidade de rotação da rosca (CAMIRE et al., 1990; FURLAN; MONTEIRO; SCAPINELLO et al., 2004). Já a principal mudança química é a ocorrência da reação de Maillard acarretando diminuição da disponibilidade de lisina, principalmente em condições de elevada temperatura, alta rotação, baixa umidade e presença de açúcares redutores (CHEFTEL, 1986). Os fatores ligados à matéria-prima tais como teor de umidade, proporção de amilose e amilopectina, conteúdo de proteína, lipídios e fibra e as fontes de amido utilizadas, exercem grande influência no produto acabado (ASCHERI, 2006).

A secagem é uma etapa crítica no processamento de alimentos extrudados, já que apresenta custo expressivo na produção, além de interferir na qualidade da dieta. Um dos maiores desafios da indústria é manter a umidade homogênea entre os extrudados, pois apenas 3% de variação na umidade entre amostras pode gerar grande perda econômica em produções de larga escala (MURAKAMI, 2010).

Análises de Atividade de água são muito importantes durante o processo de produção de alimentos extrudados, por meio destas análises pode-se controlar a reprodução microbiana, reações enzimáticas, oxidativas e hidrolíticas do alimento. Assim, é possível garantir maior qualidade, preservação e tempo de prateleira do produto comercializado (BRITO, 2009).

Segundo Ascheri, (2008) o resultado do material extrudado dependerá de uma complexa interação de fatores como o tipo de extrusor utilizado, matéria-prima, taxa de alimentação, configuração e velocidade dos parafusos, taxa de compressão, temperatura do barril, desenho e tamanho da abertura da matriz, etc., que deverão ser monitorados pelo estudo.

As mudanças físicas resultantes do processamento são determinantes para a aceitabilidade do produto final, e, para “snacks” são características importantes: expansão, dureza, crocância e densidade, sendo esperada uma estrutura expandida na maioria dos “snacks” (CHRISTOFIDES et al., 2004; BOMBO, 2006).

Após a secagem a de alimentos como a ração recebe o recobrimento por aspensão de óleos e aromas em cilindros rotativos. No processo de extrusão para animais de companhia é mais interessante que os equipamentos de secagem e resfriamento sejam separados, pois é importante que o banho de óleo seja realizado com os extrudados ainda quentes. Dois tipos de injetores podem ser utilizados para realizar o banho de óleo. Em outro sistema de aplicação de coberturas o alimento extrudado seco flui através de uma cortina de líquidos, gerada por um disco rotativo. Este sistema elimina os injetores (ROKEY et al., 2012). Depois deste banho é realizado o resfriamento do alimento.

As fibras alimentares são constituintes normais da parede das células vegetais, resistentes à hidrólise enzimática no intestino humano, embora parcialmente atacadas pelas bactérias do cólon. A incorporação de altos níveis de fibra dietética em produtos extrudados tem frequentemente resultado em produtos compactos, rígidos, com baixo índice de expansão (HASHIMOTO; GROSSMAN, 2003). Os alimentos à base de cereais, tais como os expandidos a partir de milho, trigo, aveia e cevada, e produtos de panificação, tais como biscoitos, pães, biscoitos, são considerados bons portadores de fibra dietética (DUARTE; CARVALHO; ASCHERI, 2009).

Alvarez-Martinez *et al.* (1988) estudaram em detalhes a expansão de extrudados expandidos de milho através de uma matriz cilíndrica. As expansões consideradas neste estudo foram as expansões longitudinal, radial e volumétrica. Foi postulado que o mecanismo responsável pelas expansões radial e longitudinal na extrusão foram relacionados com a capacidade do material dentro da extrusora em fundir-se devido a componente de energia elástica armazenada, ou seja, da energia aplicada no sistema e também devido a componente de elasticidade inerente ao material processado.

No entanto, a incorporação de fibras prejudica as características de qualidade do produto como a expansão, volume do pão, e textura (ONWULATA et al 2000).

As variantes dependentes do processo, mudam como consequência das variáveis independentes e servem para avaliar as propriedades físicas, químicas e funcionais dos extrudados sendo estas: densidade, volume específico, umidade, expansão, atributos sensoriais como aparência, cor, sabor, crocância, textura, grau de cozimento avaliado através da susceptibilidade enzimática, viscosidade, índices de absorção e de solubilidade em água, a difração de raio-X e calorimetria.

Al-Rabadi, et al. (2011) extrudaram sorgo usando dois perfis de temperatura (baixo e alto) e diferente tamanho de partícula: grãos inteiros, farinha grossa (partículas > 1mm), farinha media (partículas entre 0,5 – 1 mm) e farinha fina (partículas < 0,05 mm). A extrusão usando partículas finas e alto perfil de temperaturas gerou alta entrada de energia e pressão interna, elevado índice de expansão radial, índice de solubilidade em água e índice de absorção de água.

De acordo com Alvarez-Martinez et al. (1988), a formação de bolhas de ar e consequentemente a expansão final do extrudado o que é geralmente devido a dois critérios de acordo com a direção de expansão: expansão longitudinal (el) na direção axial e expansão radial (er) na direção radial. Entende-se que a expansão ou processo de *puffing*, o que acontece como parte do cozimento por extrusão, criam-se compartimentos de ar ou células de gás no produto decrescendo assim a densidade aparente do produto. Alguns desses compartimentos de ar são abertos e, assim o ar pode mover-se livremente de uma célula para a outra. Outros compartimentos são fechados evitando assim movimento do ar entre os poros. A expansão de extrudado é dependente primeiramente do desenvolvimento desses compartimentos de ar ou bolhas os quais são criados quando vapor de água expande-se assim que o extrudado sai da matriz do extrusor (KUMAGAI; YANO, 1993; ALI *et al.*, 1996).

Como é conhecido, o amido nativo quase não absorve água à temperatura ambiente, sendo sua viscosidade em meio aquoso praticamente nula. Entretanto, o amido extrudado, submetido aos parâmetros de extrusão para expandidos direto, absorve água rapidamente, formando uma pasta à temperatura ambiente, a qual é formada por macromoléculas solubilizadas, incluindo também partículas intumescidas por água (gel), (MERCIER e FEILLET, 1975; CHINNASWAMY e HANNA, 1988; ASCHERI, et.al. 1997).

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

As principais propriedades funcionais dos extrudados envolvem a absorção de água, a solubilidade em água e a viscosidade (LAZOU e KROKIDA, 2010). O aumento de solubilidade do material serve como base para a elaboração de alimentos de fácil reconstituição como, por exemplo, as sopas. Após a cocção por extrusão, as farinhas de alguns cereais são comercializadas como farinhas pré-gelatinizadas.

A extrusão termoplástica, dependendo das condições do processo e da composição da matéria-prima, causa o intumescimento e ruptura do grão de amido destruindo completamente a estrutura organizada do grânulo, diminuindo a viscosidade do meio e liberando amilose e amilopectina (CAMIRE, CAMIRE e KRUMHAR, 1990). Algumas pesquisas evidenciaram, com a análise da viscosidade e do peso molecular após a extrusão termoplástica, que a amilose e a amilopectina são parcialmente hidrolisadas em maltodextrinas, devido às altas

temperaturas e à grande força de cisalhamento dentro do extrusor (CHEFTEL, 1986).

A inserção de ingredientes no material amiláceo a ser extrudado influencia as características físico-químicas do produto final, podendo diminuir a gelatinização do amido por não oferecerem material viscoso suficiente. Quanto maior a proporção de material não amiláceo adicionada, menor o grau de gelatinização do amido do produto extrudado, em decorrência da diminuição da proporção de amido.

Farinhas e amidos pré-gelatinizados podem ser usados sem emprego do calor (por exemplo em pudins, misturas lácteas instantâneas e alimentos para desjejum) para preparar misturas prontas panificáveis, cujo aumento da absorção e retenção de água melhora a qualidade do produto (CLERICI e EL-DASH, 2008). A pré-gelatinização de farinhas pode ser obtida em escala industrial pela utilização da extrusão. Essa se apresenta como um dos mais vantajosos métodos para substituir o processo convencional na produção de farinhas pré-gelatinizadas, devido ao controle mais rigoroso do grau de gelatinização, em que pequenas modificações no equipamento e/ ou na matéria-prima podem levar a diferentes resultados finais na qualidade do produto (CLERICI e EL-DASH, 2008).

O processo de moagem consiste em reduzir o tamanho das partículas da matéria prima e visa proporcionar uma mistura homogênea para facilitar o processo de extrusão, no caso de alimentos para cães e gatos (FRAILHA, 2005). A moagem é realizada principalmente com moinhos de martelos (COWELL et al., 2000). Sistemas de moagem são equipados com peneiras e detectores de metais para remover metais ferrosos e outros objetos estranhos (SOUZA, 2010).

A redução do tamanho das partículas tem várias vantagens, entre elas proporcionar uma mistura homogênea da matéria prima, melhorar o processo de extrusão e melhorar a qualidade final do produto. Entretanto, a moagem é responsável por grande parte da energia elétrica gasta em uma fábrica de ração. O ingrediente utilizado na produção, a área da peneira, a velocidade periférica dos martelos, a configuração dos martelos e a velocidade do alimentador podem influenciar diretamente na eficiência do processo de moagem (BAZOLLI, 2007).

Durante o processo de extrusão, mudanças tais como: gelatinização do amido, desnaturação de proteínas e destruição de compostos antinutricionais, são vistas como benéficas para desenvolvimento de alimentos. Embora muitos outros fatores pudessem afetar a gelatinização durante a extrusão, são destacados, o conteúdo de umidade, amido, fibra e temperatura do canhão, como os mais importantes (AL-RABADI et al., 2011).

A formação de produtos expandidos, com forma e textura desejáveis, depende de inúmeros fatores. Os mais importantes são: a gelatinização adequada do amido e o desenvolvimento de zonas de alta pressão próximas à matriz, para causar rápida evaporação da água e formação de uma estrutura celular forte (CAMIRE et al., 1990; DE OLIVEIRA et al., 2004).

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

## **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **3.1 Local de Execução**

O processo de extrusão foi conduzido na Embrapa Agroindústria de Alimentos, planta piloto IV. As avaliações físicas das matérias primas e produtos obtidos foram realizados nos laboratórios de tecnologia de cereais. A composição química foi realizada nos laboratórios de físico-química, análise sensorial, minerais, cromatografia e laboratório da planta piloto V.

### **3.2 Matéria-Prima**

Foram utilizados grãos de arroz branco, grãos de cevada e grãos de trigo, todos já descascados, doados pela Embrapa Agroindústria de Alimentos (Rio de Janeiro- RJ). Os grãos foram acondicionados em sacolas plásticas, em seguida armazenados em temperatura de refrigeração a 18°C até o processo de moagem.

### **3.3 Métodos**

#### **3.3.1 Obtenção e caracterização da matéria prima**

Os grãos de arroz, cevada e trigo foram limpos manualmente a fim de remover partículas estranhas. Antes das análises, os grãos foram moídos usando um moinho de discos (MD) LM3600 (Perten Instruments AB; Huddinge, Suécia) (Figura 4) com abertura nº 6 entre discos e, em seguida com moinho de martelos (MM) LM3100 (Perten Instruments AB, Huddinge, Suécia) (Figura 5) equipado com uma peneira de 0,8 mm de abertura, a fim de atingir um tamanho de partícula desejável para a realização das análises.



**Figura 4.**Moinho de discos (MD) LM3600



**Figura 5.**Moinho de martelos (MM) LM3100

### **3.3.2 Análises físico-químicas das matérias primas**

#### **3.3.2.1 Determinação da composição centesimal das farinhas cruas**

A análises foram quantificados em duplicata e de acordo com a Association of Official Analytical Chemists (AOAC) ano 2010, teor de umidade (método 925,09), nitrogênio total (método 2001,11; um fator de 5,75 foi usado para converter nitrogênio total em proteína total), teor de lipídeos (método 945,38), teor de cinzas (método 923,03).

#### **3.3.2.2 Determinação da composição de carboidratos totais**

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

#### **3.3.2.3 Determinação da composição de fibra alimentar**

Foi determinado pelo método: Enzimático-Gravimétrico POP FQ 015. Uma amostra de 2 g foi transferida para o tubo de digestão, acrescentando-se 200 mL de solução de  $H_2SO_4$  a 1,25% (p/v), em seguida levado a ebulição branda por 30 min. O material foi filtrado em um funil, com papel de filtro já tarado, com o auxílio de água destilada. O processo foi repetido utilizando-se de 200 ml de solução de NaOH 1,25% (p/v). Depois da filtragem, o papel de filtro mais amostra foi levado à estufa a  $105^\circ C$  até secagem completa (~8 h), retirado em dessecador para esfriar por 2 horas, e depois, pesado (AACC, 1975).

### Equação 1.

$$\% \text{ Fibra alimentar (bruta)} = \frac{\text{peso do papel} + \text{resíduo seco} - \text{peso do papel} \times 100}{\text{Peso da amostra}}$$

### 3.3.3 Determinação da distribuição granulométrica

Foi realizada, por segregação de 100 g de farinha, retido no topo de peneiras padronizadas de aço inox (Newark, U.S.A.) (Figura 6) após 10 min de peneiramento em ROTAP RX-29-10 (W.S. Tyler, St. Albans, WV, USA) (figura 7) .quatro aberturas de peneira foram selecionadas (2,00; 1,70; 1,40; 1,18 mm) e um fundo, a fim de obter uma distribuição normal das partículas . As frações retidas no topo de cada peneira foram pesadas em balança semianalítica GT4100 (Ohaus, PrecisionAdvanced). O calculo de partículas retidas ( $R_n$ ) em g.100 g<sup>-1</sup>, foi realizado com a equação (2).

### Equação 2

$$R_n = m_r - m_p$$

Onde,  $n$  indica a abertura de peneira, em mm;  $m_r$  é a massa da peneira  $n$  com produto retido  $m_p$  é a massa da peneira  $n$  vazia.



Figura 6. Peneiras em aço



Figura 7. Rotap RX-29-10

### 3.3.4 Delineamento experimental

Um delineamento de misturas simplex-centroide com três componentes, foi escolhido para os experimentos, pois todos os componentes tinham o mesmo intervalo, entre 0 e 1, e não houve restrições na região em estudo (BORSATO, 2010). Os componentes da mistura consistiram de farinha de arroz (X1 ou A), farinha de cevada (X2 ou B) e farinha de trigo (X3 ou C). O software Statistica foi utilizado para determinar as proporções ótimas da mistura de cereais.

As porcentagens dos componentes foram expressas como frações da mistura, sendo a soma igual a um ( $X1 + X2 + X3$ ). Os níveis destes três por componentes e o delineamento experimental em termos dos pseudo-componentes como 10 combinações são apresentados na tabela 1.

**Tabela 1:** Composição das misturas para a produção de extrudados expandidos formulados com farinhas de multicereais.

Tratamentos	Proporção de farinhas <sup>a</sup>					
	X1 (FA)		X2 (FC)		X3 (FT)	
1	1	(70%)	0	(15%)	0	(15%)
2	0	(15%)	1	(70%)	0	(15%)
3	0	(15%)	0	(15%)	1	(70%)
4	0,5	(42,5%)	0,5	(42,5%)	0	(15%)
5	0,5	(42,5%)	0	(15%)	0,5	(42,5%)
6	0	(15%)	0,5	(42,5%)	0,5	(42,5%)
7	0,33	(33,3%)	0,33	(33,3%)	0,33	(33,3%)
8	0,33	(33,3%)	0,33	(33,3%)	0,33	(33,3%)
9	0,33	(33,3%)	0,33	(33,3%)	0,33	(33,3%)
10	0,33	(33,3%)	0,33	(33,3%)	0,33	(33,3%)

<sup>a</sup> FA = Farinha de arroz, <sup>a</sup> FC = Farinha de cevada, <sup>a</sup> FT = Farinha de Trigo.

### 3.3.5 Análise estatística

Modelos lineares, quadráticos e cúbicos (Equações 3, 4 e 5) foram usados para representar os valores das respostas ajustadas (Figura 8). A significância estatística de cada equação foi determinada por análise de variância (ANOVA) a 5%.

### Equação 3

$$Y = b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 \quad (1)$$

### Equação 4

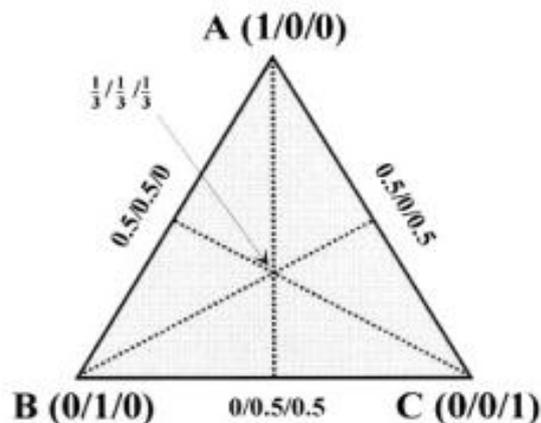
$$Y = b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_1b_2X_1X_2 + b_1b_3X_1X_3 + b_2b_3X_2X_3 \quad (2)$$

### Equação 5

$$Y = b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_1b_2X_1X_2 + b_1b_3X_1X_3 + b_2b_3X_2X_3 + b_1b_2b_3X_1X_2X_3$$

Onde Y é a variável dependente de predição (índice de expansão, RVA, textura, índice de solubilidade e absorção em água), b os coeficientes da equação (determinados de acordo com Cornell, 1990); e X as proporções dos pseudo-componentes.

A partir das equações de predição obtidas por regressão, foi possível elaborar gráficos tridimensionais de superfícies de resposta, bem como suas respectivas curvas de nível com o auxílio do programa computacional Statistica versão 7.



**Figura 8.** Visão geral das regiões do delineamento de uma mistura simples de três componentes (BORSATO, 2010).

### 3.3.6 Preparo da amostra para extrusão: farinha mista

Os grãos de arroz, cevada e trigo foram moídos como mencionado no item 3.3. As proporções para os diferentes frações das farinhas foram feitas conforme ao delineamento experimental. As farinhas foram misturadas e as amostras foram homogeneizadas (Figura 9) por 15 min em misturador de massa (batedeira semi-industrial, CHOPIN), até a obtenção de uma mistura homogênea (Figura 10), após homogeneização foram ensacadas e etiquetadas por tratamentos (Figura 11) em seguida armazenados sob refrigeração.



**Figura 9.**Mistura de farinhas de Arroz; cevada e trigo



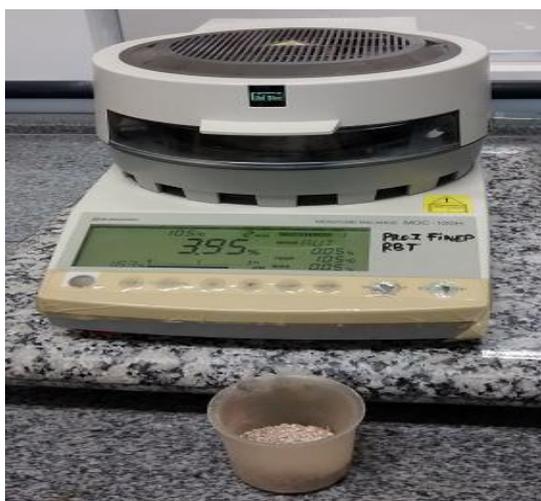
**Figura 10.** Homogeneizador industrial



**Figura 11** mistura de farinhas de Arroz; cevada e trigo ensacada

### 3.3.7 Caracterização da umidade

Após a homogeneização, a umidade das farinhas para extrusão foram determinada por termogravimetria, em duplicata. Foram pesadas  $2 \pm 0,005$  g de farinha e secas a  $105^{\circ}\text{C}$  em balança de umidade MOC-120H (Shimadzu, Japão) (Figura 12) até atingir uma umidade remanescente na farinha, inferior a 0,05% (base úmida).



**Figura 12.** Balança de umidade MOC-120H

Após a determinação da umidade das farinhas misturadas foi adicionada água a fim de alcançar a umidade proposta pelo desenho experimental de 14%. A quantidade de água que se precisou adicionar foi calculada pela equação (6), de acordo com (MATHIAS, 2002; MADEIRA, 2007; SILVA, 2009).

### **Equação 6.**

$$A = (U_f - U_i / 100 - U_f) \times P_a$$

Onde:

$A$  = 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)

Em seguida as amostras foram novamente homogeneizadas em um misturador de massa (batedeira semi-industrial), agitando durante 15 min.

As amostras foram, então, acondicionadas em sacos plásticos individuais, etiquetadas e armazenadas sob refrigeração a 18°C por 24 h para garantir distribuição e absorção da água uniforme. Somente após este período de condicionamento, as amostras foram submetidas ao processo de extrusão. O preparo das amostras da farinha está apresentado na Figura 13.

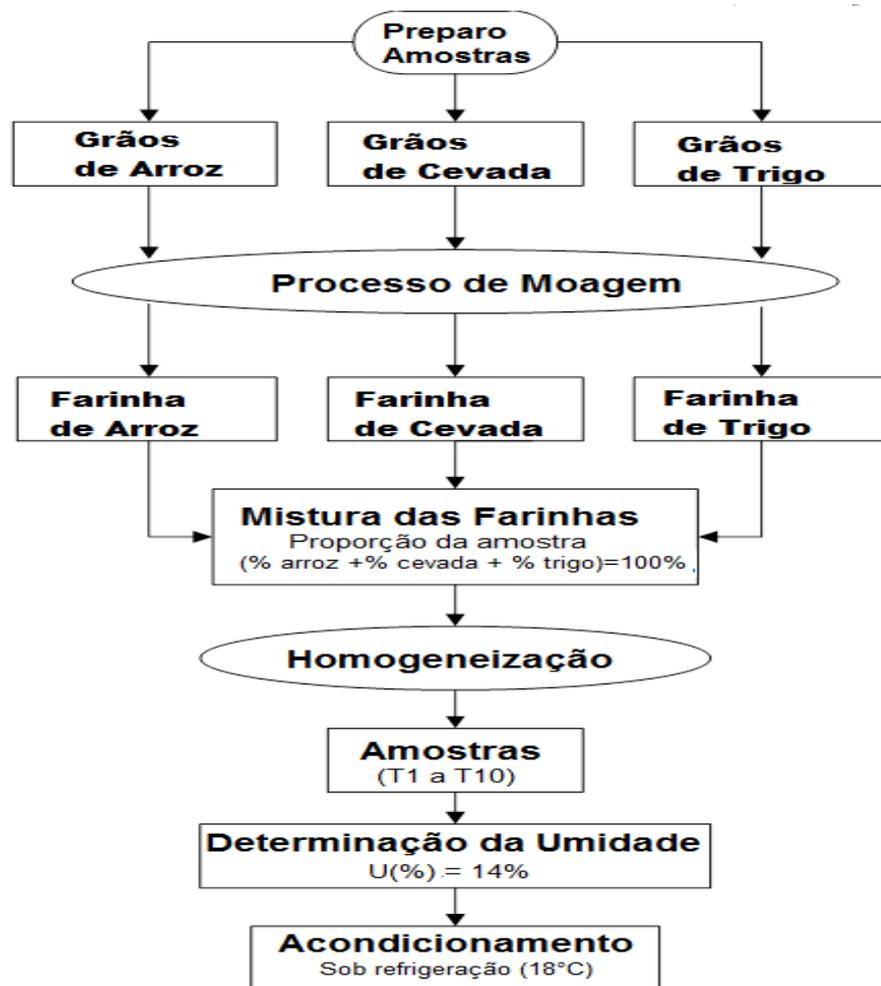


Figura 13. Fluxograma de preparo das farinhas mistas

### 3.3.8 Processo de extrusão

#### 3.3.8.1 Condições de processo

O processo de extrusão foi realizado em uma (1) etapa, utilizando-se 10 amostras que foram submetidas à extrusão, cada uma contendo 800g, conforme tabela 1. Foram preparados, no total, cerca de 8kg de amostra para o processo de extrusão.

As misturas foram processadas em extrusora de laboratório de parafuso único 19/20 DN (Brabender, Duisburg, Alemanha) acoplada em um reômetro de torque Plasti-CorderLabStation (Brabender, Duisburg, Alemanha), conforme Figura 14.

O processo de extrusão foi iniciado após as zonas de alimentação, transição e alta pressão após terem alcançado os valores de temperatura previamente ajustados em

computador equipado com o programa de controle do reômetro de torque WinExt versão (Brabender, Duisburg, Alemanha).



**Figura 14.** Extrusora de laboratório de parafuso único 19/20 DN (Brabender, Duisburg, Alemanha) acoplada em um reômetro de torque Plasti-CorderLabStation (Brabender, Duisburg, Alemanha).

Os Parâmetros variáveis utilizados no processamento foram:

- Diferentes proporções de \*farinhas(arroz, cevada e trigo) nas misturas.

\* De acordo com delineamento experimental

Os Parâmetros constantes no processamento foram:

- Temperaturas (°C) de zonas de aquecimento (da zona de alimentação à saída): 1ª zona de alimentação - 50°C, 2ª zona de transição- 100°C, 3ª zona de alta pressão – 130°C
- Rotação do parafuso: 200 rpm
- Diâmetro da matriz circular: 3 mm
- Taxa de compressão do parafuso: 4:1
- Umidade das misturas: 14%
- Taxa de alimentação: 15 kg/h

### 3.3.8.2 Obtenção dos extrudados

A coleta do extrudado foi realizada após o equilíbrio do processo ser atingido, observado pela mínima variação do torque (inferior a 10%). Os extrudados foram coletados em bandejas plásticas evitando-se deformá-los na saída da matriz( Figura 15).

Para a determinação dos índices de expansão e extrudados por imagem, foram utilizadas amostras de extrudados antes de serem secos, outra parte dos extrudados foi, em

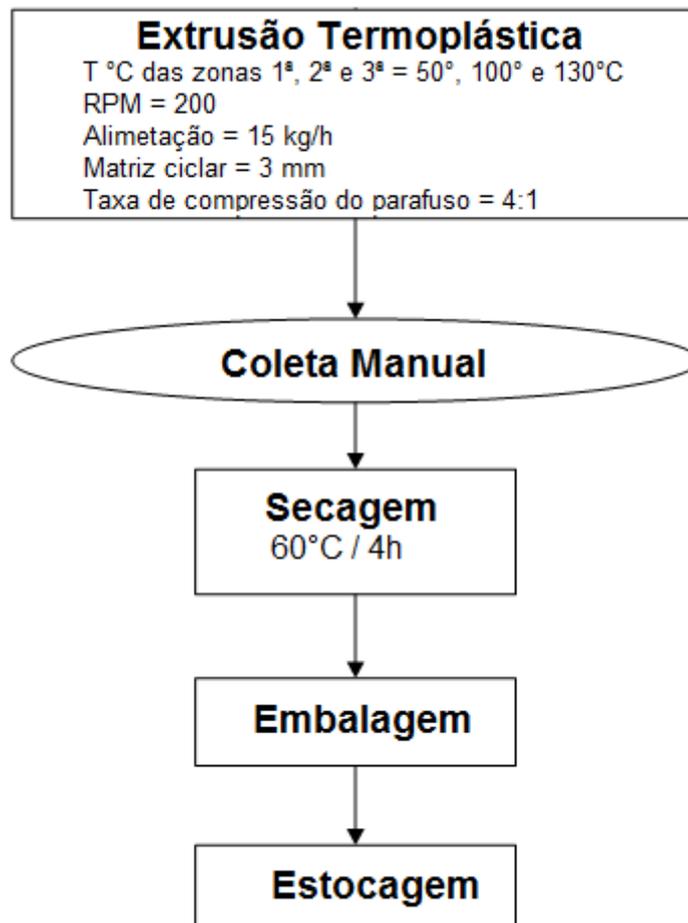
seguida, submetida à secagem em estufa com circulação de ar a 60°C por 4h, logo resfriada a temperatura ambiente.

Posteriormente acondicionados em sacos plásticos, lacrados, e etiquetados. O armazenamento desta etapa foi feito em local seco a temperatura ambiente para análise de textura. Uma terceira parte dos extrudados, após secagem, foi moída usando um moinho de discos (MD) LM3600 (PertenInstruments AB; Huddinge, Suécia) com abertura de luz nº6 entre discos e, em seguida com moinho de martelos (MM) LM3100 (PertenInstruments AB, Huddinge, Suécia) equipado com uma peneira de 0,8 mm de abertura, a fim de atingir um tamanho de partícula desejável para as análises de determinação da viscosidade de pasta, índice de solubilidade e absorção em água, análise de cor e composição química.

O processo de extrusão das amostras de farinhas mistas foi feito segundo Figura 16, que segue.



**Figura 15.** Extrudados coletados em bandejas plásticas



**Figura 16.** Fluxograma do processo de extrusão das farinhas mistas

### 3.3.9 Propriedades físicas dos produtos extrudados

#### 3.3.9.1 Determinação da vazão do processo de extrusão e densidade aparente

A determinação da vazão foi realizada coletando em sacolas de plástico previamente taradas uma quantidade de extrudado a saída da matriz durante 30s. O extrudado coletado foi pesado em balança semi-analítica SB12001 (Mettler Toledo, Suíça). O fluxo mássico ou vazão foi calculada através da equação (7) e expressa em kg/min.

**Equação 7.**

$$P_e = m/t (3600/1000)$$

Onde:  $P_e$  e a Vazão (kg/h);  $m$  e a massa em (g);  $t$  e o tempo (s)

Para a densidade aparente, foi registrada a massa ( $m$ ) de extrudados de aproximadamente 3mm de comprimento em balança analítica e calculou-se a densidade aparente do produto extrudado ( $\rho_e$ ) utilizando a equação (8):

#### Equação 8.

$$\rho_e = \frac{4 \times m}{\pi \times D^2 \times L}$$

Onde:  $\rho_e$  e a densidade aparente;  $m$  e massa;  $D$  é o diâmetro médio e  $L$  e o comprimento.

Cada vazão foi realizada três vezes e a média obtida foi utilizada no cálculo da Energia Mecânica Específica. Os extrudados coletados foram analisados quanto ao teor de umidade, o qual foi usado na determinação do índice de expansão longitudinal.

#### 3.3.9.2 Determinação da energia mecânica específica (EME)

A EME pode ser definida como a energia proveniente da rotação dos parafusos transmitida ao material que se e

ncontra dentro do extrusor, por unidade de massa (FICHTALI & VAN DE VOORT, 1989). Ou, a energia mecânica total necessária para obtenção de 1Kg de extrudado.

O torque, pressão da caixa de engrenagens ( $p_g$ ), pressão na placa frontal ( $p_f$ ) e temperatura da massa fundida ( $T_f$ ) foram registrados pelo software FITSYS Plus (Clextral, Inc., Firminy, França), após um período mínimo de variação do torque e a pressão.

A energia mecânica específica (EME) foi calculada de acordo com Fanet al. (1996) usando a equação (9).

#### Equação 9

$$EME = \frac{\text{Entrada de energia mecânica}}{\text{Taxa de fluxo mássico}} = \frac{T \times 2 \pi F' \times n}{(Q/60)}$$

Onde  $T$  é o torque gerado pelos parafusos em kJ (registrado em % no software FITSYS Plus e convertido a kJ multiplicando pelo fator 0,1076 provido pelo fabricante);  $F'$  é

a frequência de rotação dos parafusos, em  $\text{min}^{-1}$ , registrado pelo software FITSYS Plus;  $n$  é o número de parafusos; e  $Q$  é a taxa de fluxo mássico de extrudado, em  $\text{kg.h}^{-1}$ .

### 3.3.9.3 Determinação do índice de expansão

Os expandidos (Figura 18) cortados foram utilizados para as determinações de índice de expansão radial ( $IER$ ), índice de expansão longitudinal ( $IEL$ ) e o índice de expansão volumétrica ( $IEV$ ), foram determinados de acordo com a metodologia descrita por Alvarez-Martinez; Kondury e Harper (1988).



Figura 10. Homogeneizador industrial



Figura 18. Paquímetro manual

Para a determinação do  $IER$ , equação (10), foram medidos os diâmetros ao início, meio e final de cada extrudado, para depois ter a média do diâmetro ( $D$ ).

O  $IEL$  e o  $IEV$  foram calculados através das equações 11 e 12 respectivamente.

#### Equação 10

$$IER = (D/D_0)^2$$

#### Equação 11

$$IEL = (p_d/p_e)(1/IER)(1-M_d/1-M_e)$$

#### Equação 12

$$IEV = (IER) \times (IEL)$$

Onde: *IEL* e índice de expansão longitudinal;  $\rho_d$  e a densidade do produto fundido dentro do extrusor antes da saída pela matriz, considerada como 1400 kg.m<sup>-3</sup> (densidade do amido);  $\rho_e$  e a densidade do produto extrudado; *IER* e o índice de expansão radial ;  $M_d$  é a umidade da massa em base úmida do produto fundido dentro do extrusor;  $M_e$  e a umidade em base úmida do produto extrudado; *IEV* e o índice de expansão volumétrica.

Foram tomadas as medidas de 20 diferentes extrudados dentro de cada tratamento, com o auxílio de um paquímetro (Figura 18).

#### 3.3.9.4 Caracterização por imagens

A visualização da estrutura interna dos extrudados expandidos foi realizada utilizando-se um meio prático e acessível: o escâner de escritório (SMOLARZ et al., 1989). Em software apropriado (base e alto 1,5 e 1200ppp), as imagens foram salvas em JPEG.

Para a obtenção das imagens foi utilizado também o “gel de iodo” (gelatina 2%, iodo 1%, iodeto de potássio 1%). Para esse experimento a amostra foi digitalizada com resolução de 600 pixels como uma imagem digital colorida onde se observou a estrutura a qual reflete a organização interna da célula.



**Figura 19.** Scanner de escritório

#### 3.3.9.5 Determinação de textura

Uma parte dos extrudados expandidos foram cortados em pedaços de aproximadamente 3 cm de comprimento e secos em estufa Ética Indi-30 (São Paulo, Brasil) a 60°C por aproximadamente 4 horas. Após a secagem, os expandidos foram utilizados para determinação da textura.

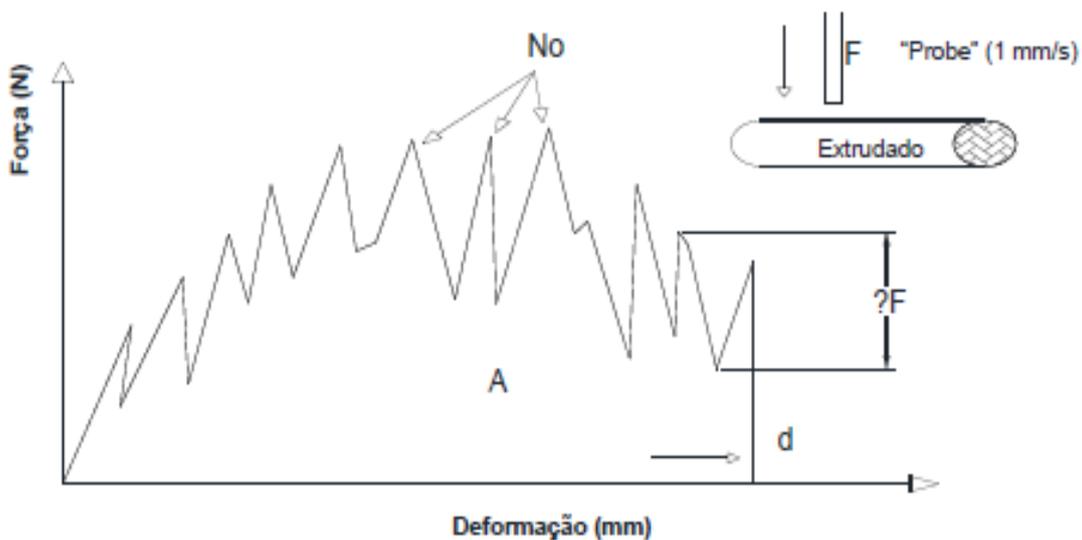
A avaliação da textura instrumental realizou-se de acordo com a metodologia descrita por Bouvier (1997). As amostras usadas na determinação do IER foram secas em forno com circulação de ar WTB Binder (Tuttlinger, Alemanha) a 60°C por 4 h até atingir uma umidade

inferior a 4%. Seguidamente as os extrudados foram resfriados em dessecador ate temperatura ambiente.



**Figura 20.**Texturômetro instrumental

As propriedades mecânicas dos extrudados foram medidas com um analisador de textura TA-XT Plus (Stable Micro Systems, Surrey, Inglaterra) equipado com uma carga de 50 kg, na qual foi acoplada uma sonda cilíndrica de aço inox de cinco cm de diâmetro.



**Figura 21.** Representação gráfica do resultado típico da força de compressão aplicada sobre um extrudado expandido (BOUVIER; BONNEVILLE e GOULLIEUX, 1997).

A probe desceu a  $5 \text{ mm.s}^{-1}$  quando atingiu uma força de contato de  $0,1 \text{ N}$  sob a amostra, a pressão se iniciou a  $1 \text{ mm.s}^{-1}$  ate o 50% do diâmetro do extrudado. Em continuação a probe ascendeu a  $10 \text{ mm.s}^{-1}$  ate uma altura de 20 mm do extrudado. O “probe” utilizado foi 2mm/diâmetro (P2). Um total de 20 repetições por ensaio. Os dados foram registados pelo

software Exponent versão 6.1.2.0 (Stable Micro Systems, Surrey, Inglaterra). Como resultado da interpretação do gráfico, avaliou-se o critério de crocância dos extrudados de acordo com as equações 13 a 16:

- Frequência de rupturas  $N_{sr}$  em  $\text{mm}^{-1}$

### Equação 13

$$N_{sr} = N_o / d$$

Onde:  $N_{sr}$  é a frequência de rupturas ( $\text{mm}^{-1}$ );  $N_o$  é o número total de pico de  $d$  é a distância de compressão do produto (mm).

- Média da força específica das rupturas  $F_{sr}$  em N:

### Equação 14

$$F_{sr} = \Sigma \Delta F / N_o$$

Onde:  $F_{sr}$  é a média da força específica das rupturas (N);  $\Delta F$  é a força de queda aplicada que foi erada por cada pico;  $N_o$  é o número total de picos.

- Média da força específica das rupturas  $F_c$  em N:

### Equação 15

$$F_c = A / d$$

Onde:  $F_c$  é a força de compressão (N);  $A$  é a área sob a curva de forças de compressão e  $d$  é a distância de compressão do produto (mm).

- Trabalho de crocância  $W_c$  em N.mm:

### Equação 16

$$W_c = A / N_{sr}$$

Onde:  $W_c$  e o trabalho de crocância (N.mm);  $N_{sr}$  e o numero de rupturas e  $A$  e a área

sob a curva de forças de compressão.

### 3.3.9.6 Determinação das propriedades visco amilográficas (RVA)

Os extrudados foram moídos em moinho de disco (Perten Instruments modelo 3600, Huddinge, Suíça) com abertura 6 e em moinho de rolos Brabender tipo QU-J (Duisburg, Alemanha) para obtenção de amostras sob a forma de pó, a qual foi utilizada nas análises em um analisador rápido de viscosidade (RVA), ISA e IAA, Raio X, cor, composição química e fibras. A moagem teve como objetivo, reduzir o tamanho de partícula e tornar o material mais uniforme.

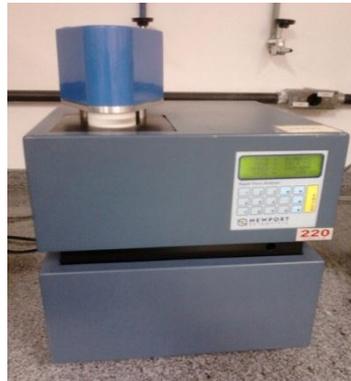
O pó obtido na moagem foi peneirado num conjunto peneiras para obter-se a fração granulométrica entre 106 e 212  $\mu\text{m}$ . Esta fração de pó foi empregada para a determinação do grau de conversão de amido por meio da análise: viscosidade de pasta (RVA)

Conforme citado anteriormente, após o processamento, os expandidos foram secos e moídos. Assim, a moagem foi realizada com o intuito de padronizar a morfologia das amostras processadas, uma vez que a análise RVA pode ser influenciada pela distribuição de tamanho das partículas e pela forma dos aglomerados (BECKER et al., 2001).

Como o tratamento de moagem conseguiu-se a conversão física dos grânulos de amido, o que resulta em mudança de propriedades similar à gelatinização, o mesmo procedimento de moagem foi adotado para todas as amostras processadas, independentemente do aspecto morfológico do produto final.



**Figura 22.**Preparação para análise de viscosidade (Água e Farinha extrudada)



**Figura 23.**Rapid Viscosity Analyser



**Figura 24.** Produto após término da análise de viscosidade

### 3.3.9.7 Determinação da viscosidade de pasta

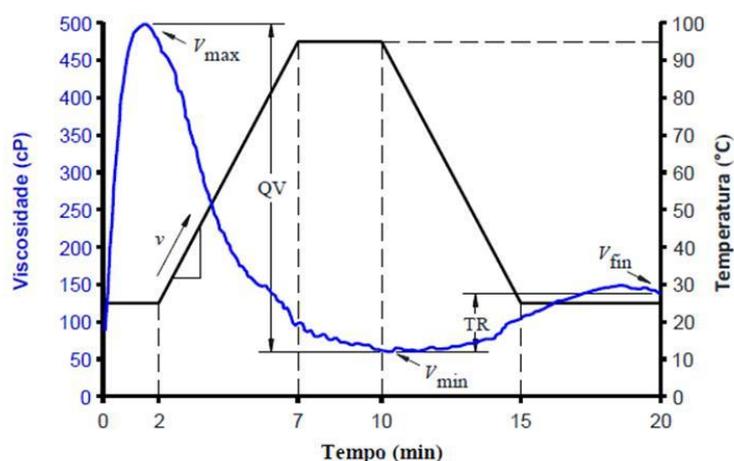
Para a determinação da viscosidade de pasta foi utilizado o Analisador Rápido de Viscosidade (Rapid Viscosity Analyser, RVA, Newport Scientific Pty. Ltd., Warriewood, Austrália, Figura 23) seguindo a metodologia para materiais extrudados. Tal análise se deu em duplicata por cada ensaio, conforme metodologia descrita por Ascheri et al. (2006).

As amostras sob a forma de pó (Figura 22) foram analisadas no RVA, o qual foi usado para medir a viscosidade de pasta aparente das amostras em função da temperatura. Para 4 g de cada amostra (umidade ajustada para 14% em base úmida) foram adicionados 25 g de água destilada. A suspensão formada pelo pó e pela água foi inicialmente cisalhada a 960 rpm durante 10 s. Para a medida propriamente dita, a suspensão foi mantida a 25°C por 4 min, para que se pudesse investigar a viscosidade do amido a baixa temperatura (WHALEN et al., 1997).

Posteriormente, a mistura foi aquecida a 95°C sob uma taxa de aquecimento constante de 14°C/min, mantida nesta temperatura por 3 minutos, resfriada a 25°C durante 5 minutos sob a mesma taxa, e mantida a 25°C por mais 4 minutos, totalizando 23 minutos de análise, a 160 rpm (Figura 37).

Para interpretação dos viscoamilogramas foram utilizados os parâmetros apresentados na figura 21:

- A) Viscosidade inicial ou viscosidade a frio ( $V_{inicial}$ ): e o valor da viscosidade em cP (Centipoise), na temperatura de 25 °C, no início do ciclo de aquecimento;
- B) Viscosidade máxima ( $V_{máxima}$ ): e 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 ( $V_{mínima}$ );
- D) Quebra de viscosidade ( $QV$ ) ou “Breakdown”: e a diferença entre a viscosidade máxima e mínima durante a manutenção a 95 °C;
- E) Viscosidade final no ciclo de resfriamento ( $V_{final}$ ): e o valor da viscosidade em cP, ao final da análise (a 25 °C);
- F) Tendência a retrogradação ( $TR$ ) ou “Setback”: e a diferença entre a viscosidade final e o menor valor de viscosidade durante a manutenção a 95 °C.



**Figura 25.** Curva de viscosidade de pasta de uma farinha extrudada, com agitação constante e perfil de temperatura de aquecimento-resfriamento.  $V_{máx}$ , viscosidade máxima;  $V_{mín}$ , viscosidade mínima;  $V_{fin}$ , viscosidade final;  $QV$ , quebra da viscosidade;  $TR$ , tendência à retrogradação. (VARGAS-SOLORZANO, J. W, 2013)

- A quebra de viscosidade ( $QV$ ) ou “Breakdown” e calculada por médio da equação 19:

### Equação 17

$$QV = V_{m\acute{a}x} - V_{m\acute{i}n}$$

- A tendência a retrogradação ( $TR$ ) ou “Setback” e calculada pela equação 18:

### Equação 18

$$TR = V_{fin} - V_{m\acute{i}n}$$

#### 3.3.9.8 Determinação do índice de solubilidade em água (ISA) e índice de absorção de água (IAA)

Os extrudados secos foram moídos como mencionado no item 3.3, a fração de farinhas peneiradas entre 106 e 212  $\mu\text{m}$  foi usada na determinação do índice de solubilidade em água e índice de absorção de água (BECKER; HILL e MITCHELL, 2001).

Realizou-se a determinação do ISA e IAA segundo o método descrito por Anderson; Conway; Pfeifer et al. (1969), Uma massa de 1g de amostra foi transferida para um tubo de centrifuga (Figura 29), adicionou-se 5 ml de água deionizada, misturou-se por 20 s sob agitador tipo vortex (Genie 2 Scientific Industries, Bohemia, NY, USA; Figura 28) e em seguida adicionou-se 5 ml de água deionizada. Depois, foi mantida a  $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$  durante 30 min sob agitação em um banho de água tipo Dubnoff NT 232 (Novatecnica, Piracicaba, SP, Brasil) (Figura 39) para permitir uma hidratação completa. Depois foi centrifugado a 9000 rpm a  $25^\circ\text{C}$  durante 15 min em uma centrifuga Universal 320R (Hettich, Tuttingen, Alemanha, Figura 27).

O sobrenadante foi cuidadosamente transferido para um prato de evaporação previamente tarado e seco em estufa com circulação de ar (WTB Brinder, Tuttlinger, Alemanha) a  $105^\circ\text{C}$  durante 14 h para a medição de sólidos solúveis totais. Logo após a retirada do líquido sobrenadante, os tubos foram pesados para calcular o peso do resíduo retido no fundo do tubo de centrifuga (ma).

As equações (19) e (20) adaptada por Hashimoto e Grossmann (2003) foram usadas para os cálculos.

### Equação 19

$$ISA = (m_s/m) \times 100\%$$

### Equação 20

$$IAA = (m_a/m) = g \text{ gel} / g \text{ matéria seca}$$



Figura 26. Banho de água



Figura 27. Centrífuga



Figura 28 agitador tipo vortex



Figura 29 Amostras separadas em quadruplicata para ISA e IAA

### 3.3.9.9 Determinação de cor

A quantificação instrumental de cor foi realizada por reflectância no parêlho colorímetro Color Quest XE, escala CIELAB e CIELCh, com abertura de 0,375 mm de diâmetro, com iluminante D65/10.

As amostras foram dispostas em cubeta de quartzo de 10 mm a color foi registrada usando uma escala CIE-L\*a\*b\* (CIE-Lab).

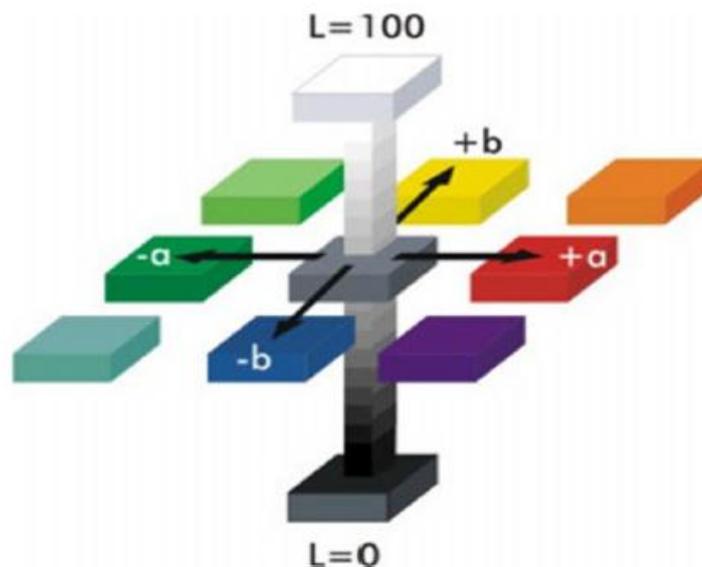
Os parâmetros de cor medidos em relação a placa branca ( $L = 90,20$ ;  $a = -2,34$ ;  $b = 1,38$ ) foram os seguintes:

$L^*$  = luminosidade (0 = preto e 100 = branco);

$a^*$  = (-80 ate zero = verde, do zero ao +100 = vermelho);

$b^*$  = (-100 ate zero = azul, do zero ao +70 = amarelo);

$C^*$  = Chroma =  $(a^{*2}+b^{*2})^{1/2}$  representa a distancia radial no plano  $a^*$  e  $b^*$  em um sistema de coordenadas polares;  $h^\circ$  = angulo hue =  $\arctan(b^*/a^*)$  representa o angulo no plano  $a^*$  e  $b^*$  em um sistema de coordenadas polares.



**Figura 30.** Representação de modelo de cor Hunterlab color solid  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  (JANIN; GONÇALEZ; ANANÍAS et al., 2001).

### 3.3.9.10 Determinação da composição química e fibra alimentar dos extrudados

Foram determinadas também a composição química e fibras dos das farinhas dos extrudados das misturas de arroz, cevada e trigo, segundo metodologia descrita pela Association of Official Analytical Chemists (AOAC), antes já mencionada, semelhante às utilizadas na avaliação das matérias primas.

As análises realizadas na matéria prima e nos extrudados das amostras de farinhas mistas, podem ser observadas no fluxograma (Figura 33).

### 3.3.9.11 Difração de Raio X das farinhas extrudadas

A determinação do perfil de difração foi realizada em um difrator de Raios X D2 Phaser (Bruker AXS, heinfeldenAlemanha)(figira 31) equipado com tubo de cobre operando a 30 kV e 10 mA, produzindo radiação  $\text{CuK}\alpha$  com 0,154 nm de comprimento de ondas. As amostras foram preparadas segundo o método do pó (Figura 32) e varridas de 2 a 32° ( $2\theta$ ) na taxa de 0,15°/min, ao passo de 0,02°, largura da janela de divergência igual a 0,6 mm, largura da janela de espalhamento igual a 0,6 mm e largura da janela do detector igual a 0,2 mm. A cristalinidade foi determinada utilizando-se o software DiffracSuite v1 1.0.10 (Bruker AXS, Rheinfelden Alemanha).

O comportamento do grau da cristalinidade das amostras foi determinado a partir da intensidade do pico (CPS) como parâmetro, conforme a tabela 2. A avaliação de cada amostra encontra-se destacada na legenda e as classificações das faixas é uma comparação entre as intensidades (CPS) dos picos das amostras e de um comportamento mediano para os amidos (material semi cristalinas) em geral mediante os parâmetros de trabalho do equipamento ( WU et al., 2010).

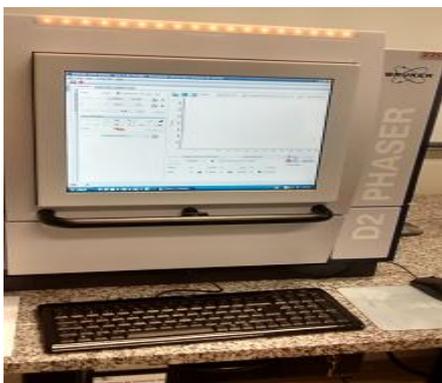


Figura 31. Difrator de Raios X D2 Phaser

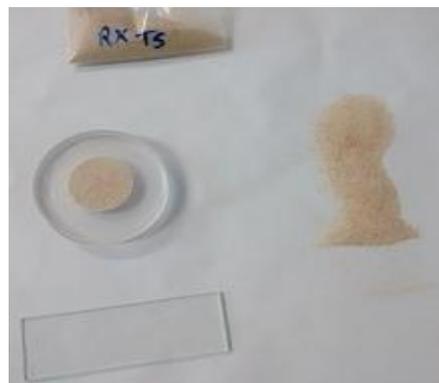
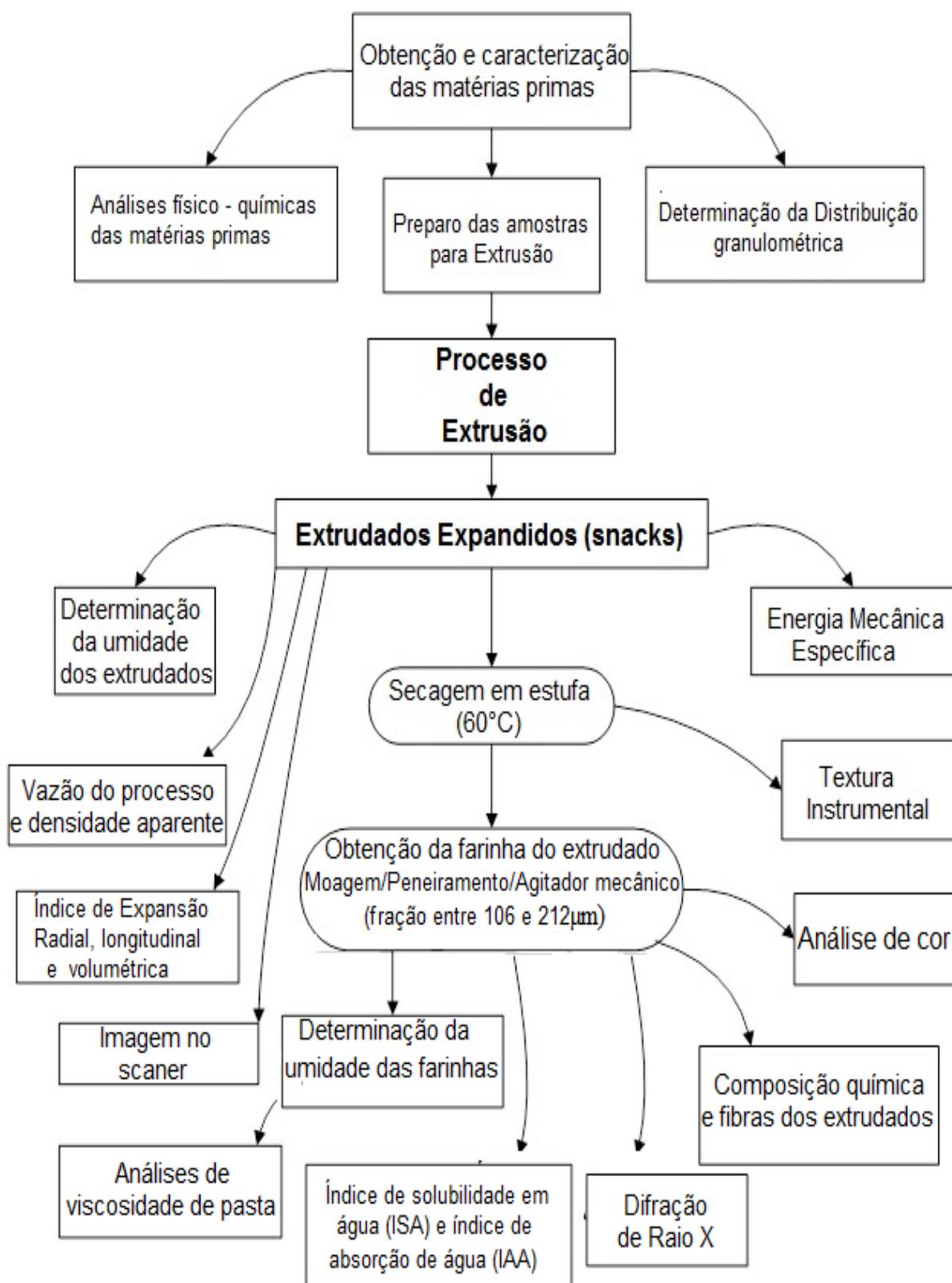


Figura 32. Preparação para método do pó

**Tabela2.** Intensidades e características das amostras.

INTENSIDADE/COUNTS	CARACTERISTICAS DA AMOSTRA
0 – 200CPS (incluindo um (1) pico) Baixa cristalinidade	Muito baixa cristalinidade
De 200CPS (com dois (2) picos ou mais) – 280 CPS (incluindo um (1) pico)	Baixa cristalinidade
De 280 CPS (com dois (2) picos ou mais) – 400 CPS (incluindo um (1) pico)	Boa cristalinidade
Acima de 400 CPS (com dois (2) picos ou mais)	Muito boa cristalinidade



**Figura 33.** Esquema das análises realizadas nas matérias primas e nos extrudados.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterização da Matéria Prima

Os resultados da composição química aproximada dos grãos de arroz cevada e trigo, usados neste trabalho são apresentados na Tabela 3. Observa-se que o grão de trigotem maior conteúdo de cinza (1,70%) e proteína (11,56%) e maior teor de umidade (14,24%), do que o grão de cevada (1,52; 9,98; 10,78%) e arroz (0,29; 5,78; 13,06%). Do ponto de vista nutricional, a proteína constitui um dos componentes mais importantes, e entre os grãos variou de 5,75 – 11,56 g.100 g<sup>-1</sup>. O teor de cinzas expresso no referido trabalho variou de 0,29 – 1,70g.100 g<sup>-1</sup>. Tester e Morrison (1994) afirmam que para a farinha de trigo, os níveis de amido danificado estão diretamente relacionados ao tempo de moagem, ou seja, sua porcentagem aumenta significativamente quanto maior o tempo de moagem, o que é uma característica de extrema importância para a fabricação de pães, pois o amido danificado torna-se extremamente acessível para a enzima  $\alpha$ -amilase.

**Tabela 3.** Composição química aproximada dos grãos de arroz cevada e trigo.

Componente (g/100 g)	Farinha crua								
	Arroz			Cevada			Trigo		
Umidade	<sup>a</sup> 13,06	± 0,00	B	10,78	± 0,01	C	14,24	± 0,04	a
Cinzas	0,29	± 0,01	C	1,52	± 0,01	B	1,70	± 0,00	a
Proteínas	5,75	± 0,08	C	9,98	± 0,12	B	11,56	± 0,08	a
Lipídeos	0,07	± 0,00	C	3,15	± 0,28	A	1,44	± 0,05	b
Carboidratos	78,14	± 0,10	A	52,52	± 0,15	C	57,14	± 0,09	b
Fibra alimentar	2,69	± 0,00		22,06	± 0,00		13,93	± 0,00	
Valor Calórico	336,19	± 0,06	A	278,29	± 1,38	c	287,70	± 0,42	b

<sup>a</sup> Média ± desvio padrão de medições em duplicata. As medias com letras diferentes, dentro da mesma fila, diferem uma da outra de acordo ao teste de Tukey (P < 0,05); <sup>b</sup> Determinado por diferença; <sup>c</sup> Dado obtido de uma replica; <sup>d</sup> Expresso em kcal/100 g.

No caso de lipídeos e fibra alimentar, o grão de cevada se destaca apresentando maior quantidade destes componentes respectivamente (3,15 %, 22,06g.100 g<sup>-1</sup>). Tal quantidade significativa de fibra, sendo utilizado em misturas, poderá ter uma contribuição importante. Estudos conduzidos por Zhang (2000) relatam que o número de espiguetas também pode exercer influência no conteúdo desta fibra solúvel.

Já o grão de arroz se destacou por apresentar a maior porção de carboidratos (78,14) e em contrapartida o menor valor de fibra alimentar (2,69g/100g). É provável, que o beneficiamento realizado no arroz, que teve por objetivo a retirada da casca, possa ter removido uma fração da fibra e lipídios (0,07), naturalmente presente no grão.

Considerando a fibra alimentar total, a quantidade de fibra alimentar encontrada no arroz branco, condiz com situações citadas por outros autores. As tabelas de composição de alimentos disponíveis no Brasil descrevem valores de 1,3% e 3,5% (PHILIPPI, 2002), de 1,7% e 3,0% (USP, 2004) e de 1,6% e 4,8% (NEPA, 2006) para arroz polido e arroz integral,

respectivamente. O arroz polido contém, sobretudo, hemicelulose e pectina, e o integral hemicelulose, pectina e celulose (MENDEZ et al., 1995).

De forma geral, o teor de lipídeos de cereais é consideravelmente reduzido. O teor de lipídeos nos grãos de cevada foi o maior (3,15%), enquanto o arroz apresentou destacadamente menor teor (0,07%).

O conteúdo de lipídios do arroz branco quando comparado com o integral, é muito baixo (menos de 1%). Entretanto, o grão integral pode conter até 3% visto que cerca de 80% dos lipídios do grão se encontram em suas camadas periféricas (TAIRA, 1995). O valor baixo de teor de lipídios encontrado neste trabalho pode ser atribuído a retirada do germe (porção da semente que contém o embrião e lipídios) durante a retirada da casca no beneficiador de laboratório.

#### 4.1.1 Classificação granulométrica da matéria-prima

A tabela 4 apresenta a granulometria das farinhas dos grãos moídos de arroz, cevada e trigo utilizados neste trabalho.

**Tabela 4.** Granulometria das farinhas de arroz, cevada e trigo

Farinha crua	(mm)	Peneira	Peneira+Amostra	RetidoPeso (g) <sup>α</sup>
Arroz	2,00	368,12	376,33	8,21
	1,70	468,20	484,71	16,51
	1,40	511,51	530,15	18,64
	1,18	458,49	468,82	10,33
	Fundo	437,90	454,47	16,57
Cevada	2,00	368,12	391,79	23,67
	1,70	468,20	497,95	29,75
	1,40	511,51	530,15	18,64
	1,18	458,49	468,82	10,33
	Fundo	437,90	454,47	16,57
Trigo	2,00	368,12	388,59	20,47
	1,70	468,20	495,09	26,89
	1,40	511,51	531,67	20,16
	1,18	458,49	469,75	11,26
	Fundo	437,90	458,74	20,84

<sup>α</sup>Dados obtidos de uma réplica.

Segundo Ascheri e colaboradores (2008) a distribuição do tamanho das partículas tem sido também apontada como um dos fatores determinantes na qualidade final dos extrudados, sejam eles expandidos diretos ou pós-expandidos, particularmente quando extrusora de parafuso único é usada. As partículas pequenas são mais rapidamente fundidas e a massa resultante, de viscosidade baixa, não é transportada apropriadamente. Ao contrário,

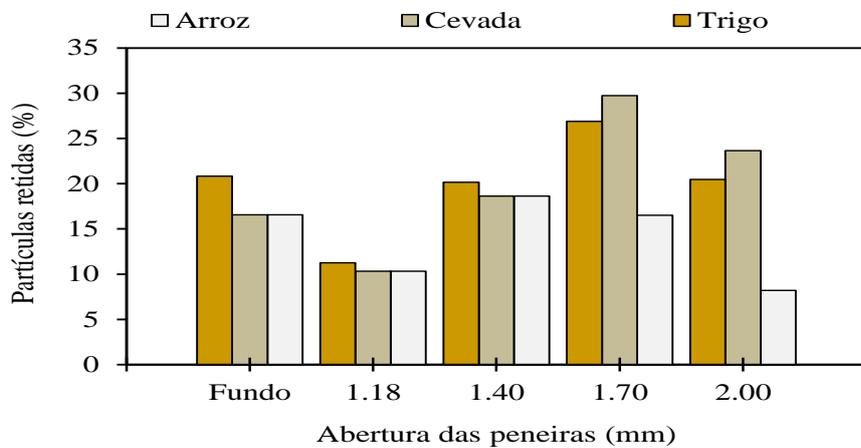
partículas de maior distribuição opornão se fundirem adequadamente provocam retenção de fluxo impedindo o processamento.

O processo de moagem é um fator determinante para a classificação da distribuição do tamanho das partículas e afeta a expansão e propriedades mecânicas dos extrudados (CARVALHO e ASCHERI, 1999). Esta distribuição do tamanho da partícula, somado com outras características como fricção da superfície, dureza, coesividade, e formato das partículas individuais assim como o fluxo e características de deformação, são características importantes no desenvolvimento e estabelecimento de sistemas de extrusão (ONWULATA e KONSTANCE, 2006).

Segundo estudos realizados sobre a distribuição granulométrica, os autores concluíram que o tamanho de partícula tem uma influencia significativa numa ampla faixa de variáveis do processo de extrusão (ONWULATA et al, 2006; CARVALHO et al, 2010; AL-RABADI et al., 2011).

A importância na uniformidade das partículas também está relacionada com a uniformidade no condicionamento das mesmas. Isso porque partículas e ingredientes diferentes possuem proporções ou taxas de absorção de água diferentes. A taxa de umidificação de cada partícula esta relacionada com os princípios da difusividade da água. Portanto, tempo, temperatura, umidade disponível, tamanho de partícula afetam este parâmetro. Uma granulometria uniforme de todos os ingredientes garante hidratação adequada e cozimento uniforme durante o processo de extrusão, impedindo partículas desequilibradas no produto final (CARVALHO et al, 2011).

A distribuição granulométrica das partículas das matérias primas de estão apresentadas na figura 34 e tabela 3. A percentagem de retenção nas peneiras maiores (1,7; 2,0 mm) foi maior para a cevada, apresentando maior granulometria, ou seja apresentou maior numero de partículas de maior tamanho. O arroz se destacou com menor granulometria. Estas diferenças provavelmente estão relacionadas com o maior conteúdo de fibras (Tabela 2) da cevada (22,06) que possui maior resistência ao fracionamento, e com base na mesma idéia é possível notar que o arroz apresentou o menor conteúdo de fibra (2,69), tendo, portanto a menor granulometria. Nas peneiras de variação entre 1,40, 1,18 e no fundo, observou-se retenção semelhante para Arroz e cevada e maior retenção para trigo.



**Figura 34.** Distribuição do tamanho de partículas de farinhas de arroz, cevada e trigo.

### 4.3.1 Composição química e fibra alimentar dos extrudados

Na tabela 5 são mostrados os resultados da composição centesimal e fibra alimentar dos tratamentos de T-1 a T-7, após da extrusão (T8 a T10 são equivalentes a T7).

**Tabela 5.** Composição química aproximada dos tratamentos (misturas de farinhas de arroz, cevada e trigo).

Farinha extrudada	Componente (g/100 g)						
	Umidade	Cinzas	Proteínas	Lipídeos	Carboidratos <sup>β</sup>	Fibra Alimentar <sup>γ</sup>	Valor Calórico <sup>δ</sup>
T1	5.84 ± 0.17 <sup>a,b</sup>	0.77 ± 0.01 <sup>d</sup>	8.02 ± 0.04 <sup>f</sup>	0.22 ± 0.11 <sup>e</sup>	77.60 ± 0.11 <sup>b</sup>	4.55 ± 0.00	344.42 ± 1.24 <sup>d</sup>
T2	4.91 ± 0.18 <sup>c,d</sup>	1.42 ± 0.03 <sup>b</sup>	9.83 ± 0.00 <sup>c</sup>	1.08 ± 0.05 <sup>b,c</sup>	78.81 ± 0.16 <sup>a</sup>	12.56 ± 0.00	364.26 ± 1.10 <sup>a</sup>
T3	4.57 ± 0.25 <sup>d</sup>	1.59 ± 0.01 <sup>a</sup>	11.16 ± 0.00 <sup>a</sup>	1.54 ± 0.10 <sup>a</sup>	73.33 ± 0.14 <sup>e</sup>	9.83 ± 0.00	351.78 ± 1.46 <sup>c</sup>
T4	5.45 ± 0.09 <sup>a,b,c</sup>	1.10 ± 0.01 <sup>c</sup>	8.83 ± 0.04 <sup>e</sup>	0.80 ± 0.11 <sup>c,d</sup>	77.35 ± 0.03 <sup>b</sup>	8.39 ± 0.00	351.90 ± 0.99 <sup>c</sup>
T5	5.97 ± 0.11 <sup>a</sup>	1.17 ± 0.00 <sup>c</sup>	9.57 ± 0.04 <sup>d</sup>	0.90 ± 0.01 <sup>c</sup>	74.50 ± 0.16 <sup>d</sup>	6.98 ± 0.00	344.36 ± 0.42 <sup>d</sup>
T6	4.74 ± 0.04 <sup>d</sup>	1.50 ± 0.04 <sup>b</sup>	10.38 ± 0.04 <sup>b</sup>	1.37 ± 0.11 <sup>a,b</sup>	76.54 ± 0.08 <sup>c</sup>	11.40 ± 0.00	359.95 ± 0.81 <sup>b</sup>
T7	5.33 ± 0.04 <sup>b,c</sup>	1.18 ± 0.01 <sup>c</sup>	9.55 ± 0.00 <sup>d</sup>	0.54 ± 0.08 <sup>d,e</sup>	77.64 ± 0.04 <sup>b</sup>	8.63 ± 0.00	353.58 ± 0.59 <sup>c</sup>

<sup>α</sup> Média ± desvio padrão de medições em duplicata. As médias com letras diferentes, dentro da mesma coluna, diferem uma da outra de acordo ao teste de Tukey (P < 0,05); <sup>β</sup> Determinado por diferença; <sup>γ</sup> Dado obtido de uma replica; <sup>δ</sup> Expresso em kcal/100 g. Porcentagem de farinhas por Tratamento (arroz%, cevada, trigo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T7 -T10: (33,3%; 33,3%; 33,3%)

Quanto ao teor de umidade das amostras extrudadas, as mesmas apresentaram umidade baixa, característica dos produtos extrudados, pois o processo, que é realizado a elevadas temperaturas, já promove a secagem da massa e o produto ao sair da extrusora fica em estufa com circulação de ar por um tempo determinado para diminuir a umidade até em torno de 5%, nesse caso o tratamento com maior teor de Umidade é o T5 (5,97).

Os tratamentos T3 e T6 apresentaram os menores valores de umidade final (4,57,04 e 4,74% respectivamente). O conteúdo de umidade final afeta a vida de prateleira e estabilidade do produto, por isso a grande importância em estar no teor adequado.

As cinzas fornecem estimativas sobre o conteúdo total mineral dos alimentos. Os maiores valores de cinzas foram encontrados para os tratamentos T2, T3 e T6 (1,42; 1,59 e 1,50g/100g, respectivamente), enquanto que T1 se destacou com o mais baixo resultado (0,77g/100g). Enquanto que T4, T5 e T7 não apresentaram diferença significativa entre si.

O tratamento T3 é o que tem a maior quantidade de farinha de trigo na mistura de todos os tratamentos analisados (T3: 15% de farinha de arroz; 15% de cevada; 70% de trigo), e o trigo é a matéria prima que apresentou maior quantidade de cinza (1,70g/100g), observou-se que o tratamento T3 teve a maior quantidade de cinzas (1,59g/100g).

A proteína teve seu destaque em T3 e T6, os quais, não mostraram estatisticamente, diferença significativa (11,16 e 10,38g/100g<sup>1</sup> respectivamente). Nota-se, pela Tabela 3, que o Trigo apresentou o maior valor de proteína dentre as matérias primas, observando assim que o tratamento T3 com maior fração de trigo se destacou em proteína.

Ainda analisando os dados da Tabela 3, a cevada apresentou o maior percentual de lipídeos (extrato etéreo), cerca de duas vezes mais que o arroz. Enquanto que para as farinhas extrudadas, o tratamento T2, T3 e T6 apresentaram os maiores resultados (1,08; 1,54 e 1,37g/100g respectivamente); nos demais tratamentos não foram verificadas diferenças significativas entre as amostras extrudadas ao nível de 5% de confiança. Alguns autores (RUIZ-RUIZ et al., 2008) evidenciaram que o conteúdo lipídico das amostras extrudadas decresceu conforme o aumento da velocidade do parafuso (>300 rpm) e da temperatura (>200°C), ao utilizarem uma extrusora comercial, diferente da experimental utilizada neste estudo, já que atinge elevados graus de temperatura e rotação. Porém, vale lembrar que no presente trabalho tais parâmetros se mantiveram constantes (200 rpm e 130 °C, respectivamente).

O valor calórico das amostras extrudadas variou de 344,36 a 364,26 kcal.

A análise do teor de fibra alimentar foi realizada em todas as matérias primas e tratamentos das farinhas extrudadas de arroz, cevada e trigo com o objetivo de caracterizar o produto pronto, verificando sua qualidade com base na legislação vigente.

O conteúdo de fibra alimentar para as amostras extrudadas das misturas foi bem elevado quando comparado a outros autores e ficou entre 4.55 e 12.56 g/100g). A Portaria N° 27, de 13 de Janeiro de 1998 da ANVISA, preconiza como alimento fonte de fibra, aqueles que têm um teor mínimo de 3g e para alimentos com elevado teor desse nutriente, um valor mínimo de 6g para alimentos sólidos. O resultado do teor de fibra dos tratamentos, os quais utilizaram farinhas de arroz, cevada e trigo, mostrou que todas as amostras utilizadas se caracterizaram como produtos com elevado teor de fibra alimentar, superando o mínimo preconizado pela legislação. Em destaque, os produtos dos tratamentos T2 e T6, com valores acima de 7,8 g/100g.

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

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

#### 4.3.2 Densidade aparente (DA)

A densidade aparente é uma medida importante no desenvolvimento de *snacks* em escala industrial (tabela 12). Por meio da verificação do peso e volume dos extrudados pode-se planejar como será o processo de produção, como por exemplo, o tamanho de embalagens, o tipo de material a ser utilizado na confecção das mesmas, o espaço ocupado pelo produto dentro de cada lote a ser encaminhado para o transporte, entre outros (SILVA, 2010).

A densidade de um produto é um atributo muito importante, pois na produção industrial de expandidos as embalagens são preenchidas por peso e não por volume. Se a densidade variar durante a produção, ou a embalagem ficará incompleta ou irá transbordar. Como qualquer dos dois acontecimentos tem graves implicações na produção, a densidade passa a ser um atributo que, medido regularmente, garante a qualidade (ASCHERI e CARVALHO, 2008).

Segundo Ascheri e Carvalho (2008), o ar ocupa 85 a 92% do peso total do produto extrudado expandido e a densidade dos extrudados variam de 0,04 a 0,38 g/cm<sup>3</sup>.

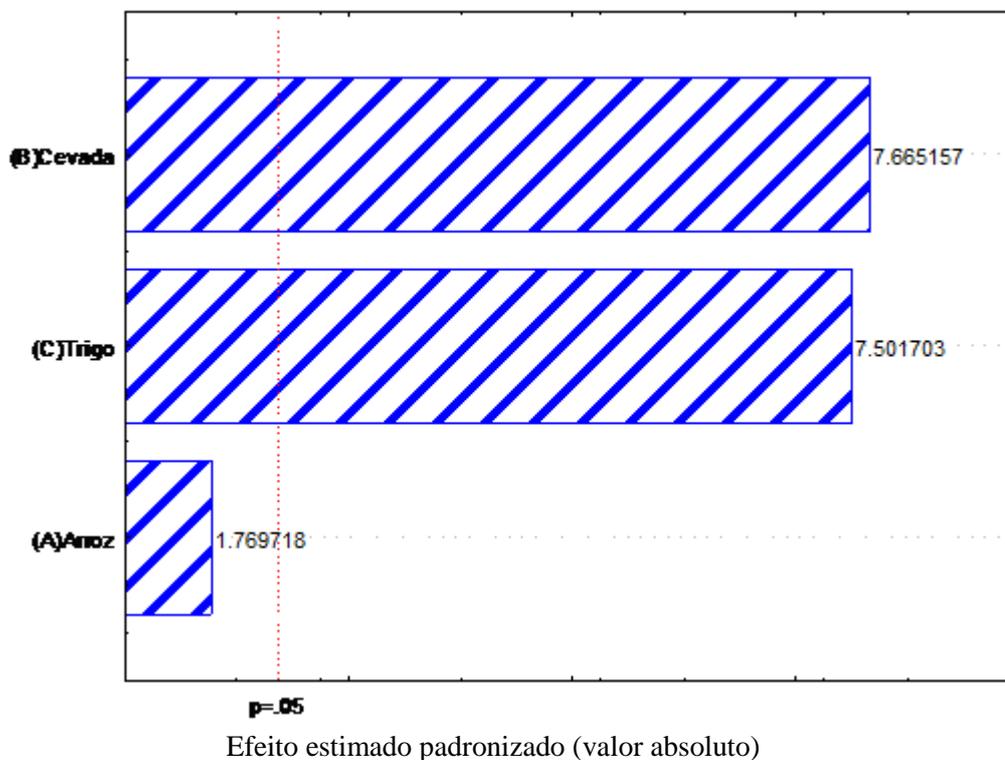
Na tabela 6 são demonstrados os valores de densidade aparente de cada tratamento

**Tabela 6.** Densidade aparente de extrudados de misturas de farinhas de arroz, cevada, trigo.

Farinha extrudada	DA kg/m <sup>3</sup>
T1	<sup>α</sup> 0.232 ± 0.022
T2	1.249 ± 0.094
T3	1.193 ± 0.063
T4	0.635 ± 0.078
T5	0.677 ± 0.097
T6	1.194 ± 0.055
T7	1.265 ± 0.078
T8	1.221 ± 0.067
T9	1.270 ± 0.100
T10	0.841 ± 0.113

<sup>α</sup>Média ± desvio padrão

Por meio da avaliação do diagrama de Pareto (figura 35) é possível observar que o modelo linear resultou em coeficientes significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ). Isto mostra, que o arroz, influenciou na resposta para densidade aparente.



**Figura 35.** Pareto - Densidade aparenta dos tratamentos das farinha nos tratamentos. Percentagem de farinhas integrais por Tratamento (arroz%, cevada%, trigo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T7-10: (33,3%; 33,3%; 33,3%).

Segundo observado no gráfico de Pareto, os tratamentos que contêm maior porcentagem de arroz como T1, não obtiveram uma significância estatística para densidade aparente, sendo que para expansão obtiveram o melhor resultado.

No diagrama Pareto (Figura 35) Valor  $p > 0,05$  para o modelo linear,  $eR^2 = 0,6 < 0,75$  portanto não é possível a construção da superfície de resposta:

#### 4.3.3 Energia mecânica específica (EME)

Porém, no presente trabalho, não houve variação de temperatura, umidade e rotação do parafuso, sendo estes parâmetros fixos neste processo. Logo, a partir da quantidade de fibras contida em cada tratamento (parâmetro variável), é possível destacar a variação das respostas de EME nos extrudados produzidos em tais condições (Tabela 7).

**Tabela 7.** Resumo dos parâmetros de Extrusão de amostras de mistura de farinha.

Ensaio	Torque (N.m)	Rotação dos parafusos (rpm)	Temperaturas (°C)			Produto fundido	Vazão (kg/h)	Energia mecânica específica (kJ/kg)
			Zona modular 1	Zona modular 2	Zona modular 3			
T1	<sup>a</sup> 40.80 ± 3.75	200 ± 0.0	58.0 ± 1.3	101.2 ± 0.9	126.9 ± 1.2	133.9 ± 0.9	9.77 ± 0.64	314.91 ± 28.94
T2	14.19 ± 1.43	200 ± 0.0	49.0 ± 0.0	100.0 ± 1.0	129.0 ± 0.0	124.9 ± 0.3	5.55 ± 0.13	192.88 ± 19.42
T3	16.32 ± 1.31	200 ± 0.0	49.7 ± 0.5	99.4 ± 0.5	129.0 ± 0.0	120.1 ± 0.3	6.97 ± 0.71	176.44 ± 14.19
T4	22.95 ± 2.12	200 ± 0.0	49.8 ± 0.4	100.4 ± 0.5	130.3 ± 0.5	123.9 ± 0.6	7.52 ± 0.44	229.98 ± 21.24
T5	24.70 ± 3.32	200 ± 0.0	50.0 ± 0.0	99.9 ± 0.2	129.6 ± 0.5	123.3 ± 0.7	8.31 ± 0.88	224.18 ± 30.10
T6	13.05 ± 1.90	200 ± 0.0	50.0 ± 0.0	99.8 ± 0.8	130.8 ± 0.4	121.0 ± 2.7	5.68 ± 0.25	173.22 ± 25.27
T7	17.49 ± 1.82	200 ± 0.0	50.6 ± 0.8	96.0 ± 0.8	129.5 ± 0.7	127.7 ± 1.8	6.68 ± 0.66	197.36 ± 20.59
T8	18.91 ± 1.42	200 ± 0.0	49.0 ± 0.0	100.7 ± 0.5	128.9 ± 0.3	122.1 ± 0.4	6.92 ± 0.53	213.43 ± 16.04
T9	20.03 ± 1.31	200 ± 0.0	49.6 ± 0.5	100.2 ± 0.4	129.0 ± 0.0	120.9 ± 0.6	7.23 ± 0.14	208.84 ± 13.65
T10	19.07 ± 1.33	200 ± 0.0	50.0 ± 0.0	99.5 ± 0.5	130.1 ± 0.3	121.6 ± 0.5	7.10 ± 0.25	202.35 ± 14.07

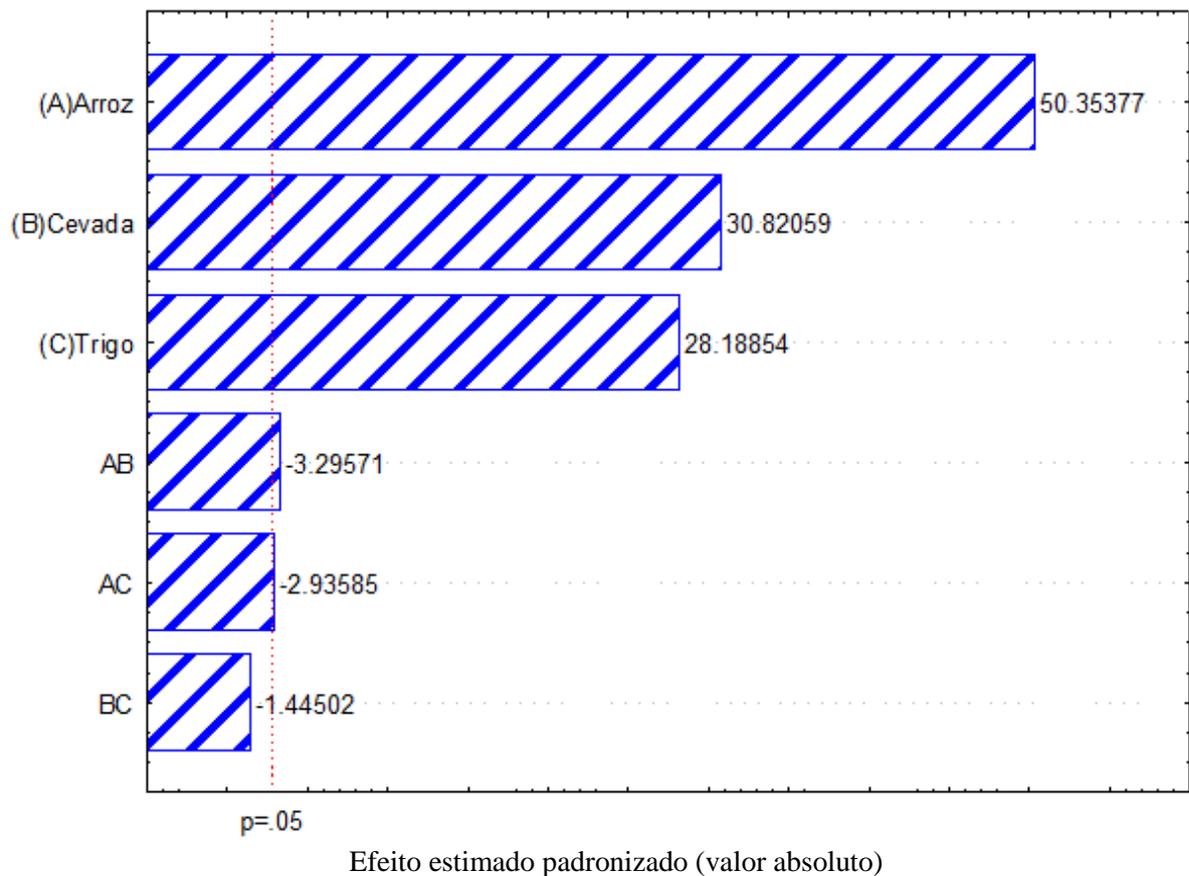
<sup>a</sup>Média ± desvio padrão de dados registrados pelo extrusor Brabender durante a coleta de amostras (3 a 4 min) . Porcentagem de farinhas por Tratamento (arroz%, cevada, trigo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T7-T10: (33,3%; 33,3%; 33,3%).

O trabalho elaborado por Menget al. (2010), o qual produziu extrudados expandidos a base de grão de bico também destacou que o aumento da velocidade do parafuso resultou em um aumento os índices de expansão dos produtos. Concordando, como Dinget al. (2005) que encontraram valores elevados de IE em extrudados a base de arroz, a medida que houve aumento da rotação do parafuso.

Então, é compreendido que o aumento da rotação do parafuso, que por sua vez está diretamente relacionado com o aumento da energia mecânica específica (EME) do sistema, está intimamente relacionado com a quebra molecular do amido (ASCHERI, ASCHERI & CARVALHO, 2006)

A proporcionalidade entre o aumento da rotação do parafuso, e o aumento do IES, pode ser explicada pela redução do peso molecular do amido que foi quebrado e fundido no processo de extrusão o que favoreceu para a manutenção das células no interior do polímero, aumentando a porosidade e a expansão da estrutura final das farinhas mistas extrudadas.

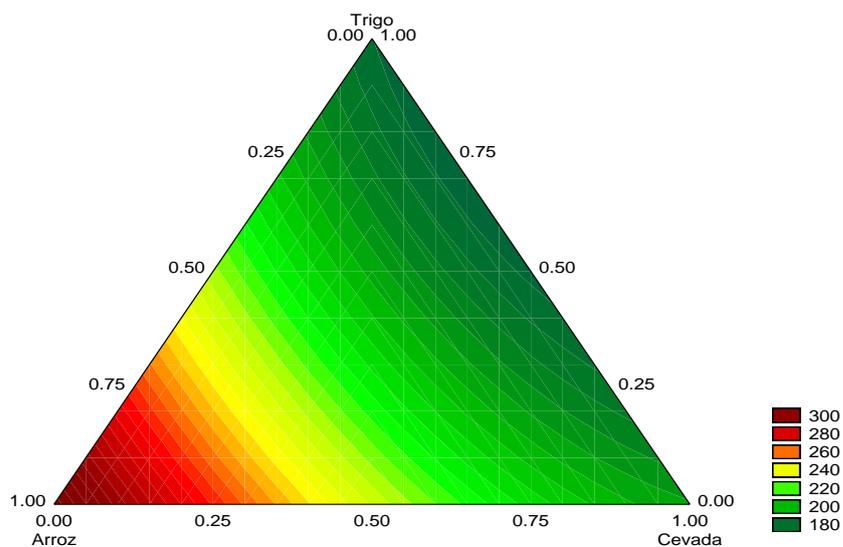
A EME variou na faixa de 173,22 a 314,91. O tratamento com maior quantidade de arroz, também respondeu com a maior EME (T1 -314,91).O Torque (N.m) variou de 13,05 a 40,80.



**Figura 36.** Pareto – Energia Mecânica Específica dos tratamentos das farinhas de arroz, cevada e trigo; e nos tratamentos. Porcentagem de farinhas (arroz%, cevada, trigo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T10: (33,3%; 33,3%; 33,3%)

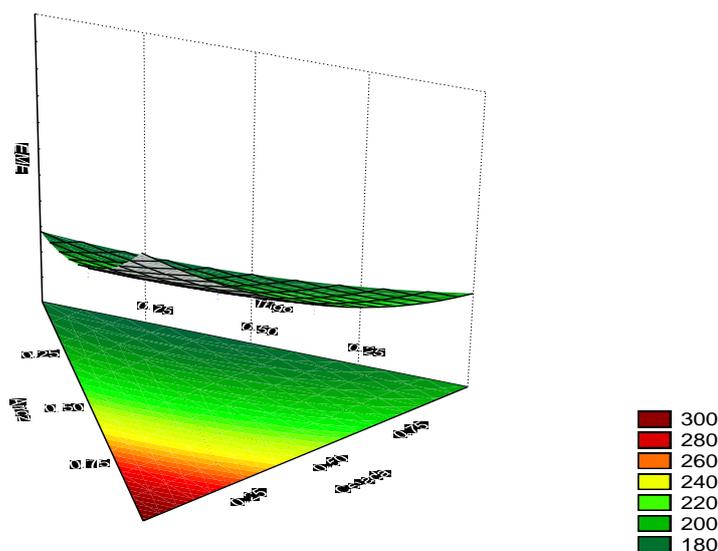
No diagrama Pareto(Figura 36) Valor  $p > 0,05$  para o modelo quadrático e linear, e  $R^2 = 0,89$  e  $0,97$  (respectivamente)  $> 0,75$  portanto é possível a construção da superfície de resposta.

### Gráfico de linhas de contorno para EME



**Figura 37.** Linhas de contorno – Energia Mecânica Específica dos tratamentos das farinhasde arroz, cevada e trigo; e nos tratamentos, . Porcentagem de farinhas (arroz%, cevada, trigo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T7-10: (33,3%; 33,3%; 33,3%).

### Gráfico de superfície de resposta para EME



**Figura 38.** Superfície de resposta – Energia Mecânica Específica dos tratamentos das farinhasde arroz, cevada e trigo; e nos tratamentos, . Porcentagem de farinhas (arroz%, cevada, trigo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T7-10: (33,3%; 33,3%; 33,3%).

Segundo a superfície de resposta o ensaio que expressou a maior EME foi o T1, sendo este o que apresentou também a maior quantidade de arroz em sua composição. Já T3 e T6 apresentaram menor EME calculada ambos com a menor porcentagem de arroz. Os maiores valores de EME podem estar associado à uma significativa presença de fibras nas misturas, pois tanto a fibra insolúvel tende a aumentar a energia mecânica no sistema por provocar aumento da resistência ao fluxo do material fundido no interior do extrusor, bem como na saída da matriz (DUARTE et al., 2009).

#### **4.3.4 Índice de expansão radial (IER) , volumétrica (IEV) e longitudinal (IEL)**

Os resultados obtidos no presente estudo, para o índice de expansão radial dos extrudados, variaram de 1,40 a 10,15 nos diferentes tratamentos (Tabela 8), sendo o maior valor encontrado no tratamento T1, elaborado com 70% de Arroz, 15% de cevada e 15% de farinha de trigo. Devido ao fato de o grão de arroz ter passado pelo processo de beneficiamento, é possível que parte de sua fibra tenha sido removido e por esta razão esta farinha (por apresentar menor fração de fibras) contribuiu para a maior expansão.

Os expandidos do tratamento T4 e T5 obtiveram o segundo melhor índice em expansão, 3,10 e 3,09; apresentando porcentagem de 42,5% de arroz, facilitou a expansão visto que, é a farinha de arroz que apresenta a maior quantidade de fibras em sua composição centesimal.

Durante o processo de extrusão, a presença de fibras e proteína diminui a capacidade de expansão dos grânulos de amido uma vez que estes componentes reagem com o amido e impossibilitam a consequente evaporação da água presente no grânulo (ANTON, FULCHER, ARNTFIELD, 2008).

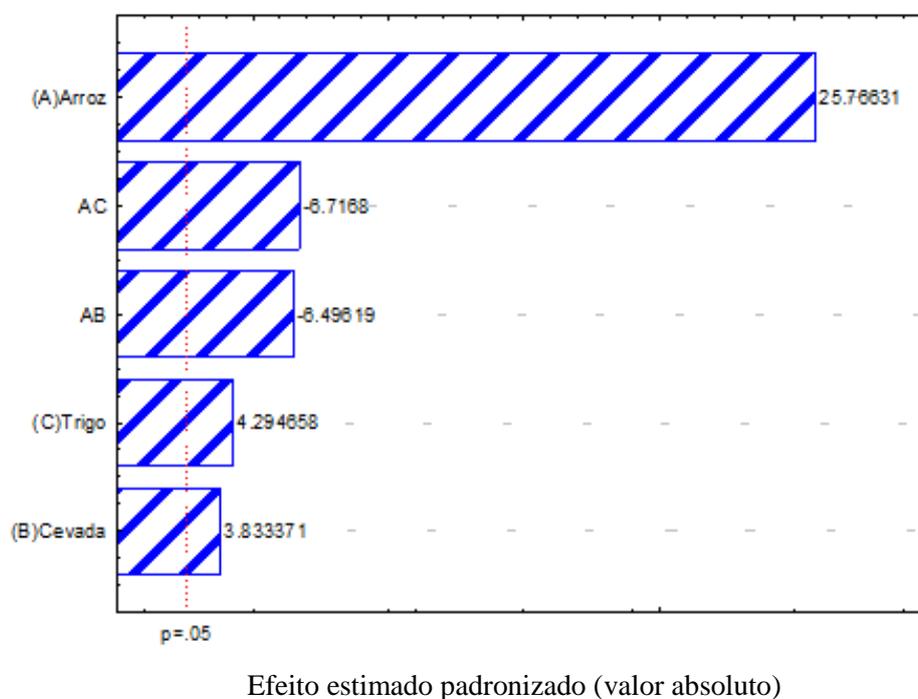
Índice de expansão é a variável resposta mais evidente de avaliação de um processamento por extrusão e, praticamente a totalidade dos artigos publicados a referenciam em sua discussão. Visto que, é fato que a simples observação visual dos extrudados que emergem da extrusora indica variações ocorridas no processo e na formulação. O índice de expansão radial (IER) expressa o quanto o produto expandiu considerando a área da matriz e a seção radial do extrudado. Valores altos de IER indicam que a expansão do material extrudado foi maior que o orifício da matriz utilizada. A alta pressão existente próxima à descarga da matriz é reduzida quando o produto sai do extrusor, ocasionando a evaporação instantânea da água e a expansão do produto (BORBA et al., 2005).

**Tabela 8.** Propriedades de expansão dos extrudados.

Farinha extrudada	IER		IEL		IEV		
T1	10.15	± 0.79	0.58	± 0.02	5.92	± 0.53	
T2	1.40	± 0.08	0.79	± 0.04	1.10	± 0.08	
T3	1.57	± 0.06	0.74	± 0.04	1.16	± 0.06	
T4	3.10	± 0.35	0.70	± 0.03	2.17	± 0.25	
T5	3.09	± 0.38	0.66	± 0.04	2.05	± 0.26	
T6	1.49	± 0.07	0.79	± 0.03	1.18	± 0.05	
T7	1.54	± 0.11	0.71	± 0.03	1.09	± 0.06	
T8	1.58	± 0.07	0.72	± 0.04	1.13	± 0.06	
T9	1.60	± 0.08	0.68	± 0.03	1.09	± 0.08	
T10	2.58	± 0.34	0.65	± 0.02	1.67	± 0.23	

IER: Índice de expansão radial; IEL: Índice de expansão longitudinal; IEV: Índice de expansão volumétrica; <sup>a</sup>Média ± desvio padrão de 20 medições.

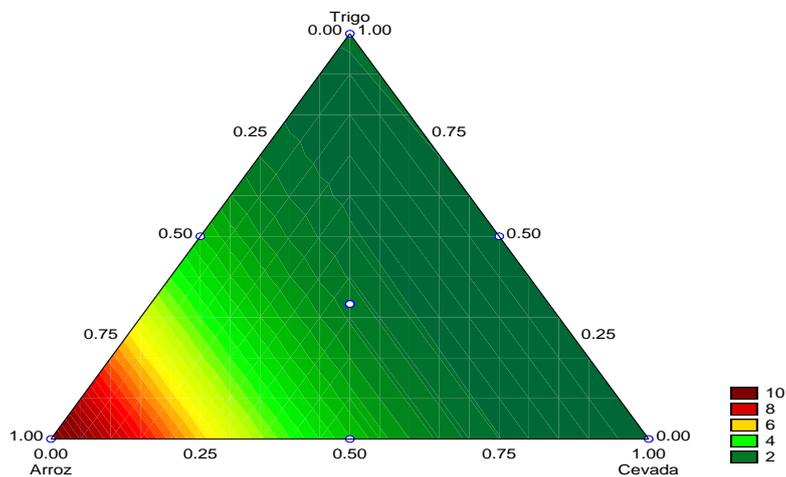
Ao analisar os resultados de IER do tratamento T2, é possível verificar que, sendo este, os tratamentos que apresentam maior quantidade de fibras, ensejaram por isso as menores respostas quanto ao IER, contrapondo que com um aumento no conteúdo de fibra alimentar, os autores apontaram que ocorreu uma redução no teor de amido, interferindo na expansão do produto. A presença de fibras proporciona o rompimento das paredes das células e previne que as bolhas de gás expandam até o seu potencial máximo. Outros autores também observaram o mesmo comportamento (HASHIMOTO e GROSSMANN, 2003).



**Figura39.** Pareto – Índice de Expansão radial dos tratamentos das farinhas integrais de arroz, cevada e trigo; e nos tratamentos. Porcentagem de farinhas (arroz%, cevada%, trigo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T10: (33,3%; 33,3%; 33,3%).

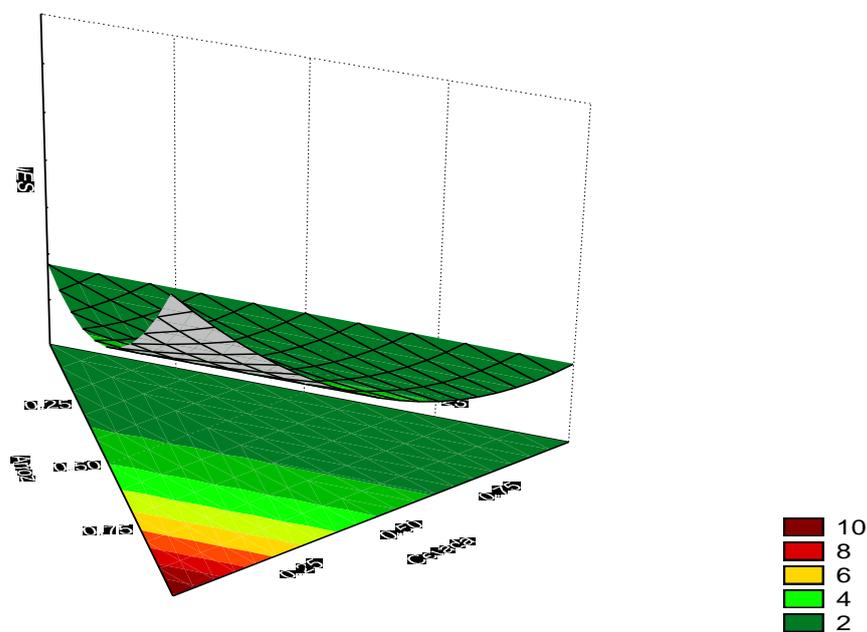
No diagrama Pareto para IER (Figura 39) Valor  $p > 0,05$  para os modelos linear e quadrático, e  $R^2 = 0,97$ (quadrático)  $> 0,75$ , portanto sendo possível a visualização da superfície de resposta que segue:

Gráfico de linhas de contorno para IER



**Figura 40.**Linhas de contorno - índice de Expansão radial (IER) dos extrudados em função dos fatores:Porcentagem de farinhas (arroz%, cevada%, trigo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T10: (33,3%; 33,3%; 33,3%).

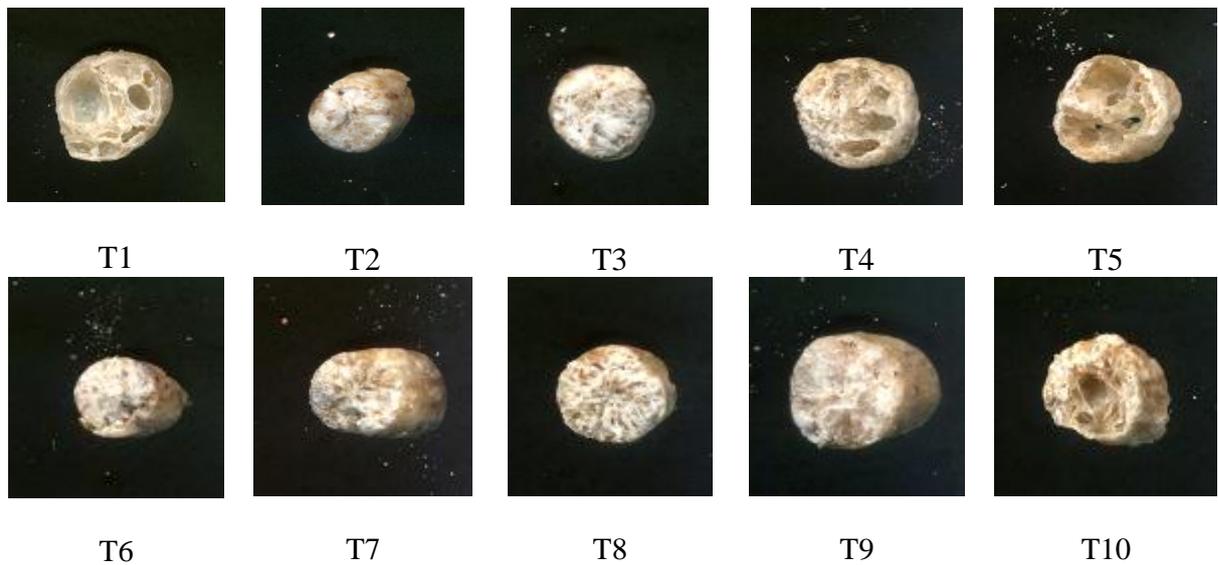
Gráfico de superfície de resposta para IER



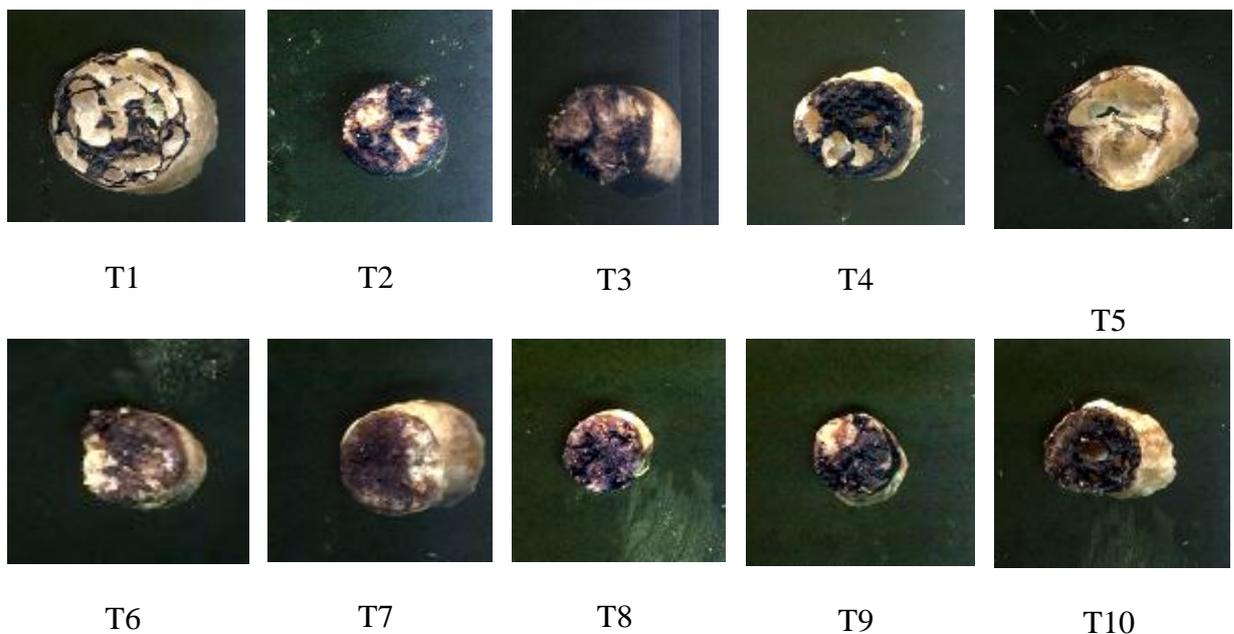
**Figura 41.**Superfície de resposta- índice de Expansão radial (IER) dos extrudados em função dos fatores:Porcentagem de farinhas (arroz%, cevada%, trigo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T10: (33,3%; 33,3%; 33,3%).

### 4.3.5 Extrudado por imagem

Nas figuras 42 e 43 são apresentados os produtos expandidos correspondentes aos diferentes tratamentos realizados neste estudo. Nas fotografias dos expandidos das diferentes misturas, podem ser observados os graus de expansão adquiridos e estabelecer critérios apenas visuais.



**Figura 42.** Imagens de expandidos feitas em *scanner* de escritório, sem gel de iodo. Porcentagem de farinhas por tratamento (arroz%, cevada%, trigo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T7-10: (33,3%; 33,3%; 33,3%).



**Figura 43.** Imagens de expandidos feitas em *scanner* de escritório, com gel de iodo. Porcentagem de farinhas por tratamento (arroz%, cevada%, trigo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T7-10: (33,3%; 33,3%; 33,3%).

A visualização da estrutura interna dos extrudados expandidos foi realizada utilizando-se um meio prático e acessível um escâner de escritório, com e sem gel de iodo (2% de gelatina, 1% de iodo, 1% de iodeto de potássio).

Através das imagens, pode-se observar que os extrudado que se destacou em expansãofoio tratamentos T1, tratamento com maior fração de arroz.Os demais tratamentos não obtivera, uma expansão satisfatória. Os tratamentos do ponto central T7, T8, T9 e T10, com proporção de 33,3% para as farinhas de arroz, cevada e trigo, apresentaram tamanho proporcional.

Pode ser visto também, que as bolhas de ar formadas nos extrudados foram grandes, características de extrudados com alto teor de fibras, o que impede a formação de pequenas bolhas, sendo visualizado também tratamentos sem presença de bolhas demonstrando assim uma baixa expansão.

#### **4.3.6 Textura instrumental**

A textura instrumental ou grau de crocância, como sendo um análise de qualidade do produto, deve ser vista com bastante atenção, pois é um fator de grande importância na comercialização de extrudados e é influenciada pelas condições do processo de extrusão e da embalagem.

Segundo Bouvieret al. (1997), a propriedade estrutural dos expandidos depende principalmente da distribuição, do tamanho e da organização das células de ar no seu interior. As estruturas da célula de ar associada à característica de sua parede determinam as propriedades físicas, tais como, as propriedades mecânicas e acústicas, tanto quanto o perfil sensorial dos extrudados.

Essas propriedades podem ser medidas de maneira objetiva, por meio de métodos instrumentais. Bouvier (1997) destacou quatro critérios a serem observados quando da análise da crocância dos extrudados, em um analisador instrumental de textura: Força de Compressão (FC) em N, Força Específica das Rupturas (Fsr) em N, Frequência das Rupturas (Nsr) em  $\text{mm}^{-1}$ , e Trabalho de Crocância (Wc) em N.mm.

A FC descreve a área total ocupada pela curva registrada decorrente da perfuração do extrudado pelo probe sobre a distância percorrida. Essa força deverá ser baixa, pois extrudados duros são os que a força capaz de atravessá-los é alta.

Já a Fsr mostra a energia gasta para a quebra de cada “bolhinha” de ar do *snack*.

Quanto a Nsr, quanto maior, melhor, pois a Nsr mostra indiretamente a quantidade de células contidas em certa parte do expandido. Ela descreve o número de picos pela distância percorrida pelo probe. Para uma boa crocância são necessárias numerosas células com FC baixa.

O WC reúne informações sobre a relação entre a FC e a Nsr.

A fim de se fazer a avaliação de textura entre os extrudados obtidos a partir farinhas de multicereais integrais, produzidos na extrusora de laboratório (Brabender), gerou-se os resultados que estão incluídos na Tabela 9.

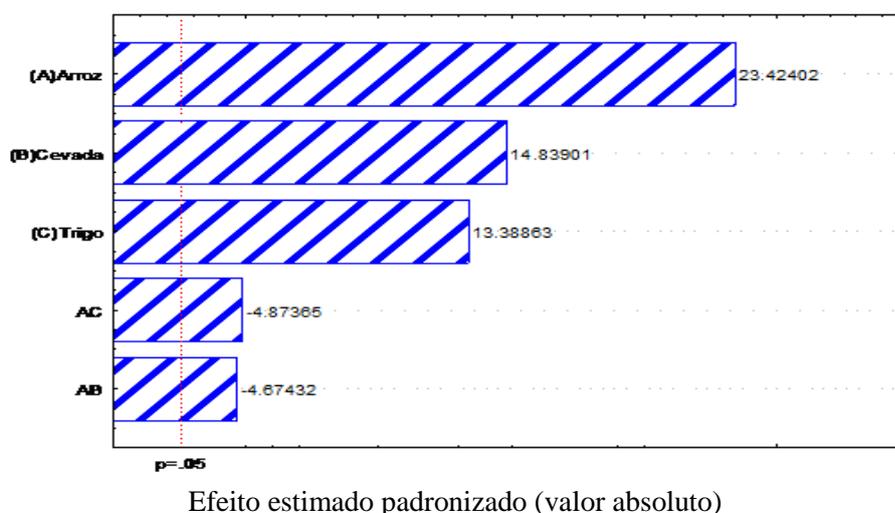
**Tabela 9.** Textura dos extrudados de mistura de farinhas de grãos (arroz, cevada e trigo).

Farinha Extrudada	N <sub>sr</sub> mm <sup>-1</sup>	F <sub>c</sub> N	F <sub>sr</sub> N	W <sub>c</sub> N × mm
T1	10.90 ± 2.00	3.78 ± 1.14	0.03 ± 0.02	0.36 ± 0.15
T2	6.27 ± 2.35	10.26 ± 5.04	0.86 ± 0.99	1.73 ± 0.79
T3	5.66 ± 1.97	7.92 ± 1.63	0.63 ± 0.44	1.52 ± 0.53
T4	5.75 ± 2.41	9.09 ± 5.14	0.77 ± 0.74	1.76 ± 0.98
T5	5.35 ± 2.13	8.01 ± 3.31	0.86 ± 0.65	1.65 ± 0.93
T6	5.71 ± 1.30	9.82 ± 5.80	0.55 ± 0.23	1.67 ± 0.85
T7	5.37 ± 2.14	9.02 ± 3.59	0.97 ± 0.79	1.84 ± 0.79
T8	5.50 ± 2.07	8.99 ± 3.89	0.83 ± 0.56	1.72 ± 0.67
T9	6.03 ± 2.11	10.39 ± 4.34	0.72 ± 0.53	1.82 ± 0.77
T10	5.98 ± 2.25	10.03 ± 4.52	0.65 ± 0.42	1.74 ± 0.60

Nsr: frequência de rupturas estruturais; Fsr: Força específica das rupturas estruturais; Fc: Força de compressão; Wc: Trabalho de crocância; <sup>a</sup>Média ± desvio padrão de 20 medições. . Porcentagem de farinhas por tratamento (arroz%, cevada%, trigo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T7-T10: (33,3%; 33,3%; 33,3%).

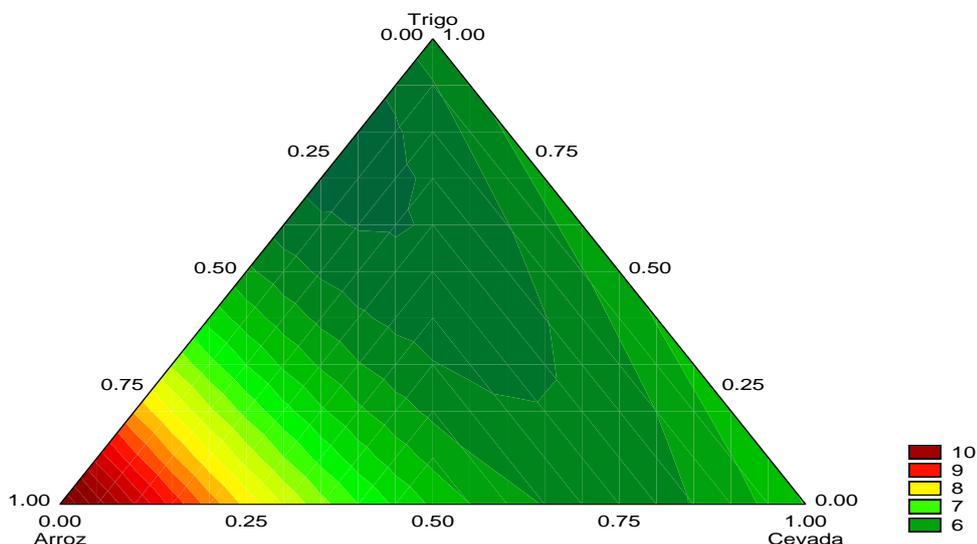
O tratamento T1 é o que teve o maior valor de Nsr (10,90), eo tratamento que teve a maior expansão, ), o mais alto valor de Nsr foi obtido, podendo inferir que tal tratamento T1 (arroz 70%; cevada 15%; trigo 15%) apresentam-se crocantes, uma vez que Nsr está relacionado com o número de células ou bolhas de ar perfuradas durante o teste de textura instrumental. A Nsr revela indiretamente o número de células internas por milímetros dos extrudados.

Como pode ser observado na tabela 9, o aumento do teor de fibras no tratamento (T5), levou a redução dos valores de Nsr (T1: 5,35). Gráfico de Pareto para Nsr.



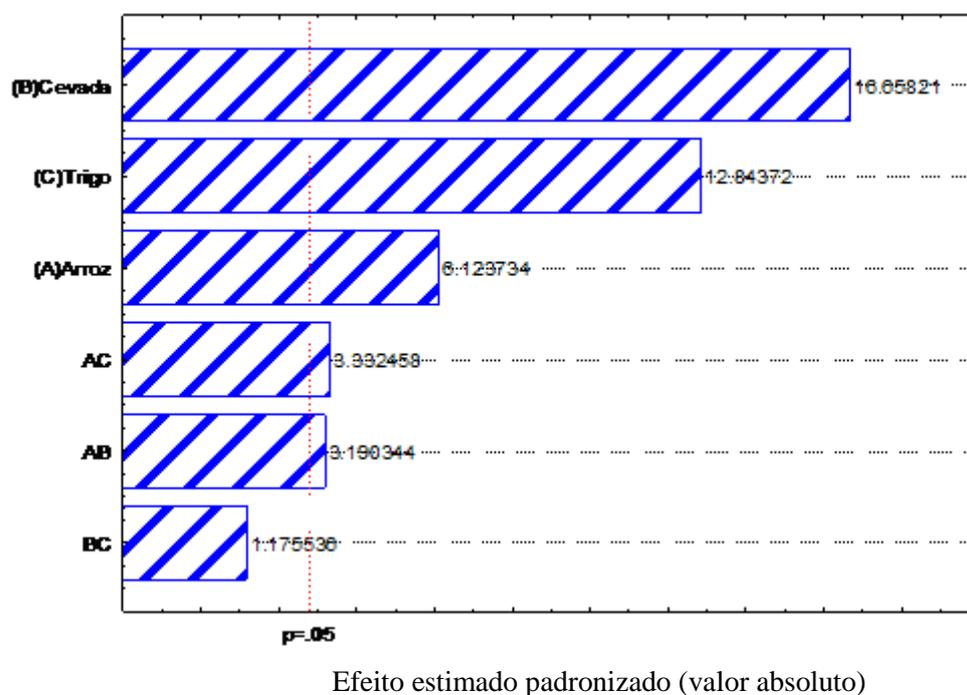
**Figura 44.** Efeito sobre Textura (N<sub>sr</sub>) dos extrudados em função dos fatores: Variação de porcentagem de farinhas por Tratamento (arroz%, cevada%, sorgo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T7-T10: (33,3%; 33,3%; 33,3%).

No diagrama Pareto(Figura 44) Valor  $p > 0,05$  para o modelo quadrático, e  $R^2 = 0,90 > 0,75$  portanto é possível a construção da superfície de resposta.



**Figura 45.**Linhas de contorno – Efeito sobre Textura (*Nsr*) dos extrudados em função dos fatores Variação de porcentagem de farinhas por Tratamento (arroz%, cevada%, trigo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T7-T10: (33,3%; 33,3%; 33,3%).

Gráfico de Pareto para *Fc*.



**Figura 46.**Pareto - Efeito sobre Textura (*Fc*) dos extrudados em função dos fatores: Variação de porcentagem de farinhas integrais por Tratamento (milho%, arroz, sorgo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T10: (33,3%; 33,3%; 33,3%).

No diagrama Pareto(Figura 46) Valor  $p > 0,05$  para o modelo quadrático, e  $R^2 = 0,89 > 0,75$  portanto é possível a construção da superfície de resposta.

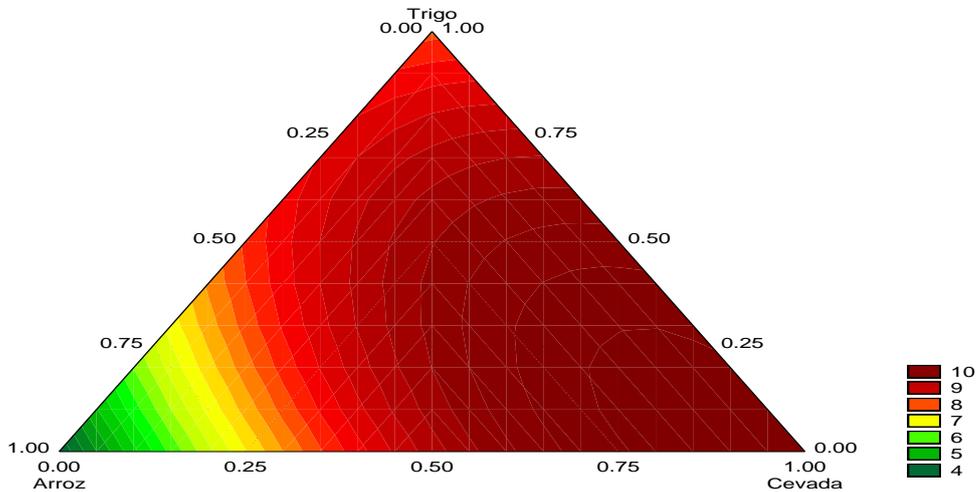
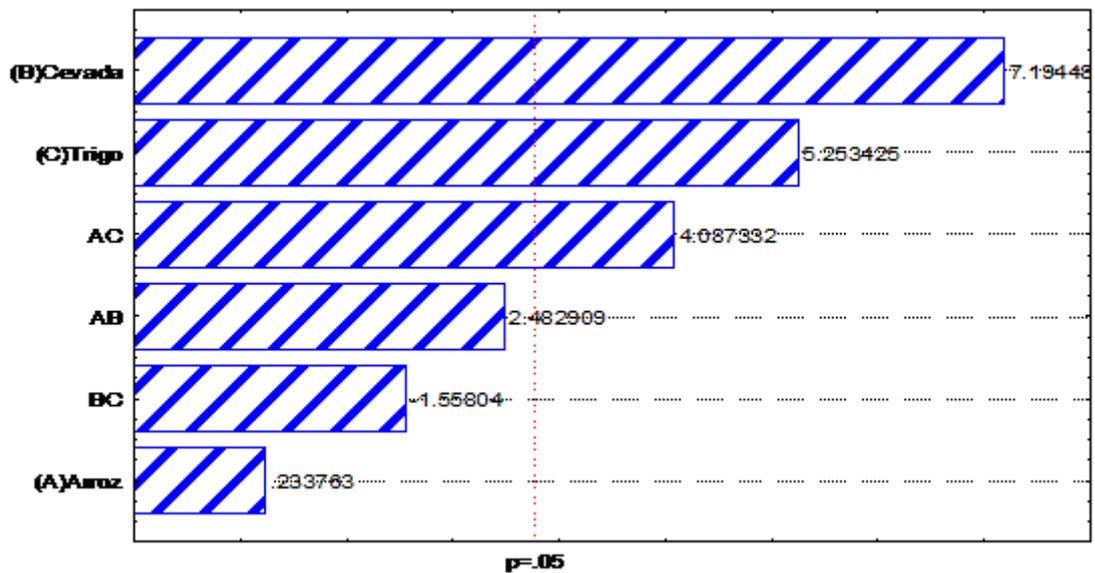


Figura 47. Linhas de contorno – Efeito sobre Textura ( $F_c$ ) dos extrudados em função dos fatores Variação de porcentagem de farinhas por Tratamento (arroz%, cevada%, trigo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T7-T10: (33,3%; 33,3%; 33,3%).

Gráfico de Pareto para  $F_{sr}$ .

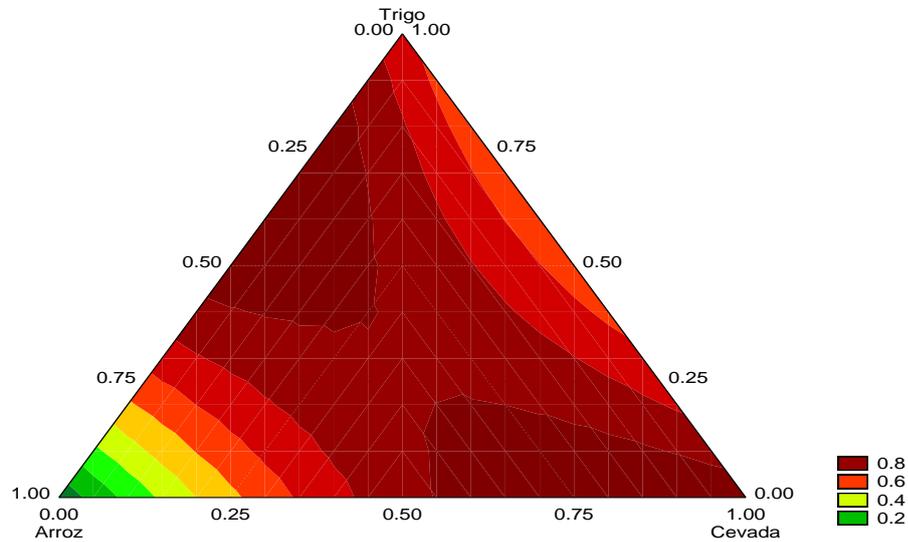


Efeito estimado padronizado (valor absoluto)

Figura 48. Pareto. Efeito sobre Textura sobre Textura ( $F_{sr}$ ) dos extrudados em função dos fatores Variação de porcentagem de farinhas por Tratamento (arroz%, cevada%, trigo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T7-T10: (33,3%; 33,3%; 33,3%).

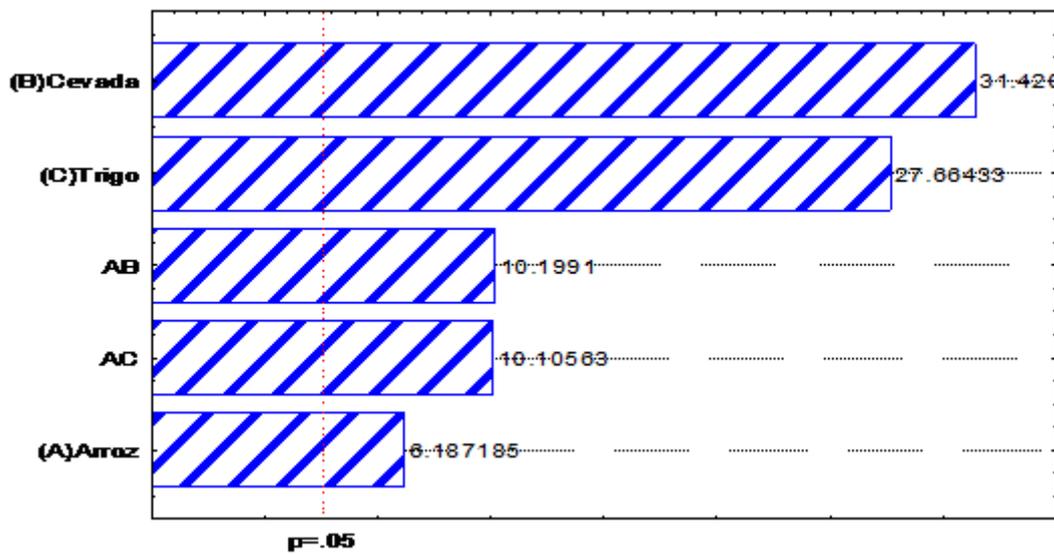
No diagrama Pareto (Figura 48) Valor  $p > 0,05$  para o modelo quadrático, e  $R^2 = 0,79 > 0,75$  portanto é possível a construção da superfície de resposta.

### Gráfico de linhas de contorno para F<sub>sr</sub>



**Figura 49.** Linhas de contorno – Efeito sobre Textura ( $F_{sr}$ ) dos extrudados em função dos fatores Variação de porcentagem de farinhas por Tratamento (arroz%, cevada%, trigo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T7-T10: (33,3%; 33,3%; 33,3)

### Gráfico de Pareto para Wc

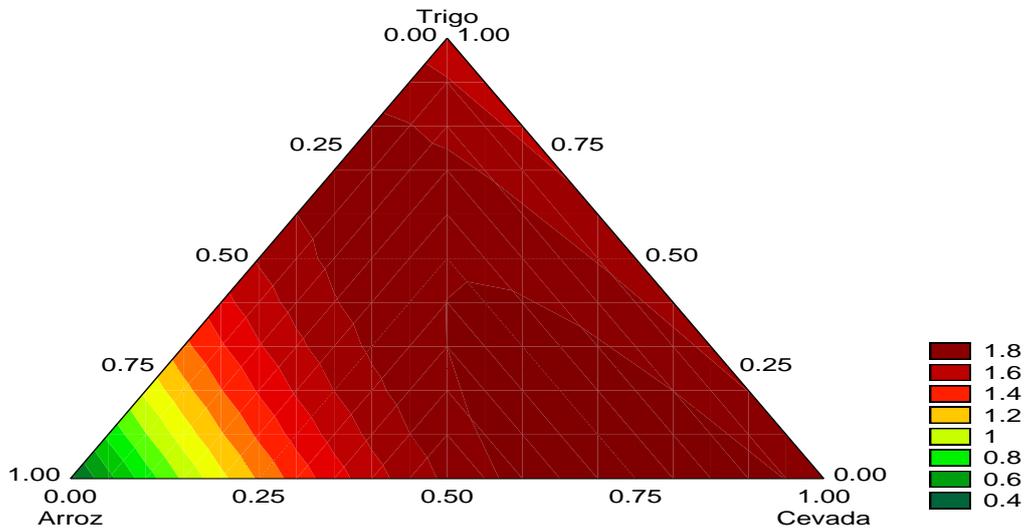


Efeito estimado padronizado (valor absoluto)

**Figura 50.** Pareto – Efeito sobre Textura ( $W_c$ ) dos extrudados em função dos fatores Variação de porcentagem de farinhas por Tratamento (arroz%, cevada%, trigo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T7-T10: (33,3%; 33,3%; 33,3).

No diagrama Pareto (Figura 50) Valor  $p > 0,05$  para o modelo quadrático, e  $R^2 = 0,97 > 0,75$  portanto é possível a construção da superfície de resposta

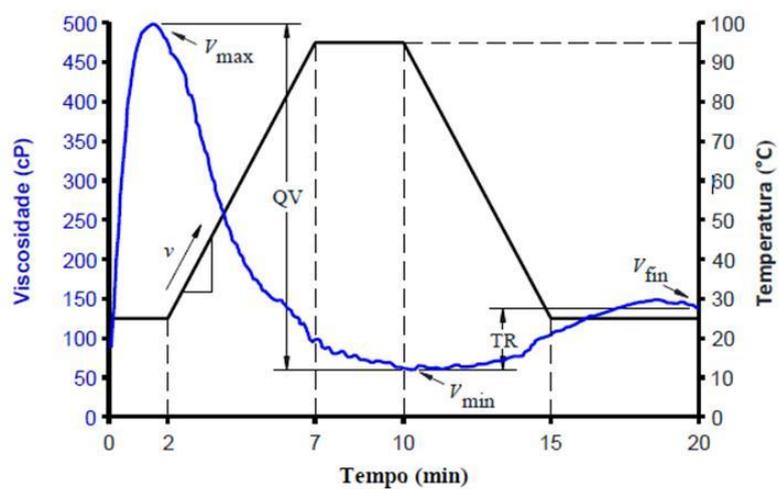
### Gráfico de linhas de contorno para Wc



**Figura 51.** Linhas de contorno – Efeito sobre Textura ( $W_c$ ) dos extrudados em função dos fatores Variação de porcentagem de farinhas por Tratamento ( arroz%, cevada%, trigo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T7-T10: (33,3%; 33,3%; 33,3).

### 4.3.7 Viscosidade de pasta (RVA)

A curva de viscosidade expressa o comportamento do amido durante o aquecimento e permite caracterizar a pasta formada, devido às modificações estruturais das moléculas, e de outros componentes, além da tendência a retrogradação durante o resfriamento.



**Figura 52.** Curva de viscosidade de pasta de uma farinha extrudada, com agitação constante e perfil de temperatura de aquecimento-resfriamento.  $V_{max}$ , viscosidade máxima;  $V_{min}$ , viscosidade mínima;  $V_{fin}$ , viscosidade final;  $QV$ , quebra da viscosidade;  $TR$ , tendência à retrogradação (Vargas Solórzano, 2013).

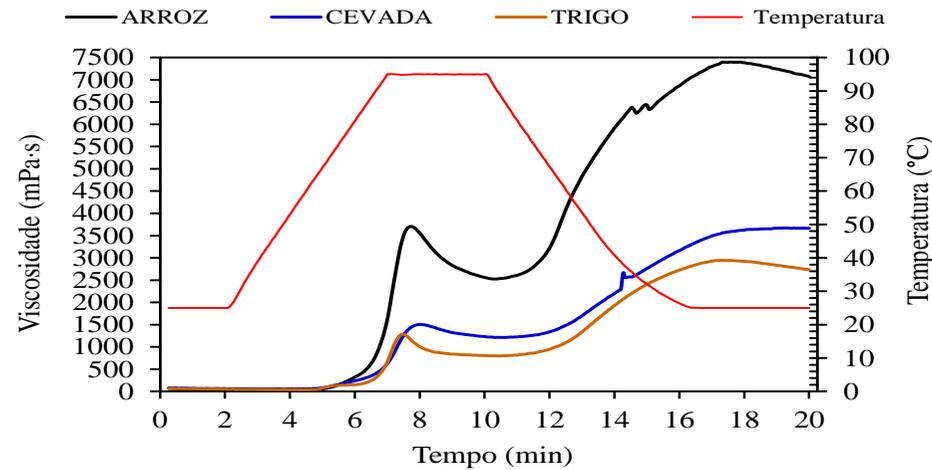
É possível se obter o grau de cozimento de um material processado por extrusão, através do uso do analisador rápido de viscosidade (RVA) (AL-RABADI; TORLEY; WILLIAMS et al., 2011), onde, a viscosidade pode ser monitorada ao frio, a temperaturas intermediárias até chegar a 95°C em ciclo de temperatura constante de aproximadamente 5 min. Após tal aquecimento, segue uma etapa de resfriamento. Assim, produtos avaliados sejam crus ou processados, expressão comportamentos diferenciados possibilitando interpretações variadas (SILVA, 2009).

A Figura 53 mostra o perfil de viscosidade de pasta da farinha de grão de arroz, de arroz, cevada e trigo (moído e peneirado na faixa de granulometria retida entre as peneiras 106 e 212  $\mu\text{m}$ , com umidade de pré-extrusão de 14%, e velocidade de rotação do parafuso 200 rpm processado na extrusora Brabender, com os demais parâmetros de extrusão fixados conforme item 3.3.8.

**Tabela 10.**Resumo dos parâmetros de RVA para amostras cruas das farinhas de arroz, cevada e trigo

Farinha	VP (mPa.s)	TP (min)	T <sub>i</sub> P (°C)	VM (mPa.s)	QV (mPa.s)	VF (mPa.s)	TR (mPa.s)
Arroz	3705.5 ± 190.2	7.7	78.8	2526.5 ± 122.3	1179.0	7074.0 ± 207.9	4547.5
Cevada	1504.0 ± 11.3	8.0	68.8	1212.0 ± 4.2	292.0	3667.5 ± 201.5	2455.5
Trigo	1288.5 ± 10.6	7.5	83.5	798.5 ± 2.1	490.0	2734.0 ± 22.6	1935.5

VP: Viscosidade de pasta; tP: Tempo de pasta (para atingir VP); T<sub>i</sub>P: Temperatura de início de formação de pasta (que corresponde quando se inicia o aumento da viscosidade); VM: Viscosidade mínima na etapa de resfriamento; QV: Quebra da viscosidade = VP – VM; VF: Viscosidade final; TR: Tendência à retrogradação = VF – VM;  
<sup>a</sup>Média ± desvio padrão de medições em duplicata.



**Figura 53.** Perfis das curvas de viscosidade de pasta de farinha de grão de arroz, cevada e trigo. Variação de porcentagem de farinhas por Tratamento (arroz%, cevada%, trigo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T7-T10: (33,3%; 33,3%; 33,3%).

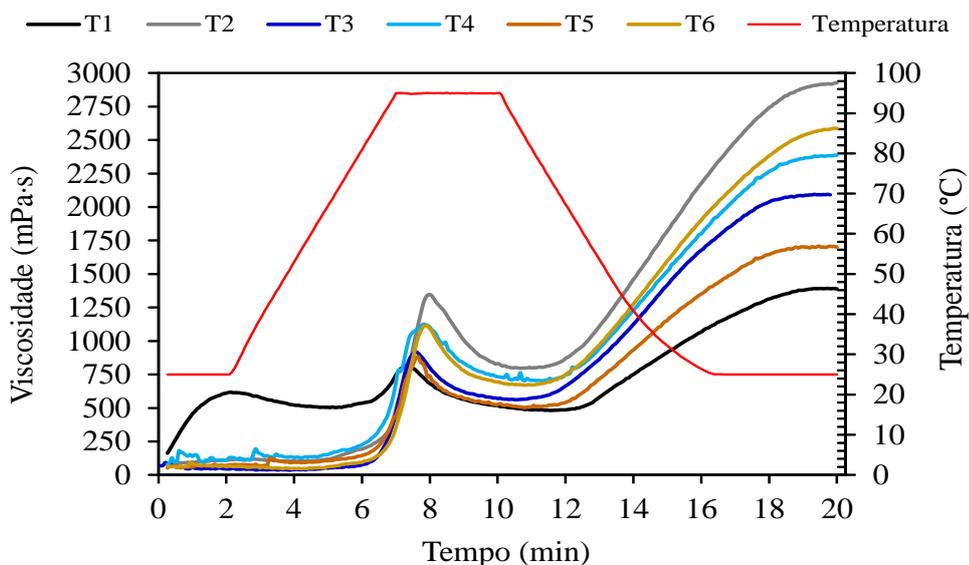
É possível inferir que, os resultados experimentais da viscosidade inicial a 25 °C ou inicial foi mais significativo na farinha de arroz, e a menor na farinha de trigo. A viscosidade mínima na etapa de resfriamento igualmente teve maior expressão na farinha de arroz, seguida da de cevada e trigo. Já a viscosidade final e a tendência a retrogradação, teve maior valor vistona farinha de arroz.

**Tabela 11.** Resumo dos parâmetros de RVA para amostras extrudadas (média e DP ).

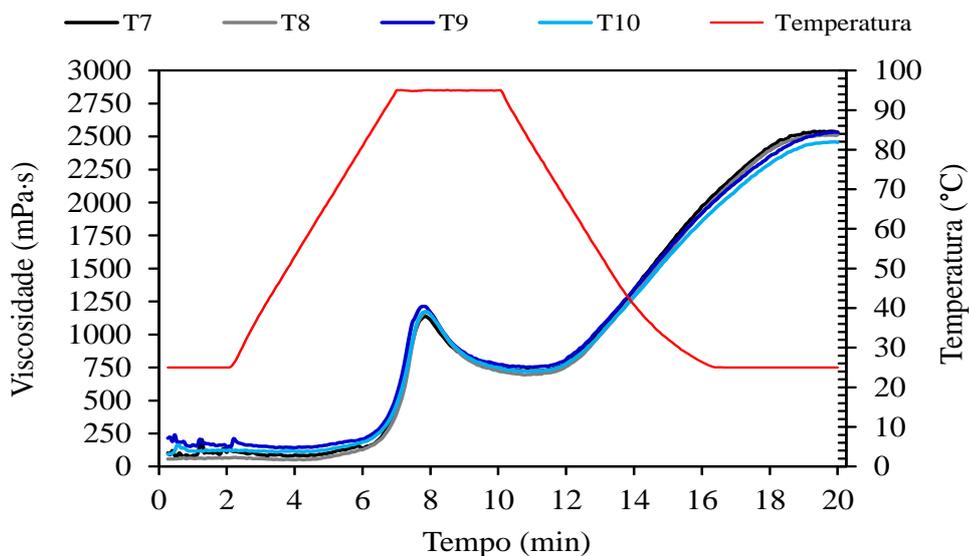
Farinha	VP (mPa.s)		tP (min)	T <sub>i</sub> P (°C)	VM (mPa.s)		QV (mPa.s)	VF (mPa.s)		TR (mPa.s)
T1	815.5	± 16.3	7.3	25.0	481.5	± 12.0	334.0	1389.0	± 5.7	907.5
T2	1346.5	± 44.5	8.0	80.4	796.5	± 10.6	550.0	2926.5	± 16.3	2130.0
T3	918.5	± 27.6	7.8	82.8	561.5	± 16.3	357.0	2090.5	± 30.4	1529.0
T4	1125.0	± 60.8	7.8	81.6	703.5	± 21.9	421.5	2387.0	± 8.5	1683.5
T5	879.0	± 285.7	7.7	80.3	503.5	± 102.5	375.5	1700.5	± 372.6	1197.0
T6	1114.5	± 2.1	7.9	81.8	670.0	± 7.1	444.5	2587.0	± 8.5	1917.0
T7	1137.0	± 49.5	7.9	81.6	724.0	± 33.9	413.0	2531.5	± 67.2	1807.5
T8	1167.0	± 26.9	7.9	78.6	694.0	± 9.9	473.0	2511.5	± 13.4	1817.5
T9	1213.0	± 0.0	7.8	80.5	752.5	± 2.1	460.5	2532.0	± 4.2	1779.5
T10	1173.5	± 2.1	7.9	79.1	720.0	± 0.0	453.5	2455.0	± 25.5	1735.0

VP: Viscosidade de pasta; tP: Tempo de pasta (para atingir VP); T<sub>i</sub>P: Temperatura de início de formação de pasta (que corresponde quando se inicia o aumento da viscosidade); VM: Viscosidade mínima na etapa de resfriamento; QV: Quebra da viscosidade = VP – VM; VF: Viscosidade final; TR: Tendência à retrogradação = VF – VM; <sup>a</sup>Média ± desvio padrão de medições em duplicata. Variação de porcentagem de farinhas por Tratamento (arroz%, cevada%, trigo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T7-T10: (33,3%; 33,3%; 33,3).

As farinhas extrudadas foram avaliadas e suas performances podem ser visualizadas nas Figuras 54 e 55. Os resultados experimentais referente aos parâmetros de Viscosidade de pasta (VP); Tempo de pasta para atingir VP (tP); Temperatura de pasta inicial, que corresponde quando se inicia o aumento da viscosidade (TPi); Viscosidade mínima na etapa de resfriamento (VM); (QV) referente à quebra da viscosidade = VP – VM; Viscosidade final (VF); (TR), que expressa a Tendência à retrogradação = VF – VM; dos tratamentos estão expostos na Tabelas 20.



**Figura 54.** Perfis das curvas de viscosidade de pasta dos extrudados de misturas de farinhas de arroz, cevada e trigo, dos tratamentos de T1 a T6. Variação de porcentagem de farinhas por Tratamento ( arroz%, cevada%, trigo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T7-T10: (33,3%; 33,3%; 33,3).



**Figura 55.** Perfis das curvas de viscosidade de pasta dos extrudados de misturas de farinhas de arroz, cevada e trigo, dos tratamentos de T7 a T10: (33,3%; 33,3%; 33,3).

Os resultados experimentais referentes aos parâmetros de Viscosidade de pasta (VP) revelaram que o tratamento T2 mostrou maior valor (1346.5mPa.s), no entanto T1 expressou menor valor para o mesmo (815.5), o que expressa melhor característica para produtos expandidos como biscoito.

Quanto ao tempo de pasta para atingir a viscosidade inicial (tP), T1 e T5 atingiram aviscosidade em menos tempo, (7.3 e 7.7 respectivamente).

Nota-se, nas curvas, que os tratamentos descrevem trajetórias semelhantes (Figura 53 e 54), mas no T1, pode-se observar que houve variação na resposta, provavelmente devido o fato de ser o tratamento que contém maior quantidade de arroz. O tratamentos contendo maior fração de fibra (T2), obteve a viscosidades mais altas durante o início do teste a temperatura de 25°C. A maior quebra de viscosidade foi vista no T8 com 473.0mPa.se a menor no T1 com um valor de 334.0. Isto pode ter ocorrido devido os tratamentos que contem fibras possuem baixos níveis de viscosidade segundo a percentagem de fibras formulação. Provavelmente devido ao alto teor de fibra na mistura, ocorre quebra nas possíveis ligações e pontes de hidrogênio existentes (NASCIMENTO; CARVALHO; TAKEITI et al., 2012).

#### **4.3.8 Índice de solubilidade em água (ISA) e índice de absorção de água (IAA)**

As propriedades de hidratação desempenham um papel importante nas interações proteína-água e carboidrato-água. O índice de absorção de água (IAA) é utilizado para medir o grau de modificação do amido, desnaturação de proteínas e formação de complexos macromoleculares (DOGAN e KARWE, 2003).

Já o índice de solubilidade em água (ISA) representa a quantidade de polissacarídeos solúveis libertados das estruturas granulares em excesso de água (AL-RABADI et al., 2011).

Como parâmetro, o Índice de Solubilidade (ISA) reflete o grau de degradação do grânulo de amido, ou seja, a somatória dos efeitos de gelatinização, dextrinização e conseqüente solubilização, quando do processo de extrusão. O aumento da solubilidade verificado em produtos extrudados é atribuído à dispersão das moléculas de amilose e amilopectina como conseqüência da gelatinização, quando as condições são mais brandas, e da formação de compostos de baixo peso molecular, quando as condições são mais drásticas (COLONNA et al., 1984; SILVA, 2009). É sabido que também, que a solubilidade em água do amido está relacionada com o processo de expansão dos extrudados, e segue as mesmas variações com as condições de extrusão. E ainda, segundo Chang & El-Dash (2003), dependendo da matéria-prima, o ISA aumenta com a severidade do tratamento e com o decréscimo da umidade.

De acordo com Alvin et al., (2002), o IAA está relacionado à capacidade de absorção e retenção de água pelos constituintes da matéria-prima. Durante o processo de extrusão, os grânulos de amido se gelatinizam e as proteínas são desnaturadas.

O amido gelatinizado absorve mais água do que em seu estado natural e as proteínas, devido a mudanças estruturais, têm o seu balanço hidrofílico/hidrofóbico alterado, podendo contribuir para o aumento ou a diminuição do IAA (MAIA et al., 1999).

O Índice de Solubilidade em água e o Índice de Absorção em água são parâmetros importantes e caracterizar de forma funcional das farinhas extrudadas. De acordo com Grossmann (1986) o IAA e o ISA variam de acordo com o grau de gelatinização e dextrinização sofridos pelo amido durante o processo por extrusão. O IAA aumenta com o aumento da gelatinização, uma vez que ao gelatinizar aumenta o número de hidroxilas livres que formarão ligações de hidrogênio com a água. Enquanto que o aumento do ISA acontece quando há maior dextrinização, ou seja, quanto maior a degradação das moléculas de amido em moléculas menores (dextrinas), que são mais solúveis em água.

Na gelatinização, a absorção de moléculas de água se inicia por fixação delas nas zonas polares dos polímeros, até completar o seu inchamento. As propriedades de inchamento envolvem certas etapas como, um aumento das ligações de hidrogênio entre moléculas de água e grupos hidroxila dos polímeros. No amido, esta propriedade se dá através da estrutura molecular da amilopectina, com a amilose atuando como um diluente (SRICHUWONG et al., 2005). A fibra tem um menor potencial de inchamento devido à sua maior insolubilidade (BeMILLER e HUBER, 2008).

Durante o processo de extrusão, as moléculas de proteínas são modificadas tanto pelo efeito do calor quanto pelo cisalhamento mecânico. O calor provoca desnaturação e agregação de proteínas, enquanto o cisalhamento mecânico causa dissociação/despolimerização (FANG et al., 2013).

Tais alterações, podem diminuir a superfície da molécula de proteína e a disponibilidade de grupos polares para fixar água. Em proteínas de estrutura muito compacta ocorre dissociação e clivagem de moléculas, sendo possível que ligações peptídicas e cadeias laterais polares anteriormente inativas, atingem a superfície proteica, melhorando as propriedades de hidratação (CHEFTEL et al., 1989).

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

Os resultados do IAA e ISA são apresentados na tabela 12.

As amostras cruas de arroz, cevada e trigo apresentaram índice de absorção de água variando de 2,07 a 2,78, e a farinha mista extrudadas apresentaram maiores índices de absorção de água que variaram entre 3,41 a 5,36. As farinhas cruas mostraram valores mais baixos do que os encontrados para os produtos extrudados (tabela 12).

**Tabela 12.**Resumo dos resultados de IAA e ISA das amostras curas e extrudadas.

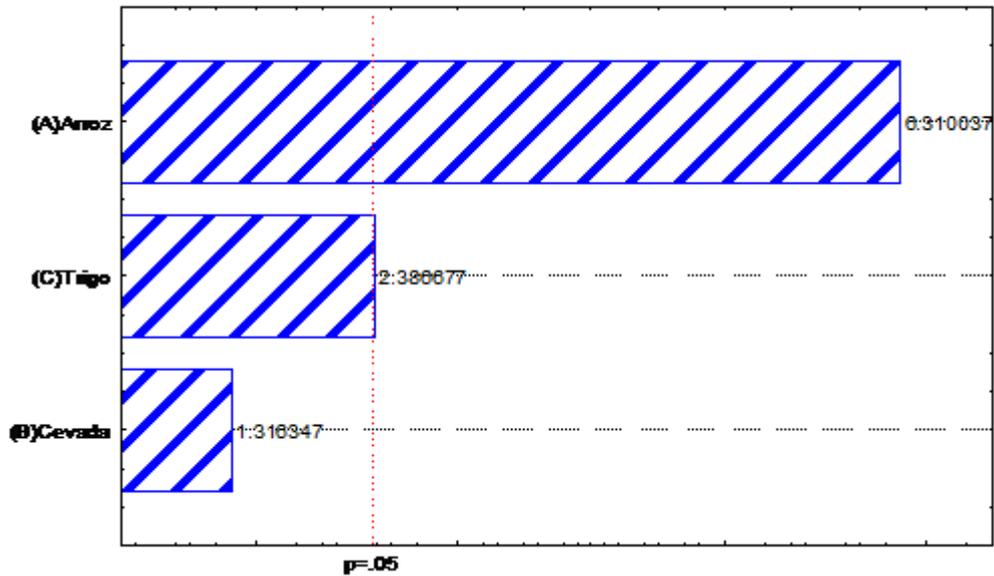
Farinha Crua	ISA (%)		IAA (g/g)	
Arroz	1.45	± 0.14	2.34	± 0.11
Cevada	7.59	± 0.23	2.78	± 0.14
Trigo	7.78	± 0.19	2.07	± 2.07
Farinha Extrudada	ISA (%)		IAA (g/g)	
T1	<sup>a</sup> 9.15	± 0.71	<sup>a</sup> 5.36	± 0.45
T2	2.49	± 0.24	4.02	± 0.20
T3	4.16	± 0.04	3.41	± 0.06
T4	7.18	± 0.63	4.10	± 0.04
T5	7.75	± 0.07	4.05	± 0.08
T6	2.86	± 0.06	3.78	± 0.01
T7	6.94	± 0.03	3.73	± 0.06
T8	2.48	± 0.14	3.74	± 0.10
T9	2.91	± 0.23	3.67	± 0.06
T10	2.79	± 0.19	3.82	± 0.09

<sup>a</sup>média ± desvio padrão, DP do teste de Tukey.de medições em triplicata das amostras cruas e extrudadas. Porcentagem de farinhaspor Tratamento (arroz%, cevada, trigo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T7-T10: (33,3%; 33,3%; 33,3%).

Nas matérias primas, os valores de Índice de solubilidade variaram de 1,45 e 7,78%, onde o arrozfoi o que apresentou o menor índice (1,45). O maior valor de Índice de solubilidade foi encontrado para a amostra do tratamento T1 (9,15), elaborado na temperatura de 130°C, 200 rpm e 14% de umidade. Este tratamento que gerou produto com maior solubilidade, de acordo com os autores, Chang & El-Dash (2003), foi o de maior expansão.

O tratamento T2 obteve o um baixo ISA, sendo a mistura (15%; 70%; 15%), podendo haver alguma relação com o quantidade de fibra que foi a maior de todos os tratamentos, e um aumento no IAA concordando com o reportado por Stojceska; Ainsworth; Plunkett et al. (2009). Para as farinhas que apresentaram menores valores de IAA e maiores valores de ISA, indicam que o amido sofreu conversão extensiva (SRIBURI; HILL e BARCLAY, 1999).

Gráfico de Pareto para ISA

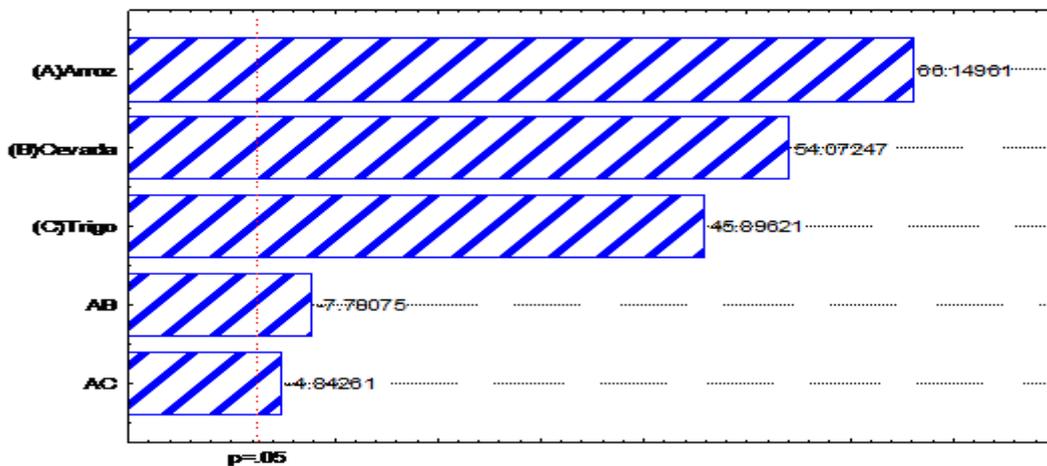


Efeito estimado padronizado (valor absoluto)

**Figura 56.** Pareto – Efeito sobre ISA em função dos fatores Variação de porcentagem de farinhas por Tratamento ( arroz%, cevada%, trigo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T7-T10: (33,3%; 33,3%; 33,3).

No diagrama Pareto dado que  $R^2 = 0.498464$ ( Figura 56) na Tabela do ANOVA, não se gera curvas de contorno e superfície de resposta.

Gráfico de Pareto para IAA

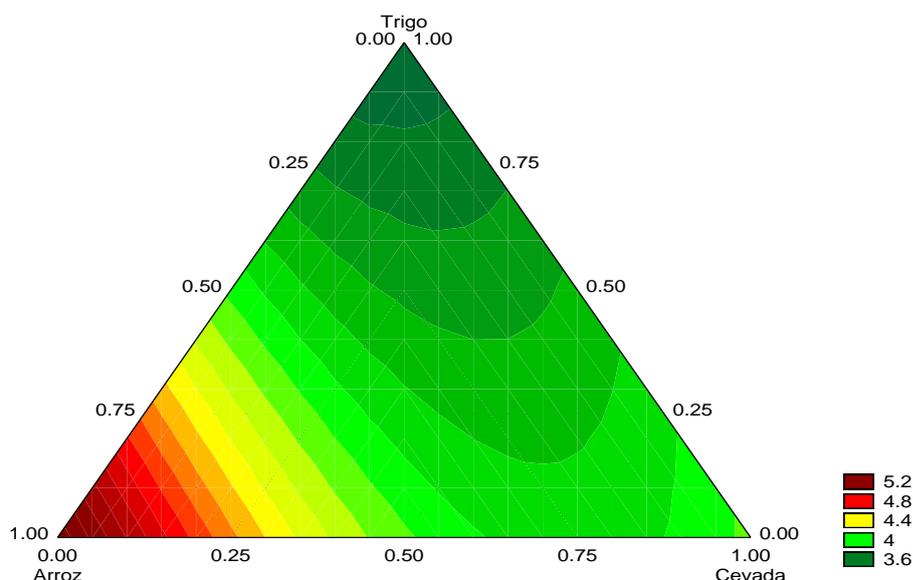


Efeito estimado padronizado (valor absoluto)

**Figura 57.** Pareto – Efeito sobre IAA em função dos fatores Variação de porcentagem de farinhas por Tratamento ( arroz%, cevada%, trigo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T7-T10: (33,3%; 33,3%; 33,3).

No diagrama Pareto(Figura 57) Valor  $p > 0,05$  para o modelo quadrático, e  $R^2 = 0,97 > 0,75$  portanto é possível a construção da superfície de resposta

#### Gráfico de linhas de contorno para IAA



**Figura 58.** Linhas de contorno– Efeito sobre IAA em função dos fatores Variação de porcentagem de farinhas por Tratamento ( arroz%, cevada%, trigo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T7-T10: (33,3%; 33,3%; 33,3).

#### 4.3.9 Análise de Cor

A análise de cor é importante do ponto de vista sensorial e de verificação da qualidade das farinhas pós-extrusão e, conjuntamente, para caracterizar a influencia do processo de extrusão termoplástica sobre a matéria extrudada. A cor é um dos fatores determinantes no ato da escolha de um produto, e esta diretamente ligada na aceitabilidade do consumidor. Além disso, sua avaliação é usada para quantificar as alterações que os tratamentos ensejaram nos alimentos (JIN; HSIEH e HUFF, 1994; NASCIMENTO; CARVALHO; TAKEITI et al., 2012).

Através da impressão visual que podemos constatar a cor, e sua interpretação verbal torna-se muito subjetiva. Pessoas diferentes ao analisar uma única cor, podem basear-se em referências diferentes e a sua expressão através das palavras se torna complicada e inexata. Como meio de medição objetivo da cor, é utilizada a radiação visível (400 – 700nm) que é a mais diretamente relacionada com a percepção humana. Em pesquisa, é comum o emprego de colorímetros que permitem avaliar a cor de forma simples e reprodutível, e os aparelhos mais usados são os de triestímulos (HERNÁNDEZ et al., 1996).

Objetivando a eliminação da subjetividade na percepção da cor, estudos utilizam o CIE Lab (Commission Internationale de l'Éclairage) que foi estabelecido na década de 70. Este, se refere a um sistema de coordenadas numéricas para localizar individualmente as cores através de um “sólido de cores”, baseado em uma representação geométrica tridimensional. Três elementos caracterizam este sólido: (1) a cor ou tono, que são as cores que se percebem e se expressam na linguagem diária (se localiza por fora e ao redor do centro das coordenadas deste sólido); (2) claridade, que é a luminosidade das cores (eixo vertical onde os valores aumentam para cima e diminuem para baixo) e (3) a saturação ou croma, que é a intensidade ou pureza da cor (eixo horizontal onde as cores próximas ao centro do sólido são mais apagadas). Quando uma cor é determinada por este sistema, a luminosidade é denominada de L (L = 100 = branco e L = 0 = negro), enquanto a cor (tono) e a saturação (croma) são expressos pelos eixos a\* e b\* conjuntamente, sendo a\*, a coordenada vermelho-verde (a\* mais negativa = mais verde e a\* mais positiva = mais vermelha) e b\*, a coordenada azul-amarelo (de forma análoga, b\* mais negativo = mais azul e b\* mais positivo = mais amarelo).

No vasto campo alimentício, a cor é um atributo visual muito importante. Já em produtos que passaram pelo processo de extrusão termoplástica, a cor é influenciada pela temperatura, composição da matéria-prima, tempo de residência, pressão e cisalhamento (MERCIER et al., 1998).

**Tabela 13.** Análise de cor (L; a\*; b\*) das farinhas integrais de grão de arroz, cevada e trigo.

Propriedade	Farinha crua					
	Arroz		Cevada		Trigo	
L* <sup>β</sup>	78.02	± 0.36 <sup>a</sup>	65.86	± 2.31 <sup>c</sup>	71.29	± 0.77 <sup>b</sup>
a* <sup>β</sup>	0.37	± 0.05 <sup>c</sup>	3.60	± 0.48 <sup>b</sup>	4.39	± 0.28 <sup>a</sup>
b* <sup>β</sup>	7.82	± 0.40 <sup>b</sup>	13.30	± 1.01 <sup>a</sup>	13.22	± 0.61 <sup>a</sup>

L\*: Luminosidade, a\*: Cor, b\*: Saturação; <sup>β</sup> Média ± desvio padrão de medições em quadruplicata.

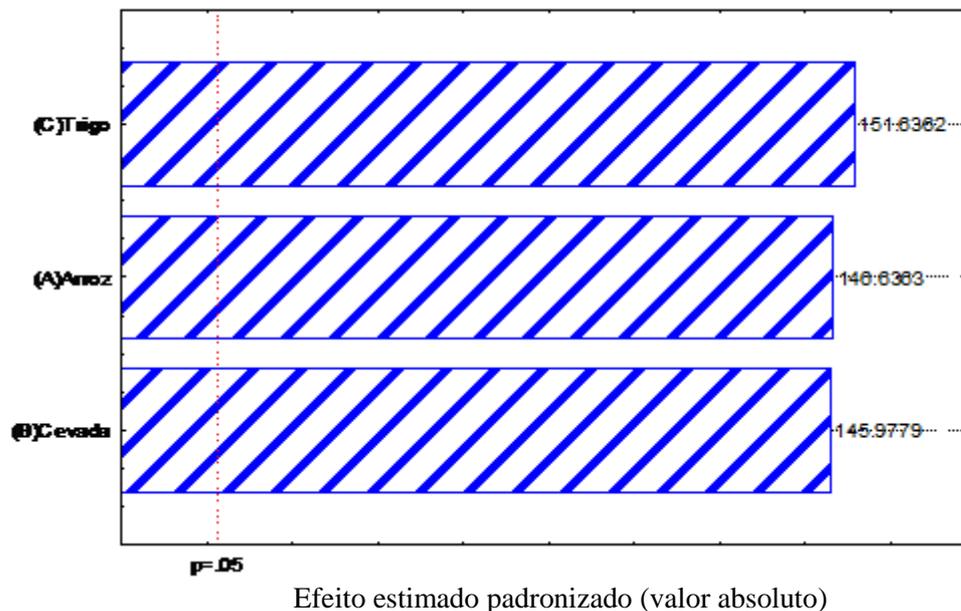
Ao analisar as respostas de cor nas matérias primas cruas expressas na tabela 20 através da média, DP e a significância do teste de Tukey, é possível dizer que, em se tratando de luminosidade (L), o arroz foi o que melhor expressou esta variável (78,02), seguido de trigo e cevada (71,29 e 65,86, respectivamente).

Isto indica que, o arroz contribuiu com maior claridade para a análise e a cevada com menor claridade. Já referente à cor a\*, a farinha de trigo apresentou a maior intensidade para o vermelho (4,39) e a farinha de arroz a menor (0,37%).

A saturação da amostra é medida pelo b\*, e caracteriza a cromaticidade da mesma. A matéria prima de maior valor foi a cevada (13,30), seguido do trigo não demonstrando tanta diferença (13,22) e arroz que mostrou característica de menor intensidade para a cor amarela (7,82).

O gráfico de Pareto permite o controle da significância estatística dos coeficientes de regressão pelo Teste t de Student, a um intervalo de confiança de 0.95; e é expresso a seguir:

O parâmetro L foi mais influenciado pelo coeficiente linear do componente C (Trigo), não tendo uma variação significativa dos demais componentes.



**Figura 59.** Pareto – para parâmetro L das amostras cruas: Arroz, cevada e trigo. Porcentagem de farinhas (arroz%, cevada%, trigo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T7-10: (33,3%; 33,3%; 33,3%)

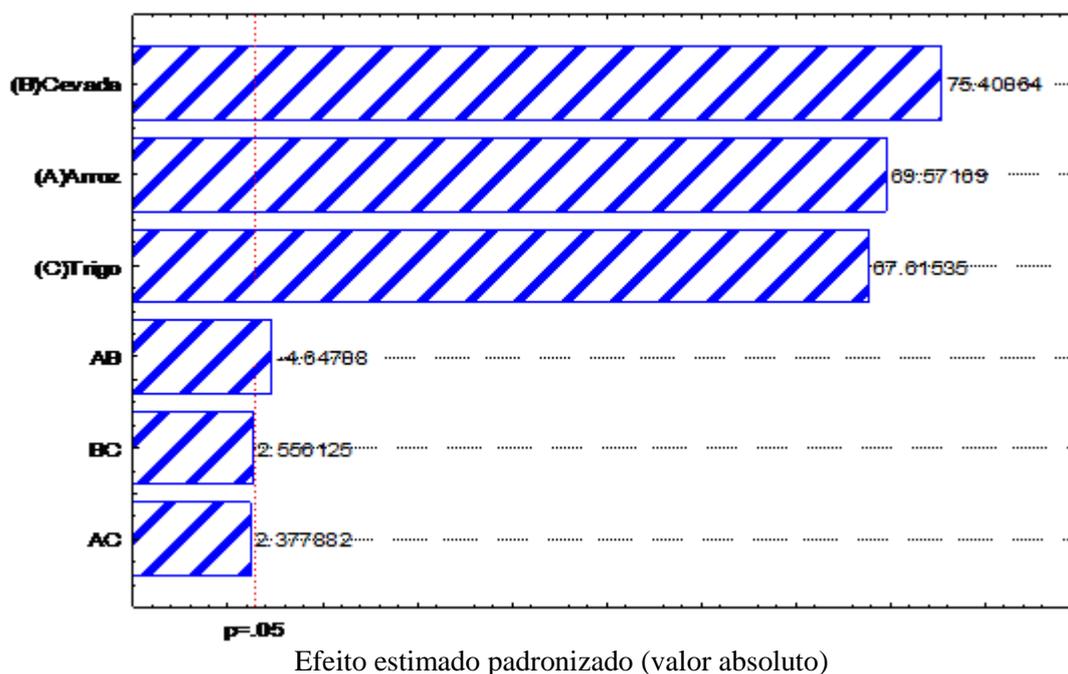
No diagrama Pareto para L (Figura 59) Valor  $p > 0,05$  para os modelos linear, e  $R^2 = 0.593864 < 0,75$  na Tabela do ANOVA, não se gera curvas de contorno e superfície de resposta.

Para  $a^*$ , dado que o valor  $p$  de todos os modelos testados na Tabela do ANOVA estão acima de  $0,05$ , não se gera coeficientes de regressão, nem gráfico de Pareto, curvas de contorno e superfície de resposta.

O parâmetro  $b^*$  teve bastante influência pelo coeficiente quadrático do componente B (cevada), seguido pelo coeficiente linear de A (Arroz) e em menor proporção pelo coeficiente quadrático de C (trigo) ( $p > 0,05$ ), como pode ser observado na Figura 59.

Os coeficientes quadráticos (AB, AC, BC) mostraram efeito significativo ( $p \leq 0,05$ ) sob o parâmetro de cor  $b^*$  para misturas das farinhas extrudadas com maior quantidade de arroz e cevada.

O teste utilizando ANOVA permite o controle da significância estatística do modelo (equação linear, quadrática ou cúbica especial) pelo Teste F de Fischer a uma probabilidade ( $p$ ) de  $0,05$ . O teste F obtido da análise de variância para os dados de parâmetros de cor  $b^*$  mostrou um valor  $P < 0,05$  apenas para o modelo quadrático.

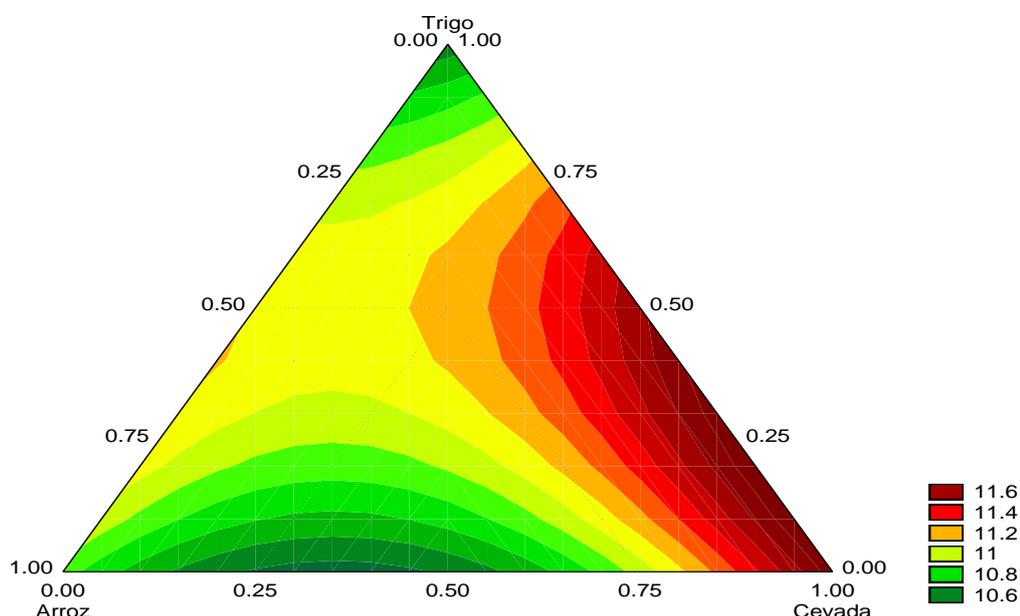


**Figura 60.** Pareto – para parâmetro B\* das amostras cruas e dos tratamentos das farinhas de arroz, cevada e trigo;. Porcentagem de farinhas (arroz%, cevada%, trigo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T7-10: (33,3%; 33,3%; 33,3)

A Superfície de resposta é a representação gráfica dos modelos de regressão (em 2D), que fornece um método para visualizar a relação entre as variáveis independentes (níveis de mistura do experimento) e as variáveis dependentes ou respostas (avaliação física, química, sensorial, etc.) (Figura 61). Tal resposta mostra que o aumento da quantidade de cevada na mistura tende a elevar o valor para b\*, e como seguindo o mesmo pensamento, quanto maior a proporção de trigo, menor será a resposta para b\*.

No diagrama Pareto (Figura 60) Valor  $p > 0,05$  para o modelo linear, e  $R^2 = 0,84 > 0,75$  portanto é possível a construção da superfície de resposta.

Gráfico de linhas de contorno para  $b^*$



**Figura 61.** Linhas de contorno -para parâmetro  $B^*$  das amostras cruas e dos tratamentos das farinhas de arroz, cevada e trigo;. Porcentagem de farinhas (arroz%, cevada%, trigo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T7-10: (33,3%; 33,3%; 33,3)

**Tabela 14.** Análise de cor ( $L$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , e variação de cor) das amostras cruas e das farinhas extrudadas de mistura de farinhas de grãos (arroz, cevada e trigo).

Farinha cruas e extrudadas	Cor Instrumental					
	$L^*$		$a^*$		$b^*$	
Arroz	$\beta$ 78.02	$\pm$ 0.36	$\beta$ 0.37	$\pm$ 0.05	$\beta$ 7.82	$\pm$ 0.40
Cevada	65.86	$\pm$ 2.31	3.60	$\pm$ 0.48	13.30	$\pm$ 1.01
Trigo	71.29	$\pm$ 0.77	4.39	$\pm$ 0.28	13.22	$\pm$ 0.61
T1	89.40	$\pm$ 0.82	1.74	$\pm$ 0.08	10.86	$\pm$ 0.18
T2	89.89	$\pm$ 0.89	2.11	$\pm$ 0.10	11.77	$\pm$ 0.33
T3	92.56	$\pm$ 0.23	2.02	$\pm$ 0.08	10.56	$\pm$ 0.09
T4	88.14	$\pm$ 1.41	1.79	$\pm$ 0.06	10.46	$\pm$ 0.13
T5	91.41	$\pm$ 1.00	2.09	$\pm$ 0.06	11.03	$\pm$ 0.15
T6	89.43	$\pm$ 0.53	2.10	$\pm$ 0.10	11.52	$\pm$ 0.06
T7	90.12	$\pm$ 0.74	1.93	$\pm$ 0.07	11.09	$\pm$ 0.07
T8	90.63	$\pm$ 0.20	1.93	$\pm$ 0.09	11.12	$\pm$ 0.22
T9	90.43	$\pm$ 0.59	1.99	$\pm$ 0.06	10.91	$\pm$ 0.23
T10	89.85	$\pm$ 0.93	2.10	$\pm$ 0.09	11.31	$\pm$ 0.16

$\beta$ Média  $\pm$  desvio padrão de medições em quadruplicata.

$L$  expressa a luminosidade, e representa o quanto a amostra é mais clara (acima do padrão) ou mais escura (abaixo do padrão). A cor (tono) ou  $a^*$  é aquela que o “olho” percebe diariamente, é representada pela coordenada vermelho-verde ( $a^*$  mais negativa = mais verde e  $a^*$  mais positiva = mais vermelha). Já a saturação (croma) ou  $b^*$ , por sua vez representa a

intensidade ou quão “apagada” é a amostra, e é expresso pela coordenada azul-amarelo (de forma análoga,  $b^*$  mais negativo = mais azul e  $b^*$  mais positivo = mais amarelo).

Utilizando como amostra padrão os resultados de cor das farinhas cruas (matéria prima) separadamente, e levando em consideração a influência destas em cada tratamento, é possível observar que:

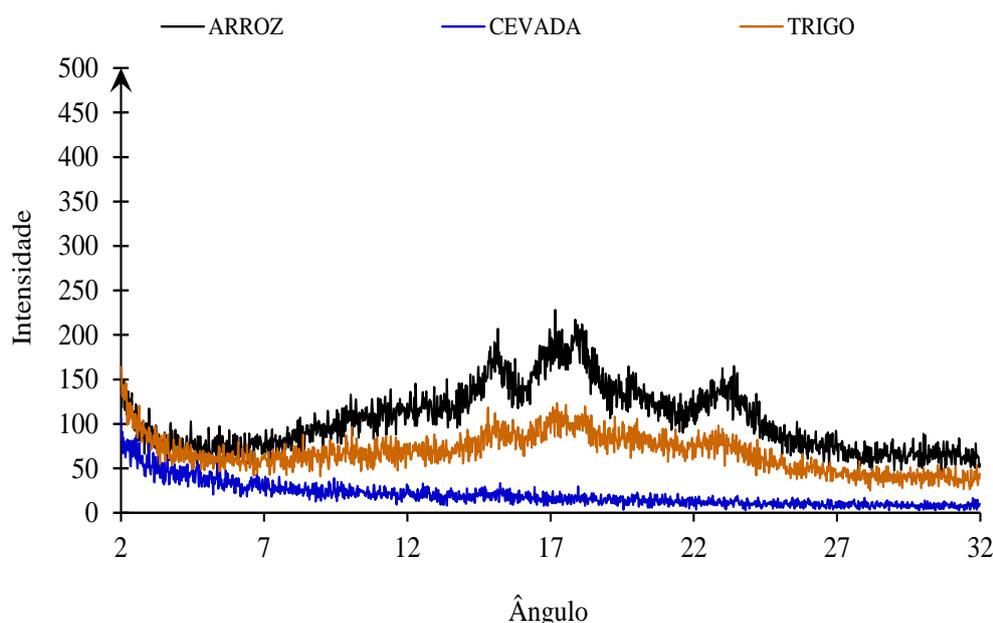
Após a extrusão a luminosidade dos tratamentos se obteve índices 88,14 (T4) a 92,56 (T3), não demonstrando muita variação entre todos os tratamentos. É sabido que em T3 a proporção de trigo foi a maior das misturas, e sendo esta a farinha crua que expressou um L próximo ao maior que foi no Arroz, é possível inferir que o trigo contribuiu, para T3 obter o maior valor de L.

Com relação à cor ( $a^*$ ), o maior valor foi visto em T2 (2,11). O Trigo, como matéria prima expressou maior valor para  $a^*$ , e por sua vez não colaborou para o resultado encontrado em T2, visto que é o tratamento com maior proporção de cevada (70%). O menor valor encontrado para  $a^*$  foi no tratamento T1, cuja a maior fração de arroz (70%), que é a matéria prima de menor  $a^*$ . E para  $b^*$ , os valores foram entre 10,46 (T4) e 11,77 (T2) não evidenciando uma variação significativa.

#### 4.3.10 Difração de Raio X

De acordo com Hoover (2001), o grânulo de amido consiste de camadas concêntricas que contêm micelas cristalinas agrupadas. Por serem parcialmente cristalinos, fornecem resultados particulares de difração de raios-X. Esta análise permite a identificação da natureza botânica de amidos.

Segundo a figura 62, podemos analisar os difratogramas característicos das amostras cruas de arroz, cevada e trigo.



**Figura 62.** Difratograma de Raio X das amostras cruas de arroz, cevada e trigo.

**Tabela 15.** Porcentagem de cristalinidade (%C das) amostras cruas e dos tratamentos após extrusão.

Amostras	% Cristalinidade	% Amorfos
Arroz	34,3	65,7
Cevada	23,3	76,7
Trigo	29,5	70,5
T1	20,4	79,6
T2	22,2	77,8
T3	20,0	80,0
T4	23,8	76,2
T5	18,4	81,6
T6	15,8	84,2
T7	23,2	76,8
T8	18,2	81,8
T9	19,6	80,4
T10	19,3	80,7

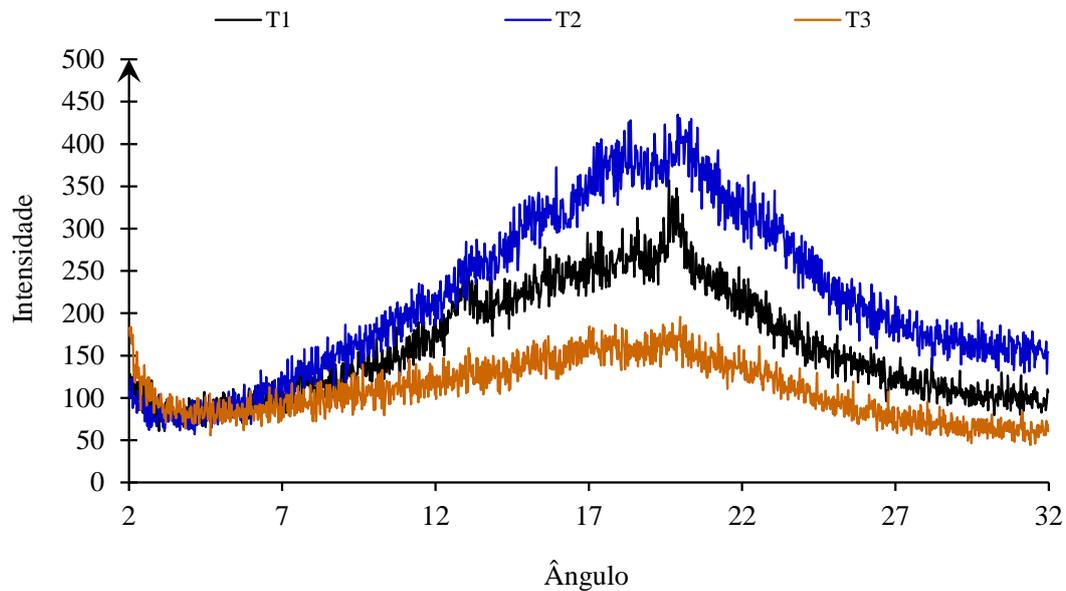
Porcentagem de farinhas (arroz%, cevada%, trigo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%); T7-10: (33,3%; 33,3%; 33,3); 33,3

Analisando a tabela 15, observa-se que nas amostras cruas a maior porcentagem de cristalinidade(%C) foi no Arroz (34,3) e a mais baixa na cevada (23,3). Nos tratamentos a %C variou entre 15,8(T6) a 23,8(T4), sendo que T6 tem a menor porcentagem de Arroz que obteve a maior %C em sua composição.

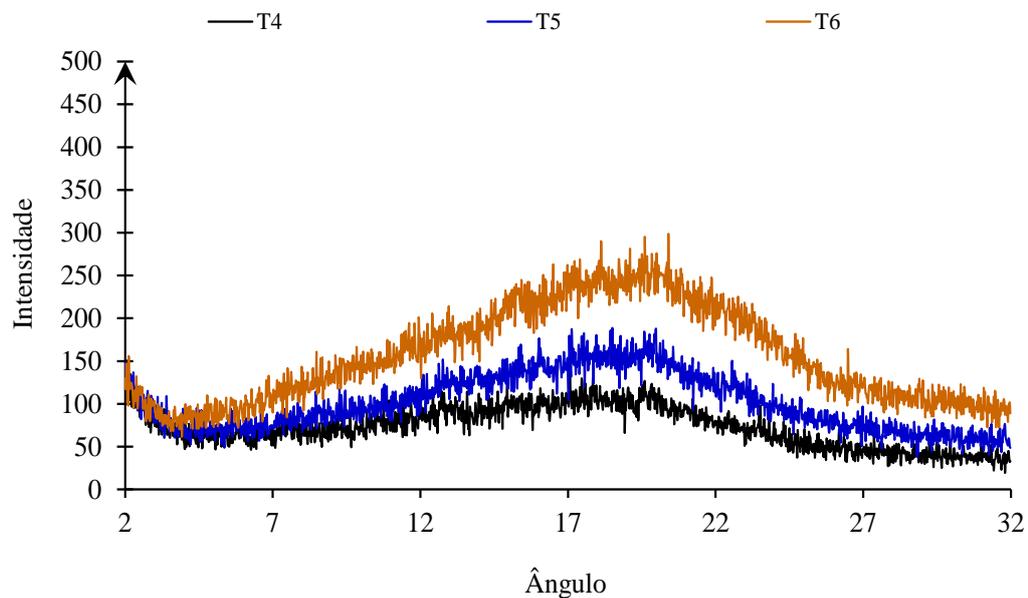
Pode-se perceber que tanto nas amostras cruas que foram moídas e nos tratamentos após sofrerem o processo de extrusão não obtiveram uma %C significativa.

Os tratamentos apresentaram menores valores quando comparados com as amostras cruas, isto pode ser explicado pelo fato de ocorrer o processo de extrusão, devido a degradação do amido, durante o aquecimento e cisalhamento.

Os picos podem ser observados nos difratogramas de Raio x através das Figuras 63(T1 a T3), 64 (T4 a T6), 65(T7 a T10).

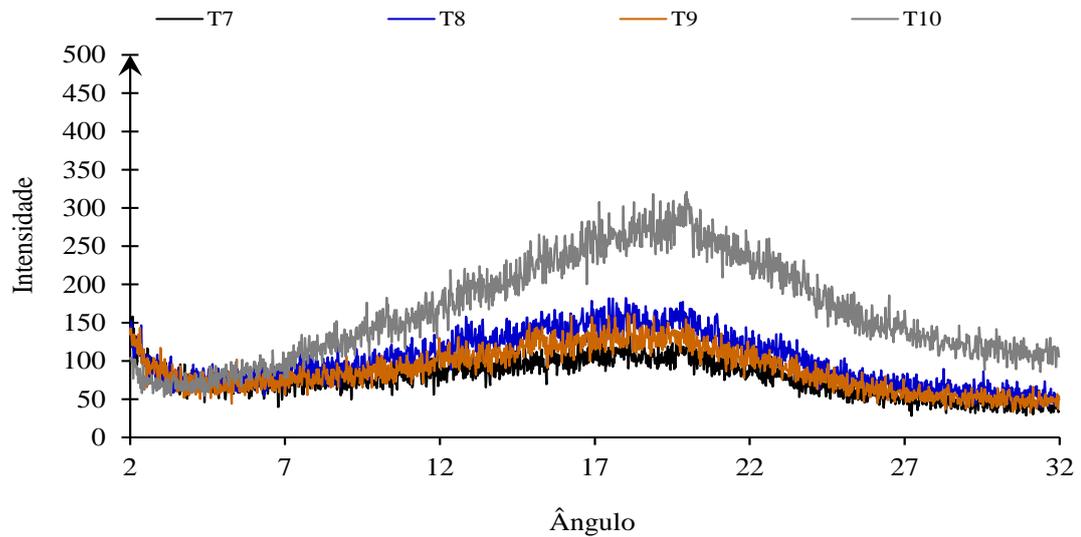


**Figura 63.** Difratoigramas de Raios X da mistura das farinhas extrudadas. Percentagem de farinhas (arroz%, cevada%, trigo%); T1: (70%; 15%; 15%); T2: (15%; 70%; 15%); T3: (15%; 15%; 70%).



**Figura 64.** Difratoigramas de Raios X da mistura das farinhas extrudadas. Percentagem de farinhas (arroz%, cevada%, trigo%); T4: (42,5%; 42,5%; 15%); T5: (42,5%; 15%; 42,5%); T6: (15%; 42,5%; 42,5%);

Os tratamentos de T7 a T10 são pontos centrais com a mesma porcentagem de cada componente (33,3%), apesar do tratamento T10 demonstrar um pico diferente dos outros tratamentos isso pode ter ocorrido devido a algum problema de compactação durante o preparo das amostras, porém na tabela pode-se constatar que a %C não houve variação significativa nos tratamentos.



**Figura 65.** Difratogramas de Raios X da mistura das farinhas extrudadas. Porcentagem de farinhas (arroz%, cevada%, trigo%); T7-10: (33,3%; 33,3%; 33,3)

## 5 CONCLUSÕES

Verificou-se que é possível elaborar uma farinha extrudada com características específicas de viscosidade e expansão, com porcentagem diferentes de cada cereale nesse estudo foram utilizados as misturas de arroz, cevada e trigo, para produção de expandidos diretos produzidos em extrusor de parafuso único de laboratório. O emprego do delineamento de mistura se mostrou interessante ferramenta na comparação de três fontes de cereais para obtenção de produto de conveniência com características distintas.

É possível inferir que o teor de proteína apresentou seu destaque no tratamento T3: (15% arroz; 15% cevada; 70% trigo) sendo a maior com  $11,16\text{g}/100\text{g}^{-1}$ , o que condiz com a quantidade de proteína nas amostras cruas, onde o trigo obteve maior destaque.

No que tange o teor de fibra, todos os tratamentos se destacaram como fonte teor de fibras, com destaque para o tratamento T5 (42,5%; 15%; 42,5%) como alimento com o maior elevado teor, o que não se confirmou na amostra crua que demonstrou que o maior teor de fibra se concentrava na cevada.

Este estudo contribuiu para a compreensão da avaliação do efeito da fibra no comportamento durante a extrusão de farinhas, uma vez que, quanto maior o teor de fibra na mistura, menor foi a expansão dos extrudados. Dessa forma observou-se que o elevado teor de fibra foi inversamente proporcional à expansão. Nesse sentido os tratamentos com maior teor de arroz apresentaram maiores índices de expansão.

O maior valor de energia mecânica específica foi obtido para o tratamento T1, tendo total relação observada no IE, que obteve maior valor de expansão, devido ao menor conteúdo de fibras, contrapondo o valor de densidade aparente que foi o menor. Este tratamento apresentou também os maiores valores de crocância. Assim como obteve os maiores índices de solubilidade e absorção em água e maior porcentagem de cristalinidade.

O tratamento T2 alcançou a maior viscosidade de pasta em sua mistura devido a maior quantidade de cevada que possui a maior quantidade de fibra. Este tratamento destacou-se também por apresentar baixo valor para o índice de solubilidade em água.

Referente à cor, devido ao fato de os dez tratamentos terem sido elaborados a partir de farinhas de multicereais, foi possível ver uma heterogeneidade nos produtos finais, após a extrusão. As melhores farinhas extrudadas para desenvolver biscoitos foram caracterizadas por extrudados com expansão máxima, mínima densidade e leve conversão do amido.

Apesar das outras características reológicas interessantes, o presente estudo demonstrou que os tratamentos feitos através da mistura desses três cereais não obtiveram uma expansão satisfatória para uso em coextrusão, sugerido novos estudos dessas misturas para serem utilizadas em diversos produtos como sopas, ração animal entre outros.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AACC.AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS.**Approved methods of AACC.**St. Paul, 1975.

AACC.AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS.**Approved methods of AACC.**9. Ed. Método 44- 15A, St. Paul, 1995.

AACC.AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS.**Approved methods of AACC.**9. Ed. Método 44- 15A, St. Paul, 2000.

ABITRIGO. Associação Brasileira do Trigo. Disponível em: <http://www.abitrigo.com.br/estatística.asp>. Acesso em dez 2014.

AC NIELSEN. 2007. Disponível em : [www.acnielsen.com.br](http://www.acnielsen.com.br). Acesso em : 21.jun.2007.

ALI, Y., HANNA, M. A. AND CHINNASWAMY, R. Expansion characteristics of extruded corn grits. **Food Science And Technology**-Lebensmittel-Wissenschaft&Technologie, v. 29, p. 702-707, 1996.

AL-RABADI, G. J.; TORLEY, P. J.; WILLIAMS, B. A.; BRYDEN, W. L.; GIDLEY, M. J. Particle size of milled barley and sorghum and physico-chemical properties of grain following extrusion. **Journal of Food Engineering**, v.103, n.4, p.464-472. 2011.

AL-RABADI, G. J.; TORLEY, P. J.; WILLIAMS, B. A.; BRYDEN, W. L.; GIDLEY, M. J. Effect of extrusion temperature and pre-extrusion particle size on starch digestion kinetics in barley and sorghum grain extrudates. **Animal Feed Science and Technology**, v. 168, n. 3-4, p. 267-279, 2011b.

ALVAREZ-MARTINEZ, L., KONDURY, K. P. AND HARPER, J. M.A general-model for expansion of extruded products.**Journal Of Food Science**, 53, 609-615, 1988.

ALVIM, I. D.; SGARBIERI, V. C.; CHANG, Y. K. Development of extruded mixed flours based on corn flour, yeast derivates and casein. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.22, n.2, p.170-176. 2002.

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

AOAC.ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY.Approved Methods of the American Association of Official Analytical Chemists, 18th edition, 3th rev. Gaithersburg: USA, 2010.

AOAC.ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry. 16th edition. Arlington: Washington, 2005.

ARTZ, W.E.; WARREN, C. & VILLOTA, R. Twin-screw extrusion modification of a corn fiber and corn starch extruded blend.**Journal of Food Science**, London, v.55, n.3, p.746- 754, 1990.

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. 2006.

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

ASCHERI, J.L.R.; CARVALHO, C. W. P. Efecto de losparámetros de extrusion, características de pasta y textura de pellets (snacks de tercergeneración) producidos a partir de trigo y maíz. **Alimentaria**, v. 35, p.93 – 98, 1997.

ASCHERI, J. L. R. & CARVALHO, C. W. P.; **Apostila de extrusão de Alimentos: aspectos tecnológicos para o desenvolvimento e produção de Alimentos para o consumo Humano**, EMBRAPA CTAA, 2008.

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

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

BASOLLI, R. S. Influencia do grau de moagem de ingredientes amiláceos utilizados em rações extrusadas sobre os aspectos digestivos e respostas metabólicas em cães. **Tese de doutorado em Ciências Veterinárias**, Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, 2007.

BECKER, A.; HILL, S. E.; MITCHELL, J. R. MILLING.A further parameter affecting the rapid viscoanalyser (RVA) profile. **Cereal Chemistry**, v.78, n.2, p.166-172. 2001.

BERK, Z. Food process engineering and technology (pp. 333-350). **Academic Press**, New York, 2009.

BERRIOS, J. D. J.; MORALES, P.; CAMARA, M.; SANCHEZ-MATA, M. C. Carbohydrate composition of raw and extruded pulse flours. **Food Research International**, v.43, n.2, p.531-536. 2010.

BERRIOS, J. J., ASCHERI, J. L. R., & LOSSO, J. N. Extrusion processing of dry beans and pulses. In M. Siddiq, & M.A. Uebersax (Eds.), **Dry beans and pulses** (pp. 185–203), 2013.

BJÖRCK, I. et al. Effect of processing on starch availability in vitro and in vivo: Extrusion-cooking of wheat flour and starch. **Journal Cereal Science**, n.2, p.91-103, 1983.

BOMBO, A.J. **Obtenção e caracterização nutricional de snacks de milho (*Zeamays L.*) e linhaça (*Linumusatissimum L.*)**. São Paulo, 2006. 96p. Dissertação (mestrado). Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo.

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. **Food Science and Technology** (Campinas), v.25, p.835-843. 2005.

BORSATO D; DALL'ANTONIA L. H.; GUEDES C. L. B; MAIA E. C. R.; FREITAS H. R. F; SPACINO I. M. K. R. Aplicação do delineamento simplex-centroide no estudo da cinética da oxidação de biodiesel B100 em mistura com antioxidantes sintéticos. **Química Nova**. v.33. n.8. São Paulo 2010.

- BOTHMER, R.V.; JACOBSEN, N.; BADEN, C.; JORGENSEN, R.B.; LINDE-LAURSEN, S. An ecogeographical study of genus *Hordeum*. 2nd ed. Rome, **IPGRI**, p. 129. Systematic and Ecogeographic Studies on Crop Genepools, p.1-28, 1995.
- BOUVIER, J. M.; BONNEVILLE, R.; GOUILLEUX, A. Instrumental methods for the measurements of extrudate crispness, *Agrofood-Industry Hi-Tech*, January/February, 16–19, 1997.
- BRASIL, Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução - RDC nº 31, de 13 de janeiro de 1998. **Regulamento Técnico de adição de nutrientes aos alimentos**, 1998.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do Agronegócio : Brasil 2012/2013 a 2022/2023 / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Assessoria de Gestão Estratégica. – Brasília : Mapa/ACS, 2013.
- BRITO, C.B.M. Efeito de diferentes níveis de umidade com e sem utilização de antifúngico em dietas para cães. **Dissertação de mestrado em Ciências Veterinárias**, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2009
- CABRAL, D.B. Futuro do arroz. **Revista Cultivar grandes culturas**, 36<sup>a</sup> ed., 2002.
- CAIERÃO, E. Cevada. In: BARBIERI, R.L. Origem e evolução de plantas cultivadas. **Embrapa Informação Tecnológica**. Brasília, DF. p.289-310, 2008.
- CALLEGARO, M.G.L. et al. Determinação da fibra insolúvel e total de produtos derivados de milho. **Ciência e tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.25, n.2, p-271-274, 2005.
- CAMARGO, C.E.O.; TULMANN, A.; FERREIRA FILHO, A.W.P. Evaluation of wheat genotypes originated from inter-specific crossings and gamma radiation. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, Brasil, v.52, n.1, p.25-37, 1995.
- CAMIRE, M. E.; CAMIRE, A. & KRUMHAR, K. Chemical and nutritional changes in foods during extrusion. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.19, n.1, pp.35- 57, 1990, ISSN 1040-8398.
- CARVALHO, C. W. P. **Effect of sugar on the extrusion of maize and wheat**. Nottingham University, Nottingham, 2001.
- CARVALHO, C. W. P.; ASCHERI, J. L. R. Effect of dry-milling on physicochemical characteristics of white corn extrudates. **Alimentaria**, v. 305, p. 115–119, 1999.
- CARVALHO, C.W.P., ASCHERI, J.L.R., TAKEITI, C. Y. **Curso de processo de extrusão de alimentos: aspectos tecnológicos para o desenvolvimento e produção de alimentos para consumo humano e animal**. EMBRAPA – Agroindústria de Alimentos, Abril, 2011.
- CARVALHO, R. V.; ASCHERI, J. L. R.; 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**, v.26, n.5, p.1006-1018, set./out. 2002.
- CHANG, Y.; MARTINEZ-BUSTOS, F.; PARK, T.; KOKINI, J. The influence of specific mechanical energy on cornmeal viscosity measured by an on-line system during twin-screw extrusion. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v.16, n.3, p.285- 295. 1999.
- CHANG, Y.K.; MARTÍNEZ-BUSTOS, F.; MARTÍNEZ-FLORES, H.E. Effect of operational extruder parameters on the production of crispbread. Analysis using response surface methodology. **Research Advances in Food Science**, v.2, p.63-71, 2001.

- CHARALAMPOPOULOS, R.; WANG, S.S.; PANDIELLA, C.; WEBB, C. Application of cereals and cereal components in functional foods: a review. **International Journal of Food Microbiology**, v.79, p.131-141. 2002.
- CHEFTEL, J. C. Nutritional effects of extrusion cooking. **Food chemistry**, v.20, n.3, p.263-283, 1986
- CHINNASWAMY, R. AND HANNA, M. A. Relationship between amylose content and extrusion-expansion properties of corn starches. **Cereal Chemistry**, v. 65, p. 138-143, 1988.
- CHRISTOFIDES, V.; AINSWORTH, P.; IBANOGLU, S.; GOMES, F. Physical evaluation of maize-based extruded snack with curry powder. **Nahrung**, v.48, n.1, p.61-64, 2004.
- CLERICI, M.T.P.S.; EL-DASH, A.A. Características tecnológicas de farinhas de arroz pré-gelatinizadas obtidas por extrusão termoplástica. **Ciência e Agrotecnologia**., Lavras, v.32, n.5, p. 1543-1550, set./out. 2008.
- COMISSÃO INTERNACIONAL DO ARROZ. Resultados da 20ª sessão. Santo Antonio de Goiás: Embrapa arroz e Feijão, 2004. Disponível em <[www.cnpaf.embrapa.br](http://www.cnpaf.embrapa.br)>. Acesso em 05 de abril de 2015.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos: safra 2010/2011: décimo primeiro levantamento, agosto/2011**. Brasília: CONAB, 41p, 2011.
- CONAB. **Brasil: Balance de Oferta e Demanda**, 2005. Disponível em: <[www.conab.gov.br](http://www.conab.gov.br)>. acesso: nov. 2013
- CORNELL, J. A. **Experiments with mixtures - designs, models and the analysis of mixture data**, 2nd ed., John Wiley and Sons: New York, 1990
- COWELL, C. S. et al Making commercial pet food. In: HAND, M. et al. **Small Animal Clinical Nutrition**, 4ed Kansas: Mark Morris Institute, p. 127-146, 2000.
- CUNHA, G. R. da. **Buscando a elevação do rendimento de grãos em trigo**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 7 p., 2005.
- DE OLIVEIRA, M. F.; WANG, S. H.; DE SOUZA COSTA, P.; 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
- DELOUCHE (1964) e CARVALHO & YANAI (1976) **Circular Técnica Online Nº 07 - Publicações** - Embrapa Trigo.
- DING, Q. B. et al. The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks. **Journal of Food Engineering** , v. 66, n.3, p.283-289, 2005.
- DING, Q. B.; AINSWORTH, P.; TUCKER, G.; MARSON, H. The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks. **Journal of Food Engineering**, Barking, v. 66, p. 283-289, 2005.
- DOGAN, H.; KARWE, M. V. Physicochemical properties of quinoa extrudates. **Food Science and Technology International**, v. n. 2, 101-114, 2003

DUARTE, G., CARVALHO, C. W. P., ASCHERI, J. L. R. Effect of soybean hull, screw speed and temperature on expanded maize extrudates. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 12, p. 205–212, 2009.

EL-DASH, A.A. **Application and control of thermoplastic extrusion of cereals for food and industrial uses.**in: Pomeranz, Y.; MUNCH, L. Cereals a renewable resource: theory and practice. St. Paul: AACC, cap.10, p.165-216, 1982.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Embrapa Trigo. Disponível em: <<http://www.cnpt.embrapa.br/culturas/cevada/index.htm>>. Acesso em: set. 2013.

FELICIO, J. C.; CAMARGO, C.E.O.; FERREIRA FILHO, A.W.P.; FREITAS, J.G.; BARROS, B.C.; VITTI, P. Tocantins (IAC 23) E Tucuruí (IAC 21): **Novos cultivares de trigo**. Bragantia, Campinas, v.47, n.1, p. 93-107, 2000.

FELLOWS, P. **Extrusion.in: fellows, p. food processing technology: principles and practice.** Cambridge: WoodheadPublishing, cap.14, p.294-308, 2002.

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

FERRAZ. Esquemas de processamento de rações extrusadas. 2012. Disponível em: <<http://www.ferrazmaquinas.com.br/home/>>

FICHTALI, J., VAN DE VOORT, F. R. Fundamental and practical aspects of twin screw extrusion. **Cereal Foods World**, 34( 11), 921-929, 1989.

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

FREITAS, M.C.J. Amido resistente: propriedades funcionais, **Nutrição Basil**, v., p.40-48, 2002.

FURLAN,A.C.;MONTEIRO,R.T.;SCAPINELLO,C.;MOREIRA,I.;MURAKAMI,A.E.;MARTIN S,E,N.Avaliação nutricional do triticale extrusado ou não para coelhos em crescimento.ActaScientiarum. **Animal Sciences.**, Maringá, v. 26, no. 1, p. 49- 55, 2004

GOESAERT, H. et al. **Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality.** Trends in Food Science & Technology, Cambridge, v. 16, n. 1-3, p. 12-30, 2005.

GOUPY, P.; HUGUES, M.; BOIVIN, P.; AMIOT, M.J. Antioxidant composition and activity of barley *Hordeum vulgare* and malt extracts and isolated phenolics compounds. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.79, n.12, p.1625-1634, 1999

GRAS, P.W.; CARPENTER, H.C.; ANDERSSSEN, R.S. Modelling the developmental rheology of wheat – flour dough using extension tests.**Journal of Cereal Science**, v.31. p 1-13. 2000.

- GUHA, M.; ALI, S. Z.; BHATTACHARYA, S. Twin-screw extrusion of rice flour without a die: Effect of barrel temperature and screw speed on extrusion and extrudate characteristics. **Journal of Food Engineering**, v.32, n.3, p.251-267. 1997
- GUTKOSKI, L.C..et al. Desenvolvimento de barras de cereais à base de aveia com alto teor de fibra alimentar. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, SP,v. 19, n. 3, p. 387-390, 2007.
- GUTKOSKY, L.C.; TROMBETA, C. Avaliação dos teores de fibra alimentar e de beta-glicanas em cultivares de aveia (*Avena sativa L.*).**Ciência e tecnologia de alimentos**, Campinas, v.19, n.3, 1999.
- GUY, R. Extrusion cooking: Technologies and application. Cambridge: **Woodhead Publishing Ltd.** 2002.
- GUY, R. **Extrusion cooking: Technologies and applications**: Woodhead publishing. 2001.
- HASHIMOTO, J. M.; GROSSMANN, M. V. E. Effects of extrusion conditions on quality of cassava bran/cassava starch extrudates.**International journal of Food Science & technology**, v.38, n.5, p.511-517. 2003
- HELME, C.V., DE FRANCISCO, A. Chemical characterization of Brazilian hulness barley varieties, flour fractionation, and protein concentration. **Science Agricola**, Piracicaba, v.61, n6, 2004.
- HOLTEKJOLEN, A.K.; UHLEN, A.K.; BRATHEN,E.; SAHLSTROFFI, S.H. Contents of starch and non-starch polysaccharides in barley varieties of different origin. **FoodChemistry**, Norway, v.102, n.3, p.954-955, 2007.
- INSTITUTITO DE ECONOMIA AGRICOLA, **Soja em Alimentos: algumas considerações**, 2015. Disponível em:<<http://www.iea.sp.gov.br/out/LerTexto.php?codTexto=9073>> Acesso em 15/05/2015.
- JANIN, G.; GONÇALEZ, J. C.; ANANIAS, R.; CHARRIER, B.; SILVA, G. F.; DILEM, A. Aesthetics appreciation of wood colour and patterns by colorimetry: part 1, colorimetry theory for the CIELAB system. Maderas: **Ciencia y Tecnología**, San José, v. 3, n. 1/2, p. 3-13, 2001.
- KENT, S. M. *Astrophysical Journal*, v.1, p.94 , 306, 1987.
- KHATKAR, B.S.; FIDO, R.J.; TATHAM, A. S.; SCHOFIELD, J. D. Functional properties of wheat gliadins. II. Effects on dynamic rheological properties of wheat gluten. **Journal of Cereal**, v.35, p.207 -313.2002.
- KRABBE, E.L. Aspectos críticos do processo de secagem de pet food, 2007. Disponível em <<http://www.abz.org.br>>, acesso em: 20 de janeiro de 2013.
- KUMAGAI, H.; YANO, T. Critical bubble radius for expansion in extrusion-cooking.**Journal of Engineering**, v.20, p. 325-338, 1993
- KUNZE, W. *Tecnologíaparacerveceros y malteros*.Berlin: **VLB**, 2006.
- LAZOU, A., & KROKIDA, M. Structural and textural characterization of corn–lentil extruded snacks. **Journal of Food Engineering**, v.100, p.392–408, 2010.
- LONDERO, P.M.G. et al. Herdabilidade dos teores de fibra alimentar de grãos em populações de feijoeiro, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, p.51-58, 2006.

MADEIRA, M. S. E. **Produção de Macarrão Pré-Cozido à Base de Farinha Mista de Arroz Integral e Milho para Celíacos Utilizando o Processo de Extrusão** Tese 2007. 118 p. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Pós-Graduação em Ciência e tecnologia de Alimentos, Seropédica. 2007.

MAKARAVICIUS, T.; BASINSKIENE, L.; JUODEIKIENE, G.; VAN GOOL, M. P.; SCHOLS, H. A. Production of oligosaccharides from extruded wheat and rye biomass using enzymatic treatment. **Catalysis Today**, v.196, n.1, p.16-25. 2012.

MATHIAS, S. V., L. **Efeito das variáveis de extrusão nas características físicas, químicas, sensoriais e nutricionais da farinha instantânea de misturas de quinoa (Chenopodium quinoa, Wild) e arroz (Oryza sativa, L.)**. Tese 2002. 174 p. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, pós-graduação em Ciência e tecnologia de Alimentos Seropédica. 2002.

MCMURROUGH, I. et al. Effect of the removal of sensitive proteins and proanthocyanidins on the colloidal stability of lager beer. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, v.50, n.2, p.67-76, 1992

MENDEZ, M.H.M.; DERIVI, S.C.N.; RODRIGUES, M.C.R.; FERNANDES, M.L. **Tabela de composição de alimentos**. Niteroi: EDUFF, 1995.

MENDONÇA, K. M. F. D. **A tecnologia da extrusão termoplástica no desenvolvimento de novos produtos alimentícios**. Exame de Qualificação (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

MENG, X.; THREINEN, D.; HANSEN, M.; DRIEDGER, D. Effects of extrusion conditions on system parameters and physical properties of a chickpea flour-based snack. **Food Research International**, v.43, n.2, p.650-658. 2010.

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

MIRALBÉS, C. Quality control in the milling industry using near infrared transmittance spectroscopy. **Food Chemistry**, v.88, p. 621-628, 2004.

modificações. São Paulo: Varela, 1996. 517 p.

MOLINACANO, J.L. Genetic and Environmental Variation in Malting in Feed Quality of Barley. **Journal of Cereal Science**, n25, p-37-47, 1997.

MONTEIRO, F. **Diferentes proporções de fibra insolúvel e solúvel de grãos de aveia a resposta biológica de ratos**. 2005. 65f. Dissertação (Mestrado em ciência e tecnologia de alimentos) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

MORAES, F. ; COLLA, L. Alimentos Funcionais e Nutracêuticos : Definições, Legislação e Benefícios à Saúde. **Revista Eletrônica de Farmácia**, Passo Fundo, v. 3, 109 - 122, 2006.

MURAKAMI, F.Y. Impacto da adição de água no processo de extrusão sobre a digestibilidade e propriedades físico-químicas da dieta para cães. Curitiba - PR: Universidade Federal do Paraná, 2010. 40p. **Dissertação de mestrado em Ciências Veterinárias** - Universidade Federal do Paraná, 2010.

- NASCIMENTO, E.M.G.C.; CARVALHO, C.W.P.; TAKEITI, C.Y.; FREITAS, D.G.C.; ASCHERI, J.L.R. Use of sesame oil cake (*Sesamum indicum L.*) on corn expanded extrudates. **Food Research International**, v. 45, n. p. 434-443, 2012.
- NAYAK, B.; BERRIOS, J. D. J.; POWERS, J. R.; TANG, J. Effect of Extrusion on the Antioxidant Capacity and Color Attributes of Expanded Extrudates Prepared from Purple Potato and Yellow Pea Flour Mixes. **Journal of Food Science**, v.76, n.6, p.C874-C883. 2011
- NEPA.Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação. **TACO**: tabela brasileira de composição de alimentos. Campinas: **NEPA-UNICAMP**, 113 p. 2006.
- OLIVEIRA, M.N.; SIVIERI, K.; ALEGRO, J.H.A.; SAAD, S.M.I. Aspectos tecnológicos de alimentos funcionais contendo probióticos. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**. v. 38, n. 1, p 1-21, 2002.
- OLIVEIRA, D. & FERNANDES, D. 2004. Revolução na mesa. *Isto É Dinheiro*, São Paulo, 21.jan. Disponível em :[http://www.terra.com.br/istoedinheiro/333/negocios/333\\_revolucao\\_mesa.htm](http://www.terra.com.br/istoedinheiro/333/negocios/333_revolucao_mesa.htm). Acesso em : 16.mar.2008.
- ONWULATA, C. I., KONSTANCE, R. P., STRANGE, E. D., SMITH, P. W., & HOLSINGER, V. H. High-fibersnacksextrudedfrom triticales andwheatformulations. **Cereal Foods World**, v.45, p.470-473, 2000.
- OSCARSSON, M. et al. Chemical composition of barley samples focusing on dietary fibrecomponents. **JournalofCeral Science**, Sweden, v.24, p161-170, 1996.
- PHILIPPI, S.T. **Tabela de composição de alimentos**: suporte para decisão nutricional. 2. ed. São Paulo: Coronário, 2002.
- POMERANZ, Y. (Ed) *Wheat: chemistry and technology*, 3ed. ST Paul: **American Association of Cereal Chemists**, Inc, USA, 1988.
- POSNER, E. S. Wheat. In: KULP, K.; PONTE, J. G. **Handbook of Cereal Science and Technology**. 2nd ed. New York: Marcel Dekker, 2000. p. 1-29.
- PRABHASANKAR, P.; SUDHA, M.L.; RAO, P. Quality characteristics of wheat flour milled streams.**FoodResearchInternational**, v.33, p.381-386, 2000.
- RAUD, C., Os alimentos funcionais: a nova fronteira da indústria alimentar análise das estratégias da Danone e da Nestlé no mercado brasileiro de iogurtes.**Revista SociologiaPolítica.** , Curitiba, PR, vol.16, 31, 2008.
- RIBAS, A.I.; CÁNOVAS, G.V.B.; GARZA, S.G.; AÑÓ, V.G. Métodos ExperimentalesenlaIngeniería de los Alimentos. Zaragoza: **Acribia**, 2000. 292 p.
- RIBEIRO, N.D.; LONDERO, P.M.G.; HOFFMANN JUNIOR, L.; POERSCH, N.L.; GARGNELUTTI FILHO, A. Dissimilaridade genética para teor de proteína e fibra em grãos de feijão dos grupos preto e de cor. **Revista Brasileira Agrociência**, Pelotas, v.11, n.2, p.167-173, 2005.
- ROKEY, G.J., PLATTNER B., SOUZA E. M. **Descrição do processo de extrusão do alimento**.In: IV Congresso Internacional e XI Simpósio sobre nutrição de animais de estimação - CBNA. São Paulo – SP, Maio de 2012.

SAVIN, R.; AGUINAGA, A. Los requerimientos de la industria: calidad comercial e industrial y sus determinantes. In: MIRALLES, D.J.; BENECH-ARNOLD, R.L.; ABELEDO, G. **Cevada cervecera**. Buenos Aires: Gráfica, p.205-240, 2011.

SEBIO, L. Efeito de alguns parâmetros operacionais de extrusão nas propriedades físico-químicas da farinha de inhame (*dioscorea rotundata*). Dissertação de (Mestrado)- Faculdade de Engenharia de Alimentos – Universidade Federal de Campinas, 106p., 1996.

SENAI. **Fundamentos gerais: produto e processo. Vassouras**, (Cursos de Cervejaria): Senai Rio de Janeiro, 2004.

SGIARBIERI, V. C. Proteínas em alimentos protéicos: propriedades, degradações, e modificações. São Paulo : Varela, 517p, 1996.

SHAHIDI, F.; NACZK, M. Phenolics in food and nutraceuticals. Boca Ratón: **CRC**, 2003. 576p.

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

SILVA, M. C. Processamento de amido de milho em câmara de mistura. **Ciência Tecnologia Alimentar**, Campinas, v. 24, n. 2, jun. 2004 . Disponível em <<http://www.scielo.br/scielo.php>>. acessos em 20 ago. 2009.

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

SMITH, O. B. Extrusion cooking. In “New Protein Foods.Vol. 2.**Technology**, Part B”. Academic Press.New York. 1976.

SMOLARZ, A., VAN HECKE, E., and BOUVIER, J. M. 1989. Computerized image analysis and texture of extruded biscuits. *J. Texture Stud.* 20:223.

SOARES, A. A., Cultura do Arroz. **Revista UFLA**, Lavras, MG, 3 ed. , 119p, 2012.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE ALIMENTOS FUNCIONAIS. 2007. Disponível em : <http://www.sbaf.org.br>. Acesso em : 21.jun.2007.

SOUZA E. **Importância do condicionador na produção de extrusados**. In: II Congresso Internacional e IX Simpósio sobre nutrição de animais de estimação - CBNA. Campinas – SP, Maio de 2010.

SOUZA, M. A. **Controle genético e resposta ao estresse de calor de cultivares de trigo**, 125f, tese (Doutorado em genética e melhoramento de plantas) – UFLA , Lavras, MG, 1999.

SOUZA, M. L.; MENEZES, H. C. Otimização do processo de extrusão termoplástica da mistura castanha do Brasil com farinha de mandioca. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.28, n.3, p.659- 667, jul/set. 2008.

STEINMETZ, S. Influência do clima na cultura do arroz irrigado no Rio Grande do Sul. **Embrapa Informação Tecnológica**, Brasília, DF, 899 p, 2004

TAIRA, H. **Grain quality: physicochemical properties and quality of rice grains**. In: MATSUO, T.; KUMAZAWA, K.; ISHII, R.; ISHIHARA, K.; HIRATA, H. (Ed.). *Science of*

the rice plant. Tokyo: **Food and Agriculture Police Research Center**, v.2 (Physiology). cap. 6.1, p.1063-1089.1995.

TESTER, R. F.; MORRISON, W. R. Properties of Damaged Starch Granules. V. Composition and Swelling of Fractions of Wheat Starch in Water at Various Temperatures. **Journal of Cereal Science**, v.20, p.175-181, 1994.

USP. Universidade de São Paulo. **Tabela brasileira de composição de alimentos**. São Paulo, 2004. versão 4.1. Disponível em: <<http://www.fcf.usp.br/tabela>>. Acesso: 22/02/ 2005

VARGAS-SOLORZANO, J. W. **Obtenção e caracterização de farinha extrudada de diferentes genótipos de sorgo para o desenvolvimento de biscoitos doces**. Tese 2013. 127 p. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Seropédica.2013.

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

WILEY, B. **Dry beans and pulses, production processing, an nutrition**. Iowa, v.1. 2013.

WU, Y.; CHEN, Z.; LI, X.; WANG, Z. Retrogradation properties of high amylose rice flour and rice starch by physical modification. **LWT - Food Science and Technology**, v. 43, n. 3, p. 492-497, 2010.

YALÇIN, E.; ÇELİK, S.; AKAR, T.; SAYIN, I.; KOKSEL, H. Effects of genotype and environment on  $\beta$ -glucan and dietary fiber contents of hull-less barley grown in Turkey. **Food Chemistry**, Turkey, v.101, p.171-176, 2007.

ZHANG, G.; CHEN, J.; WANG, J. Variation in barley endosperm  $\beta$ -glucan content in three barley cultivars as a function of spike number and within-spike position. **Journal of Cereal Science**, v.35, p.99-101, 2002.