

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

DISSERTAÇÃO

**OBTENÇÃO DE PRODUTOS EXTRUSADOS EXPANDIDOS E
NÃO-EXPANDIDOS DE CASCA DE SOJA E MILHO**

Giselle Duarte de Oliveira

2007



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

**OBTENÇÃO DE PRODUTOS EXTRUSADOS EXPANDIDOS E
NÃO-EXPANDIDOS DE CASCA DE SOJA E MILHO**

GISELLE DUARTE DE OLIVEIRA

Sob a Orientação do Pesquisador
Carlos Wanderlei Piler de Carvalho

e Co-orientação do Pesquisador
José Luis Ramírez Ascheri

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

Seropédica, RJ
Março de 2007

633

O48o

T

Oliveira, Giselle Duarte de, 1979-

Obtenção de produtos extrusados expandidos e não-expandidos de casca de soja e milho / Giselle Duarte de Oliveira. – 2007.

104 f. : il.

Orientador: Carlos Wanderlei Piler de Carvalho.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Tecnologia.

Bibliografia: f. 68-78.

1. Grãos – Processamento – Subprodutos – Extrusão – Teses. 2. Alimentos – Indústria – Teses. 3. Tecnologia de alimentos – Teses. I. Carvalho, Carlos Wanderlei Piler de, 1967- II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Instituto de Tecnologia. III. Título.

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

GISELLE DUARTE DE OLIVEIRA

Dissertação submetida ao Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, área de Concentração em Tecnologia de Alimentos, como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre**, em março de 2007.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 19/03/2007

Carlos Wanderlei Piler de Carvalho. Título (Ph.D.) Embrapa Agroindústria de Alimentos
(Orientador)

Jose Luis Ramírez Ascheri. Título (D.Sc.) Embrapa Agroindústria de Alimentos

Diego Palmiro Ramírez Ascheri Título (D.Sc.) Universidade Estadual de Goiás

RESUMO

OLIVEIRA, Giselle Duarte. **Obtenção de produtos extrusados expandidos e não-expandidos de casca de soja e milho**. Seropédica: UFRRJ, 2007. (Dissertação, Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Tecnologia de Alimentos).

O processo de extrusão termoplástica devido à sua versatilidade e flexibilidade vem sendo progressivamente usado no desenvolvimento de novos produtos alimentícios pela indústria de alimentos. Atualmente muitos produtos alimentícios, tais como cereais matinais, *snacks*, *pellets*, massas, mingaus, sopas instantâneas, entre outros, são produzidos por este processo. Este processo é caracterizado pela elaboração de dois tipos de produtos: extrusados expandidos diretos e não-expandidos. Os extrusados expandidos diretos encontrados no mercado brasileiro são produzidos em sua maioria a partir de milho, os produtos extrusados não-expandidos diretamente são elaborados a partir de farinha de trigo. No entanto, o uso da farinha de milho em detrimento da farinha de trigo tem sido bastante difundida devido ao seu baixo custo. A casca de soja, subproduto resultante do processamento da soja e rico em fibra representa uma alternativa de melhoria nutricional desses produtos. A qualidade dos produtos extrusados está intimamente relacionada com o grau de expansão, o qual sofre influência dos parâmetros de extrusão e dos ingredientes adicionados à formulação. O objetivo deste trabalho foi desenvolver dois produtos extrusados: expandidos e não-expandidos a partir da farinha mista de milho e casca de soja, assim como avaliar seus efeitos dos parâmetros do processo e as propriedades físicas dos extrusados. Misturas de farinha de milho e casca de soja foram extrusadas em extrusor de rosca simples. Foi usado o delineamento central composto rotacional, sendo as variáveis respostas cujo coeficiente de determinação acima de 0,70 foram representadas graficamente em superfície de resposta. Para elaboração de extrusados expandidos, as variáveis independentes estudadas foram a temperatura da última zona de aquecimento (100 a 200°C), a rotação da rosca (100 a 200 rpm) e o teor de casca na mistura (8 a 40%). Enquanto para produção de extrusados não expandidos diretos, o teor de umidade (26,6% a 43,4%) da mistura, a velocidade de rotação do parafuso (90 a 190 rpm) e o teor de casca de soja (10% a 50%) na farinha mista como variáveis independentes estudadas. As variáveis respostas foram: energia mecânica específica (EME), índice de expansão radial (IER) (extrusados expandidos), densidade aparente (DA) (extrusados expandidos), índice de expansão volumétrica (IEV) (extrusados não-expandidos), índice de absorção (IAA) e solubilidade em água (ISA), viscosidade de pasta. Para os extrusados expandidos a adição de casca de soja e a diminuição da temperatura da extrusora na última zona de aquecimento resultaram na redução do IER e da EME do sistema, bem como na redução do grau de cozimento, pois o IAA diminuiu com o aumento de casca de soja nas misturas. Quanto aos extrusados não expandidos, somente algumas leituras das curvas de viscosidade de pasta foram significativas ($P < 0,05$). Maior teor de casca associado ao baixo teor de umidade resultou em maior grau de cozimento dos extrusados evidenciado pelo aumento substancial da viscosidade a frio. O estudo mostrou ser viável o aproveitamento de casca de soja sob forma de farinha na obtenção de extrusados expandidos de milho em níveis de até 20%, diferentemente dos extrusados não-expandidos.

Palavras-chaves: extrusão termoplástica, subproduto, farinha mista

ABSTRACT

OLIVEIRA, Giselle Duarte. **Production of expanded and non-expanded extrudates of soybean hull and maize.** Seropédica: UFRRJ, 2007. (Dissertation, Master in Food Science and Technology, Cereal Technology).

Extrusion is a versatile and flexible cooking technique used on the development of new food products. Recently, many food products such as breakfast cereals, snacks, pellets, pastas, infant foods, instant soups, among others, are produced by this process. Food extrusion is characterized by the production of two basic types of extrudates; they are directly expanded extrudate also known as snacks and the non-directly expanded extrudates also called pellets. Although the majority of expanded extrudates found in the Brazilian market are produced from maize, non expanded extrudates are usually produced from wheat flour, which can be potentially replaced by maize flour due to its large availability and lower cost. Soybean hull, by-product of the soy processing is an excellent fiber source, which may represent an alternative for enrichment of these extruded products. The quality of extrudates products is related to their expansion, which may be affected by the effect of extrusion parameters and addition of ingredients into the formulation. The objective of this work was to develop two types of extrudates, expanded and non-expanded, from maize flour and soybean hull blends, as well as to study the effect the extrusion process and soybean hull content on their physical properties. Mixtures of flour of maize and soybean hull were processed in a single extruder. A center composite design was used and the responses with coefficient of regression higher than 0.70 was analyzed by the mathematical model of surface response methodology. For the expanded extrudates study the independent variables were temperature of the last zone of heating (100 - 200°C), screw speed (100 - 200 rpm) and soybean hull content (8 - 40%). For the non-expanded extrudates, the independent variables studied were moisture content (26.6 - 43.4%), screw speed (90 - 190 rpm) and soybean hull content (10 - 50%). Response variables were specific mechanical energy (EME), sectional expansion index (IER) (expanded extrudates), bulk density (DA) (expanded extrudates), volumetric index (IEV) (non-expanded extrudates), water absorption (IAA) and solubility indexes (ISA) and paste viscosity. Addition of soybean hull and low temperature reduced IER and EME of expanded extrudates, as well as reduced starch cooking, because IAA reduced with soybean hull content. Regarding non-expanded extrudates, only some paste viscosity readings were significant ($P < 0.05$). High soybean hull content associated to low moisture content resulted in high starch conversion indicated by substantial increase of cold viscosity value. This study showed that use of soybean hull in mixture with maize can be viable on the production of puffed extrudates up to 20%, differently to non-expanded extrudates.

Keywords: extrusion, byproduct , blended flour

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Variáveis independentes para o delineamento central composto no processo de extrusão de extrusados expandidos diretos
Tabela 2	Perfil de análise da determinação de viscosidade de pasta no RVA
Tabela 3	Variáveis independentes para o delineamento central composto no processo de extrusão de extrusados não-expandidos diretos
Tabela 4	Composição centesimal dos <i>grits</i> de milho
Tabela 5	Composição centesimal da casca de soja
Tabela 6	Composição de aminoácidos presentes na casca de soja e no <i>grits</i> de milho
Tabela 7	Resultados experimentais da energia mecânica específica (EME) obtidos da extrusão direta de uma mistura casca de soja e milho em função das variáveis velocidade de rotação (rpm), temperatura do processo (°C) e teor de casca de soja (%)
Tabela 8	Análise de variância para a variável resposta energia mecânica específica (EME) das variáveis independentes em função da velocidade de rotação (rpm), temperatura do processo (°C) e teor de casca de soja (%) do processo de extrusão de milho e casca de soja
Tabela 9	Coefficientes de regressão (Equação 1) e R^2 para energia mecânica específica (EME)
Tabela 10	Resultados experimentais do índice de expansão radial (IER) obtidos da extrusão direta de uma mistura casca de soja e milho em função das variáveis velocidade de rotação (rpm), temperatura do processo (°C) e teor de casca de soja (%)
Tabela 11	Análise de variância para a variável de resposta índice de expansão radial (IER) relativo as variáveis independentes, velocidade de rotação (rpm), temperatura do processo (°C) e teor de casca de soja (%)
Tabela 12	Coefficientes de regressão (Equação 1) e R^2 para índice de expansão radial (IER)
Tabela 13	Resultados experimentais de densidade aparente (DA) em função das variáveis velocidade de rotação (rpm), temperatura do processo (°C) e teor de casca de soja (%)
Tabela 14	Análise de variância para a variável de resposta DA relativo as variáveis independentes, velocidade de rotação (rpm), temperatura do processo (°C) e teor de casca de soja (%)
Tabela 15	Coefficientes de regressão (Equação 1) e R^2 para DA
Tabela 16	Resultados experimentais de IAA e ISA
Tabela 17	Análise de variância para a variável de resposta IAA relativo as variáveis independentes, velocidade de rotação (rpm), temperatura do processo (°C) e teor de casca de soja (%)
Tabela 18	Análise de variância para a variável de resposta ISA relativo as variáveis independentes, velocidade de rotação (rpm), temperatura do processo (°C) e teor de casca de soja (%)

Tabela 19	Coeficientes de regressão (Equação 1) e R^2 para IAA
Tabela 20	Coeficientes de regressão (Equação 1) e R^2 para ISA
Tabela 21	Resultados experimentais de viscosidade pasta
Tabela 22	Análise de variância para a variável de resposta V_{frio} relativo as variáveis independentes, velocidade de rotação (rpm), temperatura do processo ($^{\circ}C$) e teor de casca de soja (%)
Tabela 23	Coeficientes de regressão (Equação 1) e R^2 para V_{frio}
Tabela 24	Análise de variância para a variável de resposta $V_{m\acute{a}x}$ relativo as variáveis independentes, velocidade de rotação (rpm), temperatura do processo ($^{\circ}C$) e teor de casca de soja (%)
Tabela 25	Coeficientes de regressão (Equação 1) e R^2 para $V_{m\acute{a}x}$
Tabela 26	Análise de variância para a variável de resposta $V_{m\acute{i}n}$ relativo as variáveis independentes, velocidade de rotação (rpm), temperatura do processo ($^{\circ}C$) e teor de casca de soja (%)
Tabela 27	Coeficientes de regressão (Equação 1) e R^2 para $V_{m\acute{i}n}$
Tabela 28	Análise de variância para a variável de resposta V_{final} relativo as variáveis independentes, velocidade de rotação (rpm), temperatura do processo ($^{\circ}C$) e teor de casca de soja (%)
Tabela 29	Coeficientes de regressão (Equação 1) e R^2 para V_{final}
Tabela 30	Resultados experimentais da energia mecânica específica (EME) obtidos da extrusão de uma mistura casca de soja e milho em função das variáveis velocidade de rotação (rpm), teores de umidade (%) e casca de soja (%)
Tabela 31	Análise de variância para a variável de resposta EME relativo as variáveis independentes: teor da casca de soja (%), teor da umidade (%) e velocidade de rotação (rpm)
Tabela 32	Coeficientes de regressão (Equação 1) e R^2 para EME
Tabela 33	Resultados experimentais IEV não-fritos e fritos
Tabela 34	Análise de variância para a variável de resposta índice de expansão volumétrico (IEV) não-fritos relativo as variáveis independentes: teor da casca de soja (%), teor da umidade (%) e velocidade de rotação (rpm)
Tabela 35	Análise de variância para a variável de resposta índice de expansão volumétrico (IEV) fritos relativo as variáveis independentes: teor da casca de soja (%), teor da umidade (%) e velocidade de rotação (rpm)
Tabela 36	Coeficientes de regressão (Equação 1) e R^2 para IEV não-fritos
Tabela 37	Coeficientes de regressão (Equação 1) e R^2 para IEV fritos
Tabela 38	Resultados experimentais de ISA e IAA
Tabela 39	Análise de variância para a variável de resposta ISA relativo as variáveis independentes: teor da casca de soja (%), teor da umidade (%) e velocidade de rotação (rpm)
Tabela 40	Análise de variância para a variável de resposta IAA relativa as variáveis independentes: teor da casca de soja (%), teor da umidade (%) e velocidade de rotação (rpm)
Tabela 41	Coeficientes de regressão (Equação 1) e R^2 para ISA
Tabela 42	Coeficientes de regressão (Equação 1) e R^2 para IAA

Tabela 43	Resultados experimentais de viscosidade de pasta
Tabela 44	Análise de variância para a variável de resposta Vfrio relativo as variáveis independentes, velocidade de rotação (rpm), umidade (%) e teor de casca de soja (%)
Tabela 45	Coeficientes de regressão (Equação 1) e R^2 para Vfrio
Tabela 46	Análise de variância para a variável de resposta viscosidade de pasta máxima (Vmáx) no ciclo de aquecimento relativo as variáveis independentes, velocidade de rotação (rpm), umidade (%) e teor de casca de soja (%)
Tabela 47	Coeficientes de regressão (Equação 1) e R^2 para Vmáx
Tabela 48	Análise de variância para a variável de resposta viscosidade de pasta mínima (Vmín) relativo as variáveis independentes, velocidade de rotação (rpm), umidade (%) e teor de casca de soja (%)
Tabela 49	Coeficientes de regressão (Equação 1) e R^2 para Vmín
Tabela 50	Análise de variância para a variável de resposta viscosidade de pasta final (Vfinal) relativo as variáveis independentes, velocidade de rotação (rpm), umidade (%) e teor de casca de soja (%)
Tabela 51	Coeficientes de regressão (Equação 1) e R^2 para Vfinal
Tabela 52	Análise de variância para os resultados Preferência Global.
Tabela 53	Análise de variância para os resultados Textura
Tabela 54	Análise de variância para os resultados Intenção de compra

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** Diagrama Esquemático de um extrusor
- Figura 2** Fluxograma para produção de extrusados expandidos e não-expandidos diretos a partir de grits de milho e casca de soja
- Figura 3** Extrusor de rosca simples Brabender 19/20DN
- Figura 4** Determinador rápido de viscosidade de pasta (RVA)
- Figura 5** Gráfico de superfície de resposta da energia mecânica específica (EME) em função da temperatura do processo ($^{\circ}\text{C}$) e o teor de casca de soja (%).
- Figura 6** Gráfico de superfície de resposta da energia mecânica específica (EME) em função da velocidade da rotação da rosca (RPM) e o teor de casca de soja (%).
- Figura 7** Gráfico de superfície de resposta para o Índice de expansão radial (IER) em função da temperatura do processo ($^{\circ}\text{C}$) e de teor de casca de soja (%).
- Figura 8** Gráfico de superfície de resposta para a densidade aparente (DA) em função da temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e do teor de casca de soja (%).
- Figura 9** Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 13 contendo 0% de casca de soja, rotação 150 rpm e temperatura 150°C .
- Figura 10** Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 15 (ponto central) contendo 20% de casca de soja, rotação 150 rpm e temperatura 150°C .
- Figura 11** Gráfico de superfície de resposta para viscosidade de pasta a frio (V_{frio}) em função da velocidade de rotação do parafuso.
- Figura 12** Gráfico de superfície de resposta para a viscosidade de pasta máxima no ciclo de aquecimento ($V_{\text{máx}}$) em função da temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e o teor de casca de soja (%).
- Figura 13** Imagens dos extrusados não-expandidos crus (a esquerda) e fritos (a direita).
- Figura 14** Gráfico de superfície de resposta para a viscosidade de pasta máxima no ciclo de aquecimento ($V_{\text{máx}}$) em função da umidade (%) e o teor de casca de soja (%).
- Figura 15** Gráfico de superfície de resposta para a viscosidade de pasta mínima ($V_{\text{mín}}$) em função da umidade (%) e o teor de casca de soja (%).
- Figura 16** Gráfico de superfície de resposta para viscosidade de pasta final (V_{final}) em função da umidade (%) e o teor de casca de soja (%).
- Figura 17** Distribuição das médias das notas segundo Preferência Global.
- Figura 18** Distribuição das médias das notas segundo atributo Textura.
- Figura 19** Distribuição das médias das notas segundo a Intenção de compra.
- Figura 20** Imagens dos produtos extrusados expandidos de milho adicionados de diferentes concentrações de casca de soja. (A)

0% ; (B) 10% ; (C) 20% ; (D) 30% ; (E) 40%.

- Figura 21** Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 1 contendo 8% de casca de soja, rotação 120 rpm e temperatura 120°C.
- Figura 22** Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 2 contendo 32% de casca de soja, rotação 120 rpm e temperatura 120°C.
- Figura 23** Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 3 contendo 8% de casca de soja, rotação 120 rpm e temperatura 180°C.
- Figura 24** Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 4 contendo 32% de casca de soja, rotação 120 rpm e temperatura 180°C.
- Figura 25** Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 5 contendo 8% de casca de soja, rotação 180 rpm e temperatura 120°C..
- Figura 26** Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 6 contendo 32% de casca de soja, rotação 180 rpm e temperatura 120°C.
- Figura 27** Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 7 contendo 8% de casca de soja, rotação 180 rpm e temperatura 180°C.
- Figura 28** Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 8 contendo 32% de casca de soja, rotação 180 rpm e temperatura 180°C.
- Figura 29** Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 9 contendo 20% de casca de soja, rotação 100 rpm e temperatura 150°C.
- Figura 30** Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 10 contendo 20% de casca de soja, rotação 200 rpm e temperatura 150°C.
- Figura 31** Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 11 contendo 20% de casca de soja, rotação 150 rpm e temperatura 100°C.
- Figura 32** Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 12 contendo 20% de casca de soja, rotação 150 rpm e temperatura 200°C.
- Figura 33** Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 13 contendo 0% de casca de soja, rotação 150 rpm e temperatura 150°C.
- Figura 34** Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 14 contendo 40% de casca de soja, rotação 150 rpm e temperatura 150°C.
- Figura 35** Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 15 contendo 20% de casca de soja, rotação 150 rpm e temperatura 150°C.
- Figura 36** Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 16 contendo 20% de casca de soja, rotação 150 rpm e temperatura 150°C.
- Figura 37** Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 1 contendo 10% de casca de soja, umidade 30% e rotação 110 rpm.
- Figura 38** Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 2 contendo 10% de casca de soja, umidade 30% e rotação 170 rpm.
- Figura 39** Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 3 contendo 10% de casca de soja, umidade 40% e rotação 110 rpm.
- Figura 40** Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 4 contendo

- 10% de casca de soja, , umidade 40% e rotação 170 rpm.
- Figura 41** Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 5 contendo 40% de casca de soja, , umidade 30% e rotação 110 rpm.
- Figura 42** Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 6 contendo 40% de casca de soja, , umidade 30% e rotação 170 rpm.
- Figura 43** Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 7 contendo 40% de casca de soja, umidade 40% e rotação 110 rpm.
- Figura 44** Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 8 contendo 40% de casca de soja, umidade 40% e rotação 170 rpm.
- Figura 45** Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 9 contendo 0% de casca de soja, , umidade 35% e rotação 140 rpm.
- Figura 46** Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 10 contendo 50% de casca de soja, , umidade 35% e rotação 140 rpm.
- Figura 47** Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 11 contendo 25% de casca de soja, , umidade 27% e rotação 140 rpm.
- Figura 48** Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 12 contendo 25% de casca de soja, , umidade 43% e rotação 140 rpm.
- Figura 49** Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 13 contendo 25% de casca de soja, umidade 35% e rotação 89 rpm.
- Figura 50** Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 14 contendo 25% de casca de soja, , umidade 35% e rotação 190 rpm.
- Figura 51** Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 15 contendo 25% de casca de soja, , umidade 35% e rotação 140 rpm.
- Figura 52** Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 16 contendo 25% de casca de soja, , umidade 35% e rotação 140 rpm.
- Figura 53** Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 17 contendo 25% de casca de soja, , umidade 35% e rotação 140 rpm.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVOS	2
2.1	Objetivo Geral	2
2.2	Objetivos Específicos	2
3	REVISÃO DE LITERATURA	3
3.1	Soja	3
3.2	Milho	4
3.3	Amido	5
3.4	Contribuição Nutricional da Farinha Mista de Cereal e Soja	6
3.5	Processo de Extrusão Termoplástica	7
3.5.1	Produtos extrusados expandidos diretos	8
3.5.2	Produtos extrusados não–expandidos	9
3.6	Alterações Físico-químicas do Amido no Processo de Extrusão	9
3.6.1	Efeitos de outros componentes do material nas propriedades funcionais do amido	10
3.6.1.1	Proteínas	11
3.6.1.2	Fibra Alimentar	11
4	METODOLOGIA	15
4.1	Materiais	15
4.1.1	Composição centesimal das matérias-primas	15
4.2	Métodos	15
4.2.1	Farinha mista de casca de soja e milho	15
4.2.2	Obtenção e condicionamento da farinha mista	15
4.2.3	Processo de extrusão termoplástica	16
4.2.4	Preparação das amostras extrusadas para análises físico-químicas	17
4.2.5	Extrusados expandidos	17
4.2.5.1	Delineamento experimental	17
4.2.5.2	Processo de extrusão e obtenção do produto	18
4.2.5.3	Análises realizadas do processo de extrusão e extrusados	19
4.2.5.3.1	Energia mecânica específica (EME)	19
4.2.5.3.2	Índice de expansão radial (IER) e densidade aparente (DA)	19
4.2.5.3.3	Índice de solubilidade em água (ISA) e índice de absorção de água (IAA)	20
4.2.5.3.4	Viscosidade de pasta	20
4.2.6	Extrusados não-expandidos	21
4.2.6.1	Delineamento experimental	21
4.2.6.2	Processo de extrusão e obtenção dos extrusados não-expandidos diretos	22
4.2.6.3	Análises realizadas do processo de extrusão e extrusados	22
4.2.6.3.1	Índice de expansão volumétrica (IEV)	22

4.2.7	Método de análise estatística	23
4.2.8	Análise sensorial dos extrusados	23
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
5.1	Composição centesimal	25
5.1.1	<i>Grits</i> de milho	25
5.1.2	Casca de soja	25
5.2	Extrusados expandidos diretos	27
5.2.1	Energia mecânica específica (EME)	27
5.2.2	Índice de expansão radial (IER)	31
5.2.3	Densidade aparente (DA)	34
5.2.4	Índice de solubilidade em água (ISA) e Índice de absorção de água (IAA)	36
5.2.5	Viscosidade de pasta	39
5.2.5.1	Viscosidade de pasta a frio (Vfrio)	41
5.2.5.2	Viscosidade de pasta máxima à 95°C (Vmax)	43
5.2.5.3	Viscosidade de pasta mínima após 95°C (Vmín)	45
5.2.5.4	Viscosidade de pasta final (Vfinal)	46
5.3	Extrusados não-expandidos diretos	48
5.3.1	Energia mecânica específica (EME)	48
5.3.2	Índice de expansão volumétrica (IEV)	49
5.3.3	Índice de solubilidade em água (ISA) e índice de absorção de água (IAA)	54
5.3.4	Viscosidade de pasta	56
5.3.4.1	Viscosidade de pasta a frio (Vfrio)	57
5.3.4.2	Viscosidade de pasta máxima à 95°C (Vmax)	58
5.3.4.3	Viscosidade de pasta mínima após 95°C (Vmín)	60
5.3.4.4	Viscosidade de pasta final (Vfinal)	62
5.4	Análise Sensorial	63
6	CONCLUSÃO	67
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
	ANEXOS	79
	A - Gráficos de viscosidade de pasta dos extrusados expandidos	80
	B - Gráficos de viscosidade de pasta dos extrusados não-expandidos diretos	86
	C - Ficha da Análise Sensorial utilizada para os extrusados expandidos	92

1 INTRODUÇÃO

O processo de extrusão termoplástica tem sido utilizado para elaboração de uma variedade de produtos alimentícios no qual podemos destacar, os extrusados expandidos e os não-expandidos.

Os extrusados expandidos são obtidos por extrusão direta, enquanto que os não-expandidos são comercializados em pequenas placas pré-cozidas ou já fritos. A principal característica de qualidade desses produtos é o volume de expansão, o qual está intimamente ligado a crocância e conseqüentemente com a aceitabilidade pelo mercado consumidor.

Dentre os cereais, o milho é o mais utilizado na fabricação desses tipos de produtos devido ao seu baixo custo e alta expansão. O milho é rico em carboidratos e contém proteínas de baixo valor biológico por apresentar dois aminoácidos limitantes: lisina e triptofano. Daí a importância da associação deste cereal com leguminosa, pois nesta apenas o aminoácido metionina é deficiente, além de conter vitaminas, minerais e fibras alimentares como, por exemplo, a casca de soja.

A casca de soja é subproduto oriundo da industrialização do grão da soja, sendo direcionada para produção de ração animal ou simplesmente sem o devido aproveitamento. Em virtude do seu valor nutricional, a casca de soja poderia estar sendo utilizada para alimentação humana principalmente em produtos a base de cereais no qual haveria complementação mútua de aminoácidos essenciais, além de aumentar a ingestão de fibras alimentares por dia.

A adição de casca de soja em extrusados de milho tem como objetivo melhorar o aspecto nutricional dos produtos beneficiando-os das funções das fibras, os quais destacam-se: aumento do peso do bolo fecal; ação seqüestrante de sais biliares atuando no metabolismo do colesterol; excreção de gordura da dieta pelas fezes; formação de géis coloidais na parede do intestino retardando absorção de nutrientes; formação de ácidos graxos de cadeia curta e gases; o aumento da saciedade; etc. Desta forma, as fibras podem estar contribuindo na prevenção e/ou tratamento de doenças crônico-degenerativas e problemas intestinais de ordem mecânica.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver dois produtos processados por extrusão termoplástica a partir de misturas de farinha de milho e casca de soja.

O desenvolvimento destes produtos permitiu estudar o efeito da casca de soja como excelente fonte de fibra nas propriedades físicas de extrusados expandidos e não expandidos diretamente. Aspectos avaliados como energia mecânica específica do processo, expansão, densidade aparente e efeito da adição de casca na conversão do amido por ação do calor e energia de cisalhamento foram estudados, bem como o teor de umidade da mistura e velocidade de rotação da rosca utilizando o delineamento central composto rotacional e o modelo matemático de superfície de resposta. Além disso, extrusados expandidos e não expandidos diretos foram analisados por um painel sensorial de forma a avaliar as melhores condições do processo a partir dos resultados das análises físicas dos extrusados.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

- Desenvolver processos e produtos, utilizando casca de soja e milho, visando o aumento do valor nutritivo e consumo de soja.

2.2 Objetivos Específicos

- Utilizar a casca de soja na elaboração de produtos extrusados expandidos;
- Utilizar a casca de soja na elaboração de produtos extrusados não expandidos diretos;
- Avaliar as propriedades físicas dos extrusados expandidos e não expandidos de casca de soja e milho;
- Avaliar a aceitabilidade dos produtos extrusados expandidos e não expandidos de casca de soja e milho.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Soja

O aparecimento da soja remonta há mais de cinco milênios na região da Coréia e Manchúria (HAN *et al.*, 2002), porém somente a partir do século XIX esta leguminosa passou a ter importância econômica (MONTEIRO *et al.*, 2004). A soja chegou ao Brasil em 1908, a ampliação de seu cultivo ocorreu nos anos 70 com o aumento do interesse na produção e demanda internacional de óleo (BOWLES & DEMIATE, 2006).

Os E.U.A. são os maiores produtores de soja no mundo com uma produção de 65,81 milhões de toneladas em 2003, representando cerca de 34% da produção total de soja no mundo neste ano (Li *et al.*, 2005). A produção anual mundial de soja, em 2004, foi superior a 206 milhões de toneladas. O Brasil destaca-se como o segundo produtor mundial de grãos de soja, cuja comercialização é internacionalizada e a safra brasileira cresceu mais de 97% nos últimos 10 anos, sendo os Estados de Mato Grosso, Paraná e Rio Grande do Sul responsáveis por 65% da produção nacional (BOWLES & DEMIATE, 2006). Segundo IBGE no ano de 2003 a produção de soja foi superior a 51 milhões de toneladas, dos quais cerca de 70% destinado à exportação é farelo de soja e os 30% restantes são utilizados na elaboração de ração animal e uma proporção reduzida como matéria-prima industrial na forma de isolados e concentrados protéicos (GOES-FAVONI *et al.*, 2004).

Nos últimos anos, a procura e consumo por grãos de soja e seus derivados têm aumentado devido a divulgação dos benefícios à saúde atribuídos ao consumo desta leguminosa (GOES-FAVONI *et al.*, 2004; VIEIRA, CABRAL & PAULA, 1997). A soja é considerada de grande importância para nutrição humana e animal. Além disso, possui características funcionais que a tornam desejável em formulações industrializadas, estando presente em cerca de 60% dos produtos industrializados alimentícios do mercado (SOARES, LUCAS & BOAVENTURA, 2005). A soja participa da dieta humana através do consumo do próprio grão e de alimentos elaborados a partir deste, tais como tofu, miso e tempeh (GENOVESE & LAJOLO, 2001), assim como é também utilizada amplamente como fonte de óleo comestível e protéico (MONTEIRO *et al.*, 2004). O processamento da soja dá origem a diferentes matérias-primas como farinhas de soja, extratos hidrossolúveis e proteínas texturizadas que podem ser utilizadas na produção de alimentos que fazem parte da dieta ocidental (GOES-FAVONI *et al.*, 2004). Os derivados protéicos de soja, tais como farinhas desengorduradas, texturizados, concentrados e isolados protéicos, são também usados na produção de diversos alimentos industrializados, tais como produtos cárneos, produtos de panificação, molhos e sopas.(GENOVESE & LAJOLO, 2001). Além de outros produtos oriundos da maceração dos grãos da soja, uma importante etapa no processo de obtenção do “leite” de soja como, por exemplo, iogurte (VIEIRA, CABRAL & PAULA, 1997).

Sabe-se que a soja é um vegetal com elevados teores de proteína e energia, o que representa uma das melhores fontes calórico-protéicas, apresentando cerca de 17 a 20% de óleo em peso seco e 35 a 40% de proteína de boa qualidade (MENDES *et al.*, 2004 ; MONTEIRO *et al.*, 2004 ; VIEIRA, CABRAL & PAULA, 1997), embora seja deficiente em aminoácidos sulfurados, tais como metionina e cisteína (MAIA *et al.*, 2000 ; SOARES, LUCAS & BOAVENTURA, 2005). É também considerada uma boa fonte de vários minerais (ferro, zinco, magnésio, potássio, cálcio, manganês, selênio, fósforo, sódio e cobre) e vitaminas principalmente do complexo B, A e ácido fólico (FERNANDES *et al.*, 2002 ;

MONTEIRO *et al.*, 2004 ; SOARES, LUCAS & BOAVENTURA, 2005). Outro importante nutriente encontrado principalmente na casca de soja é a fibra alimentar definida como um grupo de substâncias oriundas principalmente de plantas (AGGETT *et al.*, 2003) resistentes à ação das enzimas digestivas humanas (MATTOS & MARTINS, 2000). A soja, ao contrário do que se pensava, possui quantidade apreciável de polissacarídeos não-amiláceos na forma de pectinas, hemiceluloses e oligossacarídeos (rafinose e estaquiose) (GARCIA *et al.*, 2000).

A casca de soja, um subproduto obtido da industrialização da soja, é uma película que reveste o grão, e consiste de uma fonte rica em fibra de baixa lignificação, com um teor de proteína bruta de cerca de 12% e um teor de fibra bruta ao redor de 36%, constituindo 7 a 8% do peso do grão (GENTILINI *et al.*, 2004 ; RESTLE *et al.*, 2004). Como a maioria dos subprodutos e/ou resíduos do processamento agroindustrial, a casca de soja tem sido usada na alimentação animal sob forma de farelo de soja. Subprodutos, identificados principalmente como casca, bagaço ou polpa residual de alimentos (RAUPP *et al.*, 1999), em virtude do valor nutritivo podem ser utilizados para alimentação humana como ingrediente para elaboração de pães, biscoitos, bolos, *cookies* e *snacks* (SILVA, SILVA & CHANG, 1998 ; SILVA *et al.*, 2001), dando assim a esses produtos maior valor agregado (LEONEL, CEREDA & ROAU, 1999).

3.2 Milho

O milho (*Zea mays* L.) é uma planta herbácea da família das gramíneas, utilizado desde a antiguidade na alimentação humana e animal (PEREIRA *et al.*, 1998)

O milho é um dos três cereais mais consumidos no mundo (ROCHA *et al.*, 2003). A cultura do milho é de grande importância para o Brasil (VIANA & POTENZA, 2000), considerado o terceiro maior produtor de milho no mundo, onde anualmente são plantados cerca de 13 milhões de hectares com mais de 30 milhões de toneladas de grãos produzidos (ROCHA *et al.*, 2003 ; TORO *et al.*, 2003 ; VIANA & POTENZA, 2000). Além de fatores culturais, o consumo do milho em países com predomínio de grupos com baixa renda está relacionado também a fatores econômicos, provavelmente devido às facilidades de plantio, armazenamento, transporte e produtividade à baixo custo (PEREIRA *et al.*, 1998).

Dentre os produtos encontrados no mercado tem-se a farinha de milho, que é muito utilizada na culinária brasileira em várias formas e o seu sabor é muito bem aceito pelos consumidores (ALVIM, SGARBIERI & CHANG, 2002). Além disso, são produzidos cerca de 22,5 milhões de toneladas de amido, 2,6 milhões de toneladas de proteínas e 1,2 milhões de toneladas de óleo fornecidos por esse cereal, o que corresponde aproximadamente 19% do total das calorias e 15% das proteínas de origem vegetal fornecidas pelos alimentos (ROCHA *et al.*, 2003).

Do ponto de vista nutricional, o milho apresenta como conteúdo energético, o amido que representa cerca de 70 a 80% de seu peso seco, compreendendo uma mistura de amilose (22 a 28%) e amilopectina (72 a 78%), formando um complexo altamente organizado (FURLAN *et al.*, 2003).

As principais fontes de proteínas nas plantas são grãos de legumes e cereais. Entre os cereais, o milho e o arroz representam a base da alimentação para a maior parte da população de países da América Latina, África e Ásia (PEREIRA *et al.*, 1998 ; TORO *et al.*, 2003). Embora, o milho seja relativamente pobre em termos de qualidade de proteína, devido a quantidade limitada de dois aminoácidos essenciais: lisina e triptofano (ALVIM, SGARBIERI & CHANG, 2002 ; ROCHA *et al.*, 2003 ; TORO *et al.*, 2003), apresenta excesso de leucina (ROCHA *et al.*, 2003). Aminoácidos essenciais são aqueles que o organismo não consegue sintetizar, necessitando ingeri-los através da dieta (PEREIRA *et al.*, 1998). As proteínas presentes no endosperma do milho podem ser classificadas baseadas na

sua solubilidade como albuminas, globulinas, prolaminas (também chamadas de zeínas) e glutelinas. As zeínas são as mais abundantes das proteínas, representando 60% ou mais, da proteína total contida no endosperma do milho (TORO *et al.*, 2003).

Devido a proteína do milho ser de baixíssima qualidade e pela escassez de produtos protéicos de baixo custo e alto valor nutritivo, tem havido uma busca permanente de novas fontes de proteína que atendam aos quesitos de baixo custo de produção e alto valor protéico (ALVIM, SGARBIERI & CHANG, 2002). Uma das alternativas para obter isso é através de associações leguminosas / cereais.

3.3 Amido

O amido é o principal material de reserva do reino vegetal obtido a partir de fontes renováveis (SOUZA & ANDRADE, 2000) e a principal fonte de carboidratos disponível para a alimentação humana, fornecendo de 70 a 80% das calorias consumidas pelo homem. Os depósitos permanentes do amido nas plantas ocorrem nos órgãos de reserva como é o caso de grãos em cereais (milho, arroz), tubérculos e raízes (batata e mandioca) (ALVES & GROSSMANN, 2002; BUTARELO *et al.*, 2004; LEONEL & CEREDA, 2002).

As indústrias alimentícias são as maiores consumidoras de amido e, em menor escala, indústrias farmacêuticas e têxteis (LEONEL & CEREDA, 2002; SILVA *et al.*, 2004).

O emprego industrial do amido se deve à sua característica única de poder ser usado diretamente na forma de grânulos, intumescidos ou dispersos, como filme obtido da secagem de uma dispersão ou após extrusão, depois da conversão a uma mistura de oligossacarídeos ou a glucose, que pode ser isomerizada enzimaticamente para frutose. Dependendo do tipo, o amido pode, entre outras funções, facilitar o processamento, servir como espessante em sopas, caldos e molhos de carne, fornecer sólidos em suspensão e textura, ser ligante em embutidos de carne, estabilizante em molhos de salada, ou ainda proteger os alimentos durante o processamento (SILVA *et al.*, 2006).

Para o melhor entendimento das propriedades funcionais, os estudos de estrutura dos grânulos de amido são de fundamental importância (FRANCO & CIACCO, 1997). O amido encontra-se na forma de grânulos, os quais são constituídos de dois polissacarídeos: a amilopectina, mais insolúvel, com cadeias longas e essencialmente lineares de D-glicose α -1-4, com ramificações α -1-6; e a amilose, que é uma molécula com cadeias longas e lineares de D-glicose com ligações α -1-4. (SOUZA & ANDRADE, 2000; TEIXEIRA *et al.*, 1998; VELOSO *et al.*, 2005). Ambas moléculas são formadas por unidades constitucionais repetitivas de α -D-glicose e possuem massa molar elevada (SILVA *et al.*, 2004).

Os grânulos de amido apresentam birrefringência quando observados em microscópio óptico sob luz polarizada, o que indica um certo grau de organização molecular (SOUZA & ANDRADE, 2000). O interior dos grânulos de amido é composto de regiões cristalinas e amorfas alternadas (OTUTUMI *et al.*, 2005). A parte linear das moléculas de amilopectina forma estruturas helicoidais duplas, estabilizadas por pontes de hidrogênio entre grupamentos hidroxila. São elas que dão origem às regiões cristalinas dos grânulos. A região amorfa é composta pelas cadeias de amilose e pelas ramificações da amilopectina (SOUZA & ANDRADE, 2000).

Uma das propriedades mais importantes do amido é a gomificação, que possibilita absorção, no aquecimento, de até 2,5 mil vezes seu peso em água (SILVA *et al.*, 2006).

O amido em presença de calor e excesso de água sob agitação ocorre a ruptura da cristalinidade. Isto acontece durante o processo de formação de gel que consiste no aquecimento de uma suspensão de amido-água. Neste momento o grânulo de amido absorve água e entumece irreversivelmente (MUNHOZ, WEBER & CHANG, 2004), e o torna muito sensível a estresses mecânico e térmico ou, à acidez do meio, adquirindo tamanho maior que o

original (SILVA *et al.*, 2006). Após este fenômeno, quando a temperatura é reduzida ao ambiente, ocorre um rearranjo das moléculas por ligações de hidrogênio, fator que favorece a recristalização - a retrogradação (MUNHOZ, WEBER & CHANG, 2004), ou seja, uma vez resfriado, ou ainda, congelado, os polímeros de amido nativo se reagrupam, liberando água e danificando o gel formado (SILVA *et al.*, 2006). A retrogradação do amido é um fenômeno caracterizado pela reconstrução de uma estrutura mais rígida devido às cadeias de amilose ficarem mais disponíveis para se rearranjarem durante o *shelf-life* (vida-de-prateleira) do produto alimentício, resultando em maior perda de água do sistema e endurecimento do produto final (MUNHOZ, WEBER & CHANG, 2004).

As pastas de amidos de milho, trigo ou arroz, que contêm teores relativamente elevados de amilose, se tornam opacas e formam géis durante o resfriamento. Pastas obtidas de féculas de batata ou de mandioca, por outro lado, geralmente permanecem mais claras (menos opacas) e, embora ao resfriarem apresentem um certo aumento de viscosidade, não chegam a formar géis opacos (SILVA *et al.*, 2006).

Todos esses efeitos irreversíveis das propriedades do amido ocasionados pelo colapso da ordenação granular, quando submetidos em excesso de água sob agitação, são denominados abaixo :

- inchamento dos grânulos;
- fusão cristalina;
- perda da birrefringência;
- rompimento dos grânulos com a liberação da amilose;
- aumento da viscosidade da suspensão (SILVA *et al.*, 2004).

3.4 Contribuição Nutricional da Farinha Mista de Cereal e Soja

A idéia de produção de farinhas compostas no campo de panificação e confeitaria não é nova. A viabilidade técnica e econômica do uso de farinhas mistas em alimentos também já foram amplamente demonstradas e empregadas na indústria. No Brasil, alguns programas de produção de alimentos formulados têm surgido na procura de substituir a proteína de origem animal da dieta - ou reduzir a quantidade de sua fonte - por fontes de origem vegetal, uma vez que estas apresentam custos mais baixos. Os derivados protéicos da soja e do milho têm sido muito usados na suplementação ou em substituição parcial da farinha de trigo para a obtenção de produtos como pão, biscoito e macarrão (GUILHERME & JOKL, 2005).

Alguns estudos têm demonstrado os benefícios da combinação de cereais com leguminosas. Dos cereais mais usados em fortificação com soja destacam-se o arroz, o trigo e o milho.

A soja tem sido reconhecida como excelente fonte de proteína para fortificar produtos de cereais devido à complementação mútua de aminoácidos e do aumento no teor de proteínas totais (FERNANDES *et al.*, 2001 ; WANG *et al.*, 1999 ; WANG *et al.*, 2001a; WANG *et al.*, 2002). Dependendo das proporções, a soja é eficiente não somente para melhorar o perfil protéico, assim como aumentar os teores de minerais: fósforo, cálcio, potássio, magnésio, ferro, cobre e zinco (WANG *et al.*, 2001b).

O enriquecimento de soja tem sido utilizado em produtos como massa alimentícia produzida a partir de farinha de trigo, de alto valor calórico, porém de baixa qualidade protéica em virtude da deficiência em lisina e do baixo conteúdo de proteína (OLIVEIRA *et al.*, 2004). O desenvolvimento de produtos instantâneos - a base de mistura de arroz e soja - possui algumas vantagens, tais como: proteínas de boa qualidade; de baixo custo; facilidade de preparo e longa vida de prateleira (MAIA *et al.*, 2000). A mistura de milho e soja processada por extrusão, tem sido estudada por vários autores (FERNANDES *et al.*, 2002; FERNANDES *et al.*, 2003).

O interesse em produzir alimentos contendo proteína de boa qualidade tem aumentado notavelmente em países latino-americanos, uma vez que esta medida constitui uma provável solução para o problema de desnutrição encontrada em crianças de baixa classe socioeconômica (WANG *et al.*, 1999).

O enriquecimento de produtos convencionais de leguminosas com os derivados de cereais, os quais são largamente disponíveis e de boa aceitação pela população, é o caminho mais curto e mais econômico para se oferecer à população alimentos nutritivos a um custo competitivo com seus similares no mercado (ALVIM, SGARBIERI & CHANG, 2002).

3.5 Processo de Extrusão Termoplástica

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 extrusado 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, 2005) (Figura 1).

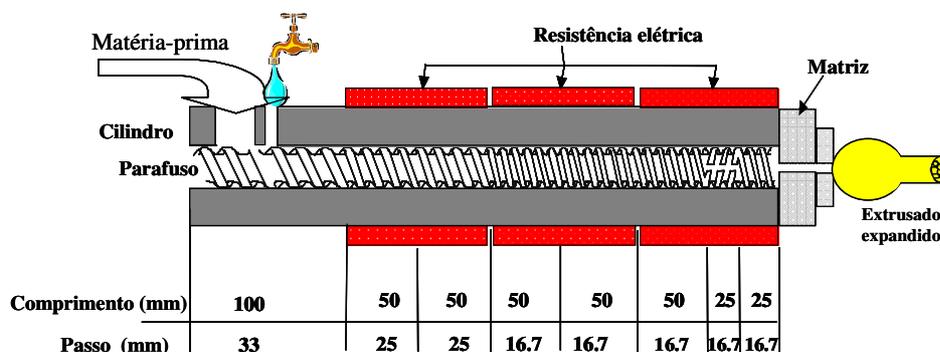


Figura 1. Diagrama Esquemático de um extrusor.

O processo de extrusão termoplástica, uma técnica de processamento de alimentos caracterizada por sua versatilidade, tem proporcionado numerosas aplicações e (CHANG *et al.*, 1999; FERNANDES *et al.*, 2003), começou a ser utilizada com maior intensidade pouco mais de duas décadas. Isso ocorreu devido principalmente ao aumento da demanda por produtos alimentícios de conveniência (GUHA, ALI & BHATTACHARYA, 1998), estes tais como petiscos; macarrões; alimentos à base de cereais enriquecidos com proteína; bebidas em pó; produtos texturizados em geral como farinhas e amidos pré-gelatinizados utilizados na formulação de sopas instantâneas; molhos semi-processados; produtos de confeitaria; amidos modificados; alimentos infantis; alimentos para animais de estimação (*pet foods*); cereais matinais e *snacks*, (ALVIM, SGARBIERI & CHANG, 2002; CHANG *et al.*, 1999; FERNANDES *et al.*, 2003), sendo estes dois últimos são extremamente apreciados por crianças, apesar de um limitado número de produtos (CARDOSO *et al.*, 2003). Estes alimentos são exemplos de produtos obtidos por este processo, sendo largamente adotado pela indústria (FERNANDES *et al.*, 2003).

O processo de extrusão, além de apresentar benefícios de um processo térmico convencional, é rápido e oferece as possibilidades de modificar estruturas do amido e proteínas, tais como: gelatinização e fragmentação do amido, desnaturação de proteínas e interações entre seus produtos (OLIVEIRA *et al.*, 2004). Estas modificações podem melhorar as propriedades sensoriais, assim como a digestibilidade dos mesmos (FURLAN *et al.*, 2003).

O processo de extrusão foi o primeiro a relatar a utilização de farinha de soja comestível nos anos 60. Muitos resultados de pesquisas mostraram as influências da extrusão nas propriedades nutricionais e sensoriais, e os efeitos na complementação de soja/arroz e soja/milho. Embora a extrusão seja um processo térmico, o tempo curto de retenção do material e a alta temperatura do extrusor, ajudam a minimizar os riscos das influências térmicas sob o valor nutricional desses produtos (LI *et al.*, 2005). Os produtos extrusados de soja têm sido usados para melhorar a qualidade nutricional, aceitabilidade e estabilidade de alimentos à base de milho (FERNANDES *et al.*, 2002 ; LI *et al.*, 2005).

Os extrusores modernos utilizam alta temperatura em um curto tempo de processamento e têm a habilidade de misturar, amassar, cortar, cozinhar, formar e inchar os extrusados (CHANG *et al.*, 1999). O processo empurra a matéria-prima, a passar através de um molde, em condições de mistura, aquecimento, pressão e fricção os quais levam à gelatinização do amido e à desnaturação de proteínas. Na saída do equipamento ocorre rápida evaporação da água superaquecida presente, que atravessa o material, reorganizando as moléculas desnaturadas, formando uma rede supramolecular e gerando uma série de produtos estruturados prontos para o consumo ou ainda ingredientes com largo emprego na indústria de alimentos (CAPRILES & ARÊAS, 2005).

3.5.1 Produtos extrusados expandidos diretos

A elaboração de produtos expandidos por meio de extrusão tem crescido notavelmente nos últimos anos (FERNANDES *et al.*, 2002).

Tradicionalmente produtos expandidos são elaborados por extrusão direta a partir de grits de milho e representam um grande volume dos *snacks* disponíveis no mercado (ASCHELI *et al.*, 2003b; CAPRILES & ARÊAS, 2005). O processo de obtenção de produtos extrusados expandidos diretos é caracterizado por submeter a matéria-prima a um severo tratamento termomecânico, caracterizado por alta pressão, intenso esforço de corte ou cisalhamento com teores de umidade reduzidos (14-17%) (ASCHELI *et al.*, 2003c) e alta temperatura (>100°C). Os produtos resultantes caracterizam-se por apresentar alta porosidade, os quais após secagem apresentam-se com textura crocante e agradável (CARVALHO *et al.*, 2003). Para se tornarem mais palatáveis e aceitáveis para o consumo estes produtos são aromatizados. Geralmente o aroma e o sabor são fixados por meio de veículo lipídico, normalmente gordura vegetal hidrogenada quimicamente estável, com elevado índice de gordura saturada e de ácidos graxos *trans* em sua composição (CAPRILES & ARÊAS, 2005).

Como foi dito anteriormente, o grits de milho é a principal matéria-prima na produção de expandidos (ASCHELI *et al.*, 2003), entretanto existem outras alternativas que possibilitariam a agregação de valor para farinhas de diferentes fontes (ALVES & GROSSMANN, 2002), seja como substituto do milho ou como ingrediente a ser adicionado à formulação (ASCHELI *et al.*, 2003). Dentre elas pode-se citar: amaranto, arroz, mandioca, cará, açúcar, soja, entre outros.

Os extrusados expandidos diretos podem ser consumidos seguindo os mesmos hábitos de consumo dos equivalentes presentes nas prateleiras dos supermercados (ASCHELI *et al.*, 2003d). Os extrusados formulados com açúcar, produtos de conveniência para consumo a qualquer hora, podem ser utilizados no café da manhã como cereal matinal quando adicionados ao leite e/ou frutas. (CARVALHO *et al.*, 2003; ASCHELI *et al.*, 2003d). Se forem moídos, podem obter uma farinha pré-gelatinizada a qual pode ser utilizada na elaboração de mingaus instantâneos infantis, formulados para pudins e bebidas lácteas. (CARVALHO *et al.*, 2003; ASCHELI *et al.*, 2003a; ASCHELI *et al.*, 2003b; ASCHELI *et al.*, 2003c).

3.5.2 Produtos extrusados não-expandidos

Também chamados de *snacks* de terceira geração ou *half-products* (produto intermediário), os extrusados não-expandidos diretos são produtos de conveniência, para consumo a qualquer hora (ASCHERI *et al.*, 2004) e comumente produzidos pela indústria nacional que utiliza a farinha de trigo e a tecnologia de extrusão (ASCHERI & NASCIMENTO, 1999) sob baixa pressão para impedir que o produto se expanda. Em seguida é secado até a uma umidade final de aproximadamente 10% obtendo uma forma de pequenas placas (RIAZ & LUSAS, 1996).

Esses produtos são comercializados para cerca de 17 países no mundo (RIAZ & LUSAS, 1996). No Brasil existem várias indústrias processadoras de extrusados não expandidos cujo mercado é encontrado, principalmente nas regiões Sudeste, Centro-oeste e Sul do país (ASCHERI *et al.*, 2004). Eles produtos podem ser comercializados na forma não expandida e já expandida. Os extrusados não-expandidos diretos podem ser expandidos por fritura em óleo quente a 180°C, fritos em pequenos centros de distribuição ou restaurantes para o consumo imediato, (ASCHERI & NASCIMENTO, 1999; RIAZ & LUSAS, 1996; SRIBURI & HILL, 2000) ou são embalados para posterior comercialização e consumo (ASCHERI *et al.*, 2004). Vale ressaltar que após o processo de fritura o período de armazenamento fica reduzido (ASCHERI & NASCIMENTO, 1999).

Existem variações para expandir os extrusados não expandidos diretos usando aquecimento por infravermelho, ar quente ou microondas. O uso de sistemas de ar quente reduz a absorção de gordura pelos extrusados não expandidos diretos que ocorre ao fritar e permite que uma adição controlada de óleo seja feita para fixação do sabor. A eliminação de óleo para fritura reduziria a não ingestão de óleo e/ou gordura, bem como as calorias do produto, o que permitiria uma abertura de *marketing* como *lights*, o que chamaria o interesse dos consumidores pelos benefícios à saúde (RIAZ & LUSAS, 1996).

Os extrusados não-expandidos diretos apresentam diversas vantagens :

- não ocupam grandes volumes de espaço nem nos armazéns nem durante o transporte;
 - a vida-de-prateleira pode alcançar até 18 meses devido à sua baixa umidade e atividade de água permitindo seu armazenamento por longo período de tempo sem deterioração microbiana;
 - o produto pode ser elaborado utilizando subprodutos da indústria de beneficiamento do arroz e de casca de soja, promovendo maior valor agregado;
- (ASCHERI *et al.*, 2004; ASCHERI & NASCIMENTO, 1999; RIAZ & LUSAS, 1996)

3.6 Alterações Físico-químicas do Amido no Processo de Extrusão

A extrusão do amido parece ser um processo tecnológico simples, mas o controle das características finais do produto é muito complicado. Isto se deve principalmente a complexidade do alimento “in natura” e ao grande número de variáveis envolvidas no processo (GUHA, ALI & BHATTACHARYA, 1998).

A qualidade do amido e produtos alimentícios a base de amido são influenciadas pela temperatura, corte e umidade do produto enquanto está sendo processado. Dentre as alterações físico-químicas que podem ocorrer no processamento do amido está a viscosidade de pasta, na qual a sua propriedade é avaliada através do Analisador Rápido de Viscosidade (RVA) e tem sido usada em estudos com amidos crus e produtos extrusados (BECKER, HILL & MITCHELL, 2001).

O cozimento de fontes de amido pelo processo de extrusão tem sido largamente investigado há mais de 10 anos (CHANG & EL-DASH, 2003). O processamento por extrusão provoca transformações físicas benéficas nos grânulos de amido melhorando sua

digestibilidade, tornando-os mais susceptíveis à degradação enzimática (FURLAN *et al.*, 2003)

Durante o processo de extrusão, o amido experimenta uma complicada história térmica. No trajeto inicial da extrusora, as partículas sólidas do amido, quando aquecidas e em presença de pequenas quantidades de água, sofrem o fenômeno de fusão indicado pelo rompimento dos grânulos (SOUZA & ANDRADE, 2000). Na região intermediária da extrusora, a temperatura do polímero fundido é aumentada até um nível considerável acima do ponto de fusão, enquanto as partículas sólidas remanescentes continuam sendo aquecidas até a sua completa fusão. Na região final da extrusora, o polímero fundido tem que alcançar um estado termicamente homogêneo. Quando o material deixa a extrusora ele é, então, resfriado normalmente até à temperatura ambiente. Pode-se concluir, portanto, que o conhecimento das propriedades térmicas dos amidos é crucial na descrição e análise do processo de extrusão (SANTOS *et al.*, 2003).

A principal consequência do tipo de tratamento térmico do amido com alto teor de umidade é a conversão do amido a que durante a extrusão tem sido documentada, mas é somente considerada em termos de alterações térmica e mecânica (SRIBURI & HILL, 2000), a qual depende de um número de variáveis da extrusora e dos parâmetros de controle do material cru (CHANG & EL-DASH, 2003). Os parâmetros mais importantes que influenciam a conversão do amido são:

- umidade do material a ser processado;
- perfil de temperatura no interior da extrusora;
- taxa de alimentação;
- velocidade de rotação do parafuso;
- configuração do parafuso;
- meio químico (SRIBURI & HILL, 2000).

O termo conversão do amido tem sido usado para descrever as mudanças contínuas que ocorrem no grânulo do amido original à moléculas despolimerizadas do amido, sendo que essa despolimerização ocorre, na maioria das vezes, por uma ação mecânica (SRIBURI & HILL, 2000). Durante conversão do amido, o principal efeito do tratamento termomecânico, é a ruptura da estrutura granular do amido (CHANG, MARTINEZ-BUSTOS & LARA, 1998; TANG & DING, 1994) e depende da severidade do processo sobre as cadeias da amilose e amilopectina (SRIBURI & HILL, 2000). A destruição parcial ou completa da estrutura do grânulo do amido pode ser observada pela difração de raios-X (CHANG, MARTINEZ-BUSTOS & LARA, 1998; TANG & DING, 1994). A estrutura cristalina formada como resultado de um processo severo de extrusão, denominada “cristalinidade de extrusão”, tem sido atribuída à formação do complexo lipídio-amilose (OWUSU-ANSAH, VAN DE VOORT & STANLEY, 1982). Para obtenção de um termoplástico à base de amido, sua estrutura granular precisa ser destruída para dar origem a uma matriz polimérica homogênea e essencialmente amorfa. (SOUZA & ANDRADE, 2000).

Estas alterações físico-químicas estão relacionadas ao efeito da interação do amido com a umidade do material, associado à energia mecânica e térmica gerada durante o processo de extrusão, conferindo ao produto final características típicas como alta expansão e crocância, muito apreciadas pelo consumidor (SILVA *et al.*, 2004).

3.6.1 Efeitos de outros componentes do material nas propriedades funcionais do amido

O amido é o componente mais abundante na maioria dos alimentos sendo responsável pelas propriedades tecnológicas que caracterizam grande parte dos produtos processados (TEIXEIRA *et al.*, 1998), entretanto esses alimentos apresentam outros nutrientes: proteínas, lipídios e fibras alimentares, que irão influenciar nas características do produto final.

Não somente os parâmetros do processo de extrusão, que são: umidade do material cru; temperatura do extrusor; velocidade de rotação e o tempo de residência do material no interior dele, determinarão o resultado final do produto (BHANDARI, D'ARCY & YOUNG, 2000), mas também como as interações dos componentes presentes no material.

3.6.1.1 Proteínas

O interesse da indústria de alimentos por produtos desenvolvidos a partir de ingredientes protéicos, não se deve somente às suas características nutricionais, senão também às suas propriedades funcionais, as quais definem as suas aplicações comerciais. O conhecimento das propriedades funcionais não é importante só para determinar a qualidade de um produto final, mas também para delinear e otimizar processos (MAIA *et al.*, 1999)

Alguns estudos mostram que o efeito da proteína foi negativamente correlacionado com a expansão, porém este efeito depende tanto do tipo como do conteúdo de proteína (FERNANDES *et al.*, 2002). A adição de proteínas a farinhas ricas em amido muda seu comportamento: os produtos expandem-se menos e são mais densos, mais resistentes à ruptura por água e, de maneira geral, menos apropriados para o consumo direto, como por exemplo, os extrusados expandidos diretos. Além disso, necessitam de hidratação e são, geralmente, reduzidos previamente à material em pó, que têm utilidade como ingrediente funcional (ORDÓÑEZ & COL., 2005).

Ao contrário, os materiais ricos em proteína têm grande diversidade de monômeros e de interações possíveis, tanto entre as moléculas de proteína como entre as proteínas e outras moléculas. Normalmente, não há transição tão clara a uma fase fundida, e a expansão do produto é mais imprevisível. Considera-se que as proteínas sofrem as seguintes transformações durante o processo de extrusão: a desagregação da farinha pela mistura mecânica, a formação de uma suspensão homogênea com a desnaturação simultânea das proteínas, o alinhamento dessas proteínas desnaturadas na direção do fluxo e, finalmente, seu entrecruzamento na saída da placa perfurada (ORDÓÑEZ & COL., 2005).

3.6.1.2 Fibra alimentar

As indústrias de alimentos têm suplementado nutricionalmente uma variedade de produtos com vísceras e partes não-comestíveis de cereais e leguminosas. Geralmente, estes subprodutos são rejeitados pelo sabor não agradável e por não participarem da dieta habitual do indivíduo (CHÁVEZ-JÁUREGUI, 2003). Os subprodutos são identificados como cascas, bagaços ou polpas residuais de alimentos (RAUPP *et al.*, 1999). Os subprodutos originados de processamentos nas indústrias têm potencial de uso, na maioria dos casos, com reduções nos custos da produção. Além do fator econômico, eles surgem também como uma alternativa viável do ponto de vista nutricional (SILVA *et al.* 2005).

Alguns subprodutos apresentam extensa pesquisa sobre sua utilização, como o caso do farelo de soja e da polpa cítrica peletizada. Diversos resíduos, entretanto, ainda carecem de estudos para que possam ser empregados em larga escala e tenham minimizado seu efeito poluente (FREITAS *et al.*, 2002). Estudos mostram que esses resíduos são ricos em fibra alimentar, o que poderia contribuir para aumentar o valor nutritivo de produtos alimentícios, porém geralmente são descartados ou direcionados para produção de ração animal.

As fibras alimentares são um complexo heterogêneo, grupo de substâncias oriundas de parte de plantas ou carboidratos análogos (AGGETT *et al.*, 2003; ESPOSITO *et al.*, 2005) resistentes à ação das enzimas digestivas humanas (MATTOS & MARTINS, 2000) e a absorção no intestino com sua fermentação parcial ou completa no cólon intestinal (ESPOSITO *et al.*, 2005).

As fibras alimentares são classificadas em duas frações de acordo com a solubilidade de seus componentes na água (MATTOS & MARTINS, 2000). A fração insolúvel contém principalmente celulose, lignina e algumas hemiceluloses; a fração solúvel compreende principalmente pectinas, algumas hemiceluloses, gomas e mucilagens (FRIAS & SGARBIERI, 1998; ESPOSITO *et al.*, 2005).

O interesse pela fibra alimentar foi despertado, na década de 70, quando estudos epidemiológicos mostraram uma alta incidência de doenças comuns em sociedades industrializadas e ao mesmo tempo alimentação em que a dessa população era deficiente em fibra (WANG, CABRAL & FERNANDES, 1997).

As fibras alimentares são importantes constituintes da dieta, e em adultos, a ingestão inadequada de algumas fibras tem sido considerada patogênese de certos distúrbios gastrointestinais, como constipação, síndrome do intestino irritável, doença diverticular e câncer colorretal. A inclusão de fibras alimentares na dieta está associada com baixa prevalência de algumas tais como hipercolesterolemia, obesidade, diabetes mellitus e doença coronariana (AGGETT *et al.*, 2003).

As propriedades físico-químicas das frações das fibras alimentares produzem diferentes efeitos fisiológicos no organismo (MATTOS & MARTINS, 2000). As fibras solúveis em contato com a água incham no intestino, e podem aumentar a viscosidade de conteúdos gastrointestinais e desse modo atrasar a taxa do esvaziamento gástrico e a digestão, assim como, retarda o trânsito intestinal e conseqüentemente a absorção de nutrientes (AGGETT *et al.*, 2003) tais como a glicose. A alteração na velocidade de difusão da glicose é devida a formação de gel no lúmen intestinal ou então pode alterar a estrutura da mucosa intestinal com rarefação das criptas e vilosidades da mucosa intestinal e, assim, aumentar a produção de mucina que atua como uma barreira à absorção de glicose (DERIVI *et al.*, 2002). Além disso, pode também aumentar a eliminação fecal de gordura e nitrogênio. As fibras solúveis são usualmente fermentadas em todo intestino, no qual reduz o impacto no volume e na maciez das fezes, facilitando a degradação microbiana (AGGETT *et al.*, 2003). A fermentação no cólon intestinal, ocasionado pela microflora presente, causa a produção de ácidos graxos de cadeia curta (acetato, butirato e propionato) e gases. Estes ácidos graxos têm sido relacionados à redução do colesterol sérico e diminuição do risco de câncer (JONES, 2002).

As fibras solúveis podem alterar a digestão e a absorção dos lipídeos dietéticos e/ou aumentar a excreção fecal dos ácidos biliares e esteróis neutros, agindo como sequestrantes dos ácidos biliares; podem também aumentar a produção de ácidos graxos de cadeia curta no cólon, devido à fermentação e/ou diminuir a porcentagem de ácidos biliares primários na bile, embora aumentem a de ácidos biliares secundários. As fibras solúveis se complexam com os ácidos biliares no intestino delgado e são resgatados no cólon, e, aí, convertidos por bactérias em ácidos biliares secundários. Também ocorre aumento na síntese do colesterol hepático devido à regulação da homeostase do colesterol corporal total (FIETZ & SALGADO, 1999). Isso acontece não por fatores dietéticos, e sim devido ao fator genético, no qual o indivíduo muitas vezes faz uma dieta hipocolesterolêmica e o organismo responde com uma redução ínfima, ou sem redução alguma, ou, às vezes, com um aumento no colesterol sanguíneo (OLIVEIRA, 2004). Os mecanismos envolvidos na redução do colesterol circulante ainda não foram bem elucidados (FRIAS & SGARBIERI, 1998).

O principal mecanismo da ação das fibras solúveis no decréscimo da hiperglicemia pós-prandial está relacionado com a viscosidade dessas fibras alimentares (BRENELLI, CAMPOS & SAAD, 1997). As dietas ricas em fibras solúveis promovem um aumento na viscosidade do conteúdo intestinal, pois elas se ligam a moléculas de água e assim têm a propriedade de formar géis coloidais. Esta propriedade faz com que o alimento diminua o

contato com a mucosa intestinal, e taxa da digestão enzimática, conseqüentemente, reduz a absorção intestinal de monossacarídeos e dissacarídeos (FRIAS & SGARBIERI, 1998).

As fibras insolúveis têm uma ação física no intestino, tais como: estimular os movimentos peristálticos, diminuir o tempo de trânsito intestinal, aumentar o volume do bolo fecal e assim, tornam a eliminação fecal mais fácil e rápida, além de serem mais resistentes à fermentação no cólon (MATTOS & MARTINS, 2000). Estas ações tendem evitar constipação, reduzir a diverticulose e incidência de câncer de cólon (FRIAS & SGARBIERI, 1998).

A ingestão de fibras alimentares, encontradas principalmente em cereais integrais, leguminosas e frutas, é um meio de prevenção dessas doenças (FIETZ & SALGADO, 1999). O Instituto Nacional do Câncer da Califórnia tem defendido desde 1995, uma ingestão de fibra dietética de 20 a 30 g/dia, com um nível superior à 35g/dia, para fontes variadas como vegetais, frutas e todos os tipos de grãos (MCELIGOT *et al.*, 2002). Isto inclui aproximadamente 25% de fibras solúveis e 75% de insolúveis (AGGETT *et al.*, 2003).

A fibra alimentar pode reduzir a excessiva ingestão de densidade energética, doces, comidas ricas em gorduras, bebidas alcoólicas e conseqüentemente o risco associado à obesidade e doenças crônico-degenerativas (OLIVEIRA, 2004). No estômago, a fibra alimentar aumenta o volume dos alimentos ingeridos e o tempo da performance gástrica, isso ocorre principalmente pelo aumento da viscosidade dos conteúdos gástricos, atrasando, desta forma, o esvaziamento gástrico e reduzindo a proporção da absorção de alimentos ricos em carboidratos pelo intestino delgado, e assim reduzindo os níveis de glicose séricos (LARREA, CHANG & MARTÍNEZ BUSTOS, 2005).

Desta forma, a industrialização de subprodutos é viável, também, sob o ponto de vista tecnológico e econômico, mas é recomendável, sobretudo com relação ao aspecto ambiental. Essa inovação, além de resolver o problema da poluição ambiental, poderia incrementar o rendimento em fecularias, indústrias de sucos de frutas e outras indústrias de alimentos e colocaria à disposição do mercado consumidor de alimentos, produtos alimentícios ricos em fibras alimentares de grande importância não só para indivíduos propensos a terem problemas relacionados com o funcionamento do aparelho digestivo (RAUPP *et al.*, 1999) ou doenças crônico-degenerativas, mas também, para aqueles que têm a preocupação com hábitos de vida saudáveis (SILVA *et al.*, 2001). Apesar de todas essas preocupações, enquanto a comunidade científica não responder satisfatoriamente aos anseios destas indústrias, estes produtos continuam a ser considerados, embora quantitativamente relevantes, apenas como resíduos, ou seja, produtos sem valor econômico (RAUPP *et al.*, 2000).

Apesar disso, o interesse nutricional em fibras alimentares coincide com o desenvolvimento industrial ao redescobrimento desse nutriente. Produtos ricos em fibras eram descartados ou usados para alimentação animal, porém atualmente eles são amplamente utilizados em produtos alimentícios (MENDONÇA, GROSSMANN & VERHÉ, 2000).

Dentre as técnicas disponíveis na industrialização para o reaproveitamento desses subprodutos, o processo de extrusão tem sido usado devido a sua simplicidade e o baixo custo de aplicação. Embora a qualidade nutricional seja relativamente alta, a aceitabilidade destes produtos extrusados é menor se comparado com os tradicionais vendidos (CHÁVEZ-JÁUREGUI, 2003). Uma das causas para essa problemática, segundo alguns autores, seria a dificuldade de encontrar parâmetros, no processo de extrusão, apropriados para este tipo de fortificação, (ESPOSITO *et al.*, 2005) tais como velocidade de rotação do parafuso e temperatura, que podem tanto afetar as variáveis do processo, assim como as características do produto como a textura, a expansão e atributos sensoriais (MENDONÇA, GROSSMANN & VERHÉ, 2000).

Os produtos como cereais matinais e extrusados expandidos diretos são os que mais se adequam à adição de fibra (HASHIMOTO & GROSSMANN, 2003). Entretanto essa adição

em extrusados expandidos diretos tem sido limitada a poucas fontes de fibra como trigo, aveia ou fibra de soja. A incorporação de altos teores de fibra na formulação tem levado a um aumento na energia mecânica no processo, porém não significa uma melhor expansão ou redução da densidade aparente, embora sejam características desejáveis a produtos extrusados expandidos (ONWULATA *et al.*, 2001). Isto, tem gerado a esses extrusados características compacta, dura, com textura e crocância indesejáveis, devido à redução da expansão (HASHIMOTO & GROSSMANN 2003).

Como se pode observar existem propostas visando aproveitar, para fins alimentícios, a matéria sólida oriunda das unidades agroindustriais. Propostas estas que foram desenvolvidas por pesquisadores da comunidade científica mundial, incluindo o Brasil, e, na maioria, determina-se a caracterização química e física, mas também avalia-se o aproveitamento desses resíduos como ingrediente de alimentos formulados, para produtos de panificação, extrusados expandidos e outros (RAUPP *et al.*, 2000).

4 METODOLOGIA

4.1 Materiais

As matérias-primas utilizadas foram casca de soja, comprada da Gama alimentos S.A. (Londrina, PR) e *grits* de milho doados pela Indústria de Alimentos Granfino Ltda (Nova Iguaçu, RJ).

4.1.1 Composição centesimal das matérias-primas

A farinha da casca de soja, obtido após a moagem, e o *grits* de milho foram submetidos as seguintes análises de determinação de composição centesimal:

- carboidratos (para *grits* de milho)
- proteínas
- extrato etéreo (AOAC, 2000)
- cinzas (AOAC, 2000)
- umidade (AOAC, 2000)
- aminoácidos (para casca de soja) feito por cromatografia líquida
- nitrogênio total (para casca de soja) (AOAC, 2000)
- fibra bruta (para casca de soja)
- fibra detergente neutra (FDN)

A umidade foi determinada, gravimetricamente, por perda de peso, em estufa a 105°C, até peso constante; as cinzas foram obtidas por incineração do material em mufla a 550°C e o extrato etéreo foi avaliado através de extração contínua, em aparelho de Soxhlet, utilizando-se éter de petróleo como solvente, de acordo com os métodos descritos pelo Instituto Adolfo Lutz.

A proteína bruta ($N \times 6,25$) foi determinada pelo método de micro-Kjeldahl, utilizando-se sulfato de cobre e selênio como catalisadores na mineralização, e ácido bórico como solução receptora da amônia na destilação, conforme preconizado pela AOAC.

4.2 Métodos

4.2.1 Farinha mista de casca de soja e milho

Para obtenção da farinha mista, a casca de soja foi moída em moinho granulador de facas e martelos (TREU, Rio de Janeiro) equipado com peneira de 1 mm de abertura.

4.2.2 Obtenção e condicionamento da farinha mista

A farinha da casca de soja e os *grits* de milho devidamente pesados e misturados foram acondicionados a uma umidade conforme o delineamento experimental dependendo do tipo de extrusado. As amostras foram armazenadas em sacos plásticos herméticos sob refrigeração (4°C) durante aproximadamente 24h para melhor distribuição e absorção da água. Após este período, as amostras foram submetidas ao processo de extrusão.

4.2.3 Processo de extrusão termoplástica

Atualmente dispõe-se de certa variedade de extrusores na indústria alimentícia para diferentes fins, embora seu funcionamento e seus componentes sejam similares. O extrusor utilizado no estudo foi de rosca simples Brabender 20DN (Duisburg, Alemanha). O extrusor apresenta um alimentador vertical cônico, o qual recebe o material e o introduz no corpo do extrusor por meio de uma rosca em cujo interior encontra-se o parafuso de rosca simples de compressão 3:1. Este parafuso tem como função arrastar, comprimir, dilacerar e amassar a matéria-prima para formar uma massa semi-sólida e plástica, que é forçada a sair através dos orifícios do bocal da matriz. Na saída, uma guilhotina ou lâmina giratória permite obter produtos com tamanho adequado e uniforme (ORDÓÑEZ & COL., 2005).

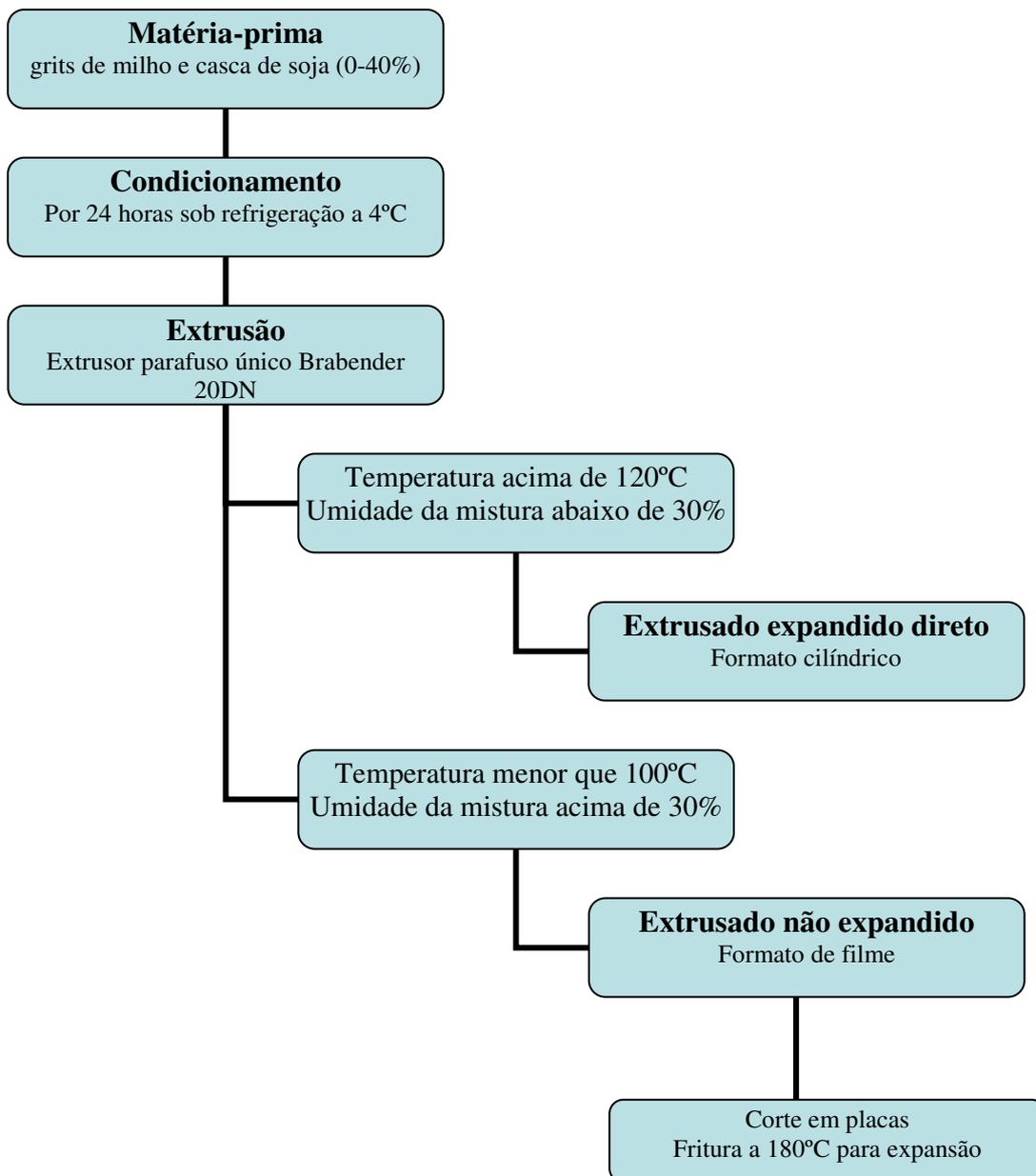


Figura 2. Fluxograma para produção de extrusados expandidos e não-expandidos diretos a partir de grits de milho e casca de soja.

4.2.4 Preparação das amostras extrusadas para análises físico-químicas

Após o processo de extrusão os extrusados foram secos em estufa de circulação de ar a 60°C por 12 horas. Parte dos extrusados secos foram analisados quanto a expansão e parte deles foram moídos em um moinho de disco Perten modelo 3600 (Uddinge, Sweden), peneirados entre as peneiras 105 e 250 µm e acondicionadas em sacos plásticos separadamente para as seguintes determinações do grau de cozimento do amido:

- Índice de solubilidade em água (ISA)
- Índice de absorção de água (IAA)
- Viscosidade de pasta (RVA)

4.2.5 Extrusados expandidos

4.2.5.1 Delineamento experimental

O delineamento experimental usado foi o central composto rotacional de 2ª ordem, com 16 tratamentos, sendo que o ponto central foi repetido 2 vezes.

As variáveis independentes estudadas foram a temperatura da última zona de aquecimento (100 a 200°C), a rotação da rosca (100 a 200 rpm) e o teor de casca na mistura (8 a 40%) (**Tabela 1**). Esses parâmetros foram estudados em três níveis codificados (-1, 0, +1). Este delineamento apresenta também 2 níveis de variáveis axiais que são codificados com $-\alpha$ e $+\alpha$. O valor depende do número fatorial ($F = 2^k$) do delineamento e do número de variáveis independentes ($k = 3$) sendo o valor definido pela equação :

$$\alpha = (F)^{1/4} = (2^k)^{1/4} = 1,414$$

Os valores máximos e mínimos de cada variável independente foram estabelecidos dentro das possibilidades operacionais do processo de extrusão e com base em diversos ensaios preliminares. Para análise dos resultados experimentais a metodologia descreve o comportamento de um sistema no qual estão combinados as variáveis independentes (X^k) e variável dependente ou de resposta (Y_i) (BOX & DRAPER, 1967). A resposta é uma função dos níveis nos quais estes fatores formam combinados e definidos como pode ser observado na fórmula abaixo:

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

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

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

Onde :

Y_i = função resposta;

X_1, X_2, X_3 = valores das variáveis independentes;

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

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

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

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

ε = erro experimental.

As variáveis respostas de coeficiente de regressão acima de 0,70 foram representadas através do modelo matemático superfície de resposta foram elas: energia mecânica específica (EME), índices de expansão (IE), densidade aparente (DA), índice de absorção (IAA) e solubilidade em água (ISA) e as leituras das curvas de viscosidade de pasta (descritas a seguir).

Tabela 1. Variáveis independentes para o delineamento central composto no processo de extrusão de extrusados expandidos diretos

Testes	Níveis codificados das variáveis			Níveis decodificados das variáveis		
	Velocidade de rotação da rosca (rpm)	Temperatura (°C) zona 3	Teor de casca (%)	Velocidade de rotação da rosca (rpm)	Temperatura (°C) zona 3	Teor de casca (%)
1	-1	-1	-1	120	120	8
2	-1	-1	1	120	120	32
3	-1	1	-1	120	180	8
4	-1	1	1	120	180	32
5	1	-1	-1	180	120	8
6	1	-1	1	180	120	32
7	1	1	-1	180	180	8
8	1	1	1	180	180	32
9	-1,68	0	0	100	150	20
10	1,68	0	0	200	150	20
11	0	-1,68	0	150	100	20
12	0	1,68	0	150	200	20
13	0	0	-1,68	150	150	0
14	0	0	1,68	150	150	40
15(C)*	0	0	0	150	150	20
16(C)*	0	0	0	150	150	20

* (C) – ponto central.

4.2.5.2 Processo de extrusão e obtenção do produto

As farinhas mistas foram processadas em extrusor de rosca simples Brabender 19/20DN (Duisburg, Alemanha) (**Figura 3**), nas seguintes condições as quais foram mantidas constantes durante o processo:

- Umidade das misturas: 16%
- Parafuso: 3:1
- Matriz circular: 3 mm
- Alimentação: 15 rpm (cerca de 4 kg/h)
- Temperaturas das zonas 1 e 2, respectivamente foram: 70 e 100°C

Após a obtenção dos extrusados, estes foram secos em uma estufa de circulação de ar a temperatura de 60°C para que a umidade final fosse reduzida. Em seguida, parte das amostras foram preparadas para posterior análises como foi descrito no item 4.2.4.



Figura 3. Extrusor de rosca simples Brabender 19/20DN

4.2.5.3 Análises realizadas do processo de extrusão e extrusados

4.2.5.3.1 Energia mecânica específica (EME)

A EME é a energia proveniente da rotação dos parafusos transmitida ao material dentro do extrusor (FICHTALI & VAN DE VOORT, 1989).

O torque necessário para o cálculo da EME (fórmula abaixo) é fornecido pelo equipamento, sendo coletado manualmente pela média de três leituras realizadas no início (após estabilização do mesmo), no meio e no fim de cada processamento.

A vazão de alimentação foi a média do peso de três coletas de material, cada uma por 30 segundos, posicionando-se um saco plástico o mais próximo da saída da matriz de forma a reduzir a perda de umidade.

Para o cálculo da energia mecânica específica (EME) de cada tratamento foi utilizada a seguinte fórmula (FAN *et al.*, 1996):

$$\text{EME (W.h.kg}^{-1}\text{)} = \frac{\text{torque (N.m)} \times \text{rotação do parafuso (r.p.m.)} \times 2 \times \pi}{\text{vazão de alimentação (kg.h}^{-1}\text{)} \times 60}$$

4.2.5.3.2 Índice de expansão radial (IER) e densidade aparente (DA)

O índice de expansão radial (IER) é indicador de qualidade primário associado com a crocância, a dureza e a mastigabilidade de produtos extrusados expandidos (FERNANDES *et al.*, 2002). O cálculo do índice de expansão radial seguiu a metodologia descrita por ALVAREZ-MARTINEZ, KONDURY & HARPER (1988).

As fórmulas abaixo foram utilizadas para os cálculos do IER e densidade aparente:

$$\text{Índice de Expansão Radial (IER)} = \left[\frac{D}{D_o} \right]^2$$

$$\text{Densidade } (\rho_e) = \frac{4m}{\pi D^2 L}$$

Onde:

D- Diâmetro do extrusado quando atingiu na temperatura ambiente;

D₀- Diâmetro da matriz (neste caso a matriz é radial);

m- massa /peso do extrusado;

L-comprimento do extrusado;

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

A determinação de ISA e IAA foi realizada segundo a metodologia descrita por ANDERSON *et al.* (1969), com modificações.

O ISA está relacionado com a quantidade de sólidos solúveis presentes em uma amostra seca, permitindo verificar o grau de severidade do tratamento térmico, em função da degradação, gelatinização, dextrinização e conseqüentemente a solubilização do amido (ASCHERI *et al.*, 2003a). Enquanto que o IAA depende da disponibilidade somente os grânulos de amido danificados têm a capacidade absorver água na temperatura ambiente e expandirem-se, resultando em um aumento da absorção de água (ASCHERI *et al.*, 2003a). Para estas análises foi pesado 1 g de amostra, em base seca, de cada tratamento em tubos de centrífuga previamente tarados. Então adicionou-se cerca de 10 ml de água destilada. Os tubos foram agitados em um agitador mecânico, tipo Vortex, por aproximadamente 30 segundos para permitir a homogeneização das amostras. Em seguida, as amostras foram colocadas em um agitador horizontal mecânico, da marca Elerback 625 do tipo Shaker Bath, por aproximadamente 30 minutos. E, então, foram processadas em uma centrífuga Hermle modelo Z 383 por 10 minutos a 3000 rpm.

Após a centrifugação das amostras, o líquido sobrenadante foi vertido em placa de petri, previamente tarada e seca em estufa com circulação de ar a 105°C até peso constante.

A fórmula utilizada para cálculo do ISA foi:

$$\text{ISA (\%)} = \left[\frac{\text{Peso do desidratado}}{\text{Peso seco da amostra}} \right] \times 100$$

Após a retirada do líquido sobrenadante, o tubo de ensaio com o precipitado foi pesado e usado no cálculo do IAA, segundo a fórmula abaixo:

$$\text{IAA} = \frac{\text{Peso do precipitado}}{\text{Peso original da amostra} - \text{peso do desidratado}}$$

4.2.5.3.4 Viscosidade de pasta

A Viscosidade de pasta foi determinada em um Analisador Rápido de Viscosidade – RVA (Newport Scientific Pty. Ltd., Warriewood, Austrália) (**Figura 4**), que seguiu a metodologia descrita por CARVALHO & MITCHELL (2001). 3 g de amostra (14% de umidade, base úmida) e quantidade suficiente de água foi usado para atingir um total de 28 g de peso base úmida (BECKER *et al.*, 2001).

O RVA é um instrumento para determinar as propriedades de viscosidade do amido sob aquecimento controlado (SRIBURI & HILL, 2000). Para isto foram utilizadas as seguintes leituras das curvas de viscosidade de pasta obtidas:

- Viscosidade máxima a frio (Vfrio) no início da análise a 25°C.

- Viscosidade máxima a 95°C (Vmax).
- Viscosidade de pasta mínima após 95°C (Vmín).
- Viscosidade de pasta no final (Vfinal) da análise.

O tempo da análise foi de 21 minutos. A **Tabela 2** mostra a programação utilizada pelo RVA.

Tabela 2. Perfil de análise da determinação de viscosidade de pasta no RVA

TEMPO	TIPO	VALOR
00:00:00	Temperatura	25°C
00:00:00	Velocidade de rotação	960 rpm
00:00:10	Velocidade de rotação	160 rpm
00:04:00	Temperatura	25°C
00:09:00	Temperatura	95°C
00:12:00	Temperatura	95°C
00:17:00	Temperatura	25°C

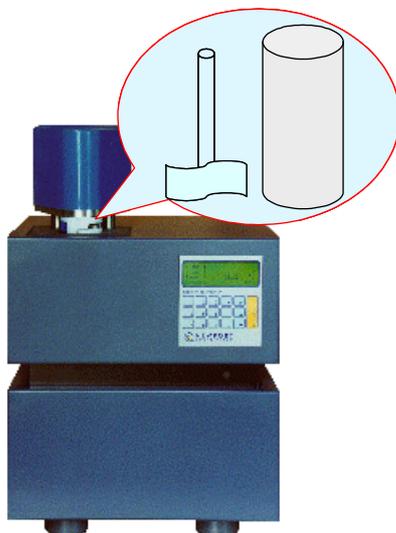


Figura 4. Determinador rápido de viscosidade de pasta (RVA).

4.2.6 Extrusados não-expandidos diretos

4.2.6.1 Delineamento experimental

O delineamento experimental usado foi semelhante ao dos extrusados expandidos diretos, porém foram realizados 17 tratamentos, sendo que o ponto central foi repetido 3 vezes. Tanto as variáveis codificadas quanto as axiais foram estabelecidas de forma semelhante ao apresentado no item 4.2.5.1.

As variáveis independentes estudadas foram umidade da mistura (27 a 43%, base úmida), velocidade de rotação do parafuso (90 a 190 rpm) e teor de casca na mistura (10 a 50%) (**Tabela 3**). O modelo matemático de superfície de resposta foi usado para representar graficamente as variáveis de resposta, cujos coeficientes de regressão foram superiores a 70%: energia mecânica específica (EME), índice de expansão volumétrica (IEV), índice de

absorção (IAA) e solubilidade em água (ISA) e leituras de viscosidade de pasta (V_{frio} , $V_{máx}$, $V_{mín}$, V_{final}).

Tabela 3. Variáveis independentes para o delineamento central composto no processo de extrusão de extrusados não-expandidos diretos (continua)

Testes	Níveis codificados das variáveis			Níveis decodificados das variáveis		
	Teor de casca (%)	Teor de umidade (%)	Velocidade de rotação da rosca (rpm)	Teor de casca (%)	Teor de umidade (%)	Velocidade de rotação da rosca (rpm)
1	-1	-1	-1	10	30	110
2	-1	-1	1	10	30	170
3	-1	1	-1	10	40	110
4	-1	1	1	10	40	170
5	1	-1	-1	40	30	110
6	1	-1	1	40	30	170
7	1	1	-1	40	40	110
8	1	1	1	40	40	170
9	-1,68	0	0	0	35	140
10	1,68	0	0	50	35	140
11	0	-1,68	0	25	27	140
12	0	1,68	0	25	43	140
13	0	0	-1,68	25	35	89
14	0	0	1,68	25	35	190
15(C)*	0	0	0	25	35	140
16(C)*	0	0	0	25	35	140
17(C)*	0	0	0	25	35	140

* (C) – ponto central.

4.2.6.2 Processo de extrusão e obtenção dos extrusados não-expandidos diretos

O processo de extrusão para obtenção dos extrusados foi realizado no mesmo extrusor usado para produção de expandidos diretos com a mesma configuração de parafuso, porém as condições de temperatura e tipo de matriz foram alteradas conforme a seguir:

- Matriz laminar: 1 mm
- Alimentação: 15 rpm (cerca de 4 kg/h)
- Temperaturas das zonas 1, 2 e 3, respectivamente foram: 80, 100 e 70°C

4.2.6.3 Análises realizadas do processo de extrusão e extrusados

4.2.6.3.1 Índice de expansão volumétrica (IEV)

Após o processo de extrusão, os extrusados obtidos foram cortados em tamanho uniforme com 3 cm de comprimento, secos em estufa com circulação de ar a 60°C (umidade residual em torno de 5%), armazenados por pelo menos 72 horas em sacos plásticos a temperatura ambiente e fritos em óleo de palma a temperatura entre 150 e 200°C por cerca de 10 segundos.

O índice de expansão volumétrica foi calculado dividindo-se o volume dos extrusados não-expandidos fritos pelo volume dos extrusados secos não-expandidos. O volume de ambas formas foi determinado pela metodologia de deslocamento de sementes de acordo com o trabalho de ASCHERI & CARVALHO (1997).

4.2.7 Método de análise estatística

As análises estatísticas dos resultados, tanto dos extrusados expandidos quanto dos não-expandidos, foram realizadas após determinar a média das variáveis de resposta seguida da determinação da análise de variância, ANOVA. O nível de significância adotado foi de 5% ($p \leq 0,05$).

Para o processamento dos dados e análise estatística utilizou-se o software “STATISTICA” versão 5 (Tulsa, EUA).

4.2.8 Análise sensorial dos extrusados

A análise sensorial é um campo muito importante na indústria de alimentos, pois contribui direta ou indiretamente para inúmeras atividades, como desenvolvimento de novos produtos, controle de qualidade, reformulação e redução de custos de produtos, relações entre condições de processo, ingredientes, aspectos analíticos e sensoriais (KONKEL *et al.*, 2004; MODESTA, 1994).

Os testes afetivos são utilizados quando se necessita conhecer o “status afetivo” dos consumidores com relação ao(s) produto(s), e para isso são utilizadas escalas hedônicas (KONKEL *et al.*, 2004; CHAVES & SPROESSER, 1993). Esta análise foi realizado no Laboratório de Análise Sensorial da Embrapa Agroindústria do Rio de Janeiro.

A preferência dos produtos extrusados expandidos e não-expandidos de milho e casca de soja foi avaliada utilizando-se teste afetivo com 80 provadores, escolhidos aleatoriamente, não treinados, na Embrapa Agroindústria de Alimentos, Rio de Janeiro.

Com intuito de otimizar a produção dos extrusados expandidos diretos foram selecionados os tratamentos que obtiveram o melhor grau de expansão radial. As condições de tratamento dos extrusados expandidos diretos para análise sensorial foram:

- A casca de soja integral foi seca e moída em moinho de faca e martelo com peneira de 0,8 mm de abertura;
- *Grits* de milho misturado com vários teores de casca de soja (10, 20, 30 e 40%);
- Umidade da farinha mista de casca de soja e milho: 14%
- Rotação do parafuso: 150 rpm
- Configuração do parafuso: 3:1
- Matriz circular: 3 mm
- Temperatura da última zona de aquecimento: 120°C

As condições do processo de extrusão estabelecidas para os extrusados não expandidos diretos para a análise sensorial foram:

- *Grits* de milho misturado com vários teores de casca de soja (0, 5, 10 e 15 e 20%);
- Rotação do parafuso: 110 rpm

- Configuração do parafuso: 3:1
- Matriz laminar: 1 mm
- Temperatura da última zona de aquecimento: 70°C

Os provadores receberam 5 amostras com diferentes teores de casca de soja de extrusados expandidos e de extrusados não expandidos diretos em diferentes dias. Juntamente com as amostras eles receberam também uma ficha de Teste de Preferência em Escala Hedônica estruturada de 9 pontos, na qual os gradientes variaram de “gostei extremamente” a “desgostei extremamente” que correspondem a valores de 9 a 1, respectivamente. Os provadores avaliaram também a preferência global e a textura do produto. Além disso, foi avaliado o interesse de compra do produto. A ficha de análise sensorial utilizada no trabalho encontra-se no **Anexo C**.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Composição Centesimal

5.1.1 *Grits* de milho

A **Tabela 4** mostra os resultados da composição centesimal dos *grits* de milho (g/100g).

Tabela 4. Composição centesimal dos *grits* de milho

Análises	Resultados (g/100 g)
Carboidrato	90,57
Proteína (Nitrogênio total)*	8,23
Extrato Etéreo	0,75
Cinzas	0,46

* Fator de conversão de nitrogênio para proteína utilizado foi 6,25.

Os resultados encontrados nas análises de composição centesimal são semelhantes àqueles descritos por FERNANDES *et al.* (2003) para as seguintes determinações, expressas em g/100g : carboidrato por diferença (90,94 g); proteína (7,84 g); extrato etéreo (0,49 g). De acordo com WANG *et al.* (2002) apresentou também os valores aproximados, principalmente para as análises de proteína (7,6 g/100g) e cinzas (0,5 g/100g).

O grão de milho é constituído de pericarpo, endosperma e gérmen e, como ocorre no caso dos demais cereais, os nutrientes não estão distribuídos de forma homogênea entre as diferentes estruturas morfológicas do grão. No pericarpo está a maior parte da fibra. No gérmen está quase a totalidade da gordura. Os minerais estão mais concentrados na camada de aleurona, situada logo abaixo do pericarpo. O endosperma é rico em carboidratos, devido à presença do amido, e contém também proteínas. A composição dos produtos derivados do milho, portanto, depende de quais partes do grão estes produtos incluem. Os produtos de milho mais comumente encontrados no mercado nacional são as farinhas comuns (grossa, média e fina, conforme o grau de trituração), as farinhas pré-cozidas, a canjica e a pipoca (CALLEGARO *et al.*, 2005).

O alto valor de carboidrato encontrado na composição centesimal do *grits* de milho está de acordo com a literatura, sendo o amido a principal forma de carboidrato encontrada no endosperma do grão de milho. Podemos observar também que os baixos valores de cinzas e lipídios encontrados são indicativos de baixo teor de fibra alimentar insolúvel, o que também reflete o processo de moagem onde o germe e o pericarpo foram removidos quase totalmente. O *grits* de milho por ser um produto constituído de grandes pedaços do grão pode ser confundida com um produto integral, sendo, no entanto, mais refinado do que as farinhas (CALLEGARO *et al.*, 2005).

5.1.2 Casca de soja

A casca de soja, subproduto obtido da industrialização do grão, tem grande destaque

no cenário nacional, em virtude da alta produção brasileira de soja (RESTLE *et al.*, 2004), apresentando um valor nutricional interessante, principalmente no que diz respeito ao seu teor de fibra alimentar.

A **Tabela 5** apresenta os resultados das análises de composição da casca de soja (g/100g).

Tabela 5. Composição centesimal da casca de soja

Análises	Resultados (g/100 g)
Umidade*	5,56
Proteína (Nitrogênio total)**	11,25
Extrato Etéreo	1,86
Cinzas****	4,07
Fibra Bruta (FB)**	37,92
Fibra Detergente Neutra (FDN)***	63,85

* Método baseado AOAC 2000 Método 925.09 sob estufa a temperatura de 98-100°C

** Método modificado baseado no método nº 978.10 da AOAC, item 4.6.02, página 36. *** Método alternativo para determinação de fibra solúvel em detergente neutro e detergente ácido / SOUZA, G.B. *et al.* Boletim de Pesquisa 4. Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos, 1999.

**** Método baseado AOAC 2000, método 923.03, item 32.1.05, página 2

Os resultados de proteína e FDN mostrados na tabela acima foram similares aos encontrados por JÚNIOR *et al.* (2003). De acordo com SILVA *et al.* (2002) apresentou resultados de composição química da casca de soja muito semelhante ao da proteína (11,95 g/100g). Enquanto os resultados obtidos na composição centesimal para extrato etéreo e fibra bruta foram semelhantes ao do trabalho de PASSOS & BOSE (1992). O trabalho feito por QUADROS *et al.* (2004) que analisou a casca de soja como ingrediente de dieta para equinos, e obteve como resultado 10,58% de proteína bruta; 39,68% de fibra bruta e 63,96% de FDN, valores similares encontrados neste estudo.

Segundo MORAIS *et al.* (2006), existem trabalhos sobre a composição de casca de soja cujos os valores médios eram de 11,8% de proteína bruta, 65,6% de fibra detergente neutra, sendo que 43% composta de celulose e 17,8% de hemicelulose, ambas frações de fibra alimentar insolúvel.

Observa-se que a composição centesimal aproximada da casca de soja apresentou teores maiores de proteína, extrato etéreo e cinzas do que o *grits* de milho. Resultados semelhantes foram obtidos por WANG *et al.* (2002).

Os altos teores de FB e FDN encontrados na casca de soja indicam que este subproduto contém grande quantidade destes elementos, o que vem a corroborar com os resultados encontrados por WANG *et al.* (2002). De acordo com o estudo feito por COLE *et al.* (1999), a casca de soja apresenta na sua composição os dois tipos de frações de fibra alimentar, sendo a fibra insolúvel em proporção maior que a fibra solúvel. A fibra insolúvel, de diferentes fontes de casca de soja, variou de 59,9 a 72,2 g/100 g e a fração solúvel, 3,9 a 12,7 g/100 g.

A Tabela 6 apresenta os resultados da composição de aminoácidos contidos nas matérias-primas utilizadas no processo de produção de extrusados.

Tabela 6. Composição de aminoácidos presentes na casca de soja e no *grits* de milho

Aminoácido	Casca de soja (g/100g Proteína)	<i>Grits</i> de milho (g/100g Proteína)
ASP	16,9	-
SER	8,8	3,17
GLU	23,3	9,42
HIS	5,2	-
GLY	10,3	-
ARG	11,4	-
THR	1,0	-
ALA	7,9	3,49
PRO	2,4	6,03
TYR	7,3	-
VAL	8,0	-
LIS	11,3	2,96
ILE	7,3	2,75
LEU	11,5	6,35
PHE	7,9	4,76

- Não determinado

Segundo estudo feito por PIRES *et al.* (2006) que analisou a composição de aminoácidos do milho (g/g de proteína) os resultados foram semelhantes nos teores de aminoácidos ILE, LEU e LIS.

Pode-se observar que a casca de soja apresenta teores de aminoácidos superiores que o *grits* de milho, o que vem corroborar com a literatura em virtude que as leguminosas contém quantidades maiores de proteínas que os cereais.

5.2 Extrusados Expandidos Diretos

5.2.1 Energia mecânica específica (EME)

Estudos das condições do processo de extrusão de milho tais como conteúdo da umidade, velocidade de rotação e temperatura têm mostrado que a perda estrutural do grânulo de amido ocorre geralmente quando a combinação da energia mecânica e térmica são altas. A quebra molecular do amido durante a extrusão é considerada como o resultado da ação de energia mecânica e térmica, no entanto acredita-se que o efeito na degradação do amido pela ação da taxa de cisalhamento seja maior que a degradação provocada pela energia térmica, embora a ação da energia térmica seja de efeito prolongado (CHANG *et al.*, 1999).

O efeito dos parâmetros de extrusão sobre a energia mecânica específica dos expandidos diretos está descrito na **Tabela 7**.

Tabela 7. Resultados experimentais da energia mecânica específica (EME) obtidos da extrusão direta de uma mistura casca de soja e milho em função das variáveis velocidade de rotação, temperatura do processo e teor de casca de soja

Experimentos	Velocidade de rotação da rosca (rpm)	Temperatura (°C) zona 3	Teor de casca (%)	EME (W.h/Kg)
1	120	120	8	90,14
2	120	120	32	69,68
3	120	180	8	65,23
4	120	180	32	36,07
5	180	120	8	90,75
6	180	120	32	84,32
7	180	180	8	64,71
8	180	180	32	40,10
9	100	150	20	69,41
10	200	150	20	73,57
11	150	100	20	96,80
12	150	200	20	43,45
13	150	150	0	83,38
14	150	150	40	52,33
15 (C)*	150	150	20	66,00
16 (C)*	150	150	20	68,98

*(C) – ponto central.

A ANOVA das variáveis independentes do processo de extrusão para a variável resposta EME está apresentada na **Tabela 8**.

Tabela 8. Análise de variância para a variável resposta energia mecânica específica (EME) das variáveis independentes em função velocidade de rotação (rpm), temperatura do processo (°C) e teor de casca de soja (%) do processo de extrusão de milho e casca de soja

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Grau de Liberdade	Quadrado Médio	F	P*
(1) RPM (L)	48,62	1	48,63	7,34	0,04
RPM (Q)	7,01	1	7,01	1,06	0,34
(2) TEMP (L)	3496,33	1	3496,33	527,95	0,00
TEMP (Q)	1,38	1	1,38	0,21	0,66
(3) % CASCA (L)	1293,10	1	1293,10	195,26	0,000008
% CASCA (Q)	1,61	1	1,60	0,24	0,64
1L by 2L	17,25	1	17,25	2,60	0,16
1L by 3L	43,11	1	43,11	6,51	0,04
2L by 3L	90,27	1	90,27	13,63	0,01
Error	39,73	6	6,62		
Falta de Ajuste	35,32	5	7,06	1,59	0,53
Total Soma dos Quadrados	5043,12	15			

* P ≤ 0,05 – significância ao nível de 5%, (L) = efeito linear, (Q) = efeito quadrático

De acordo com a **Tabela 9**, o efeito quadrático assim como a interação velocidade de rotação e temperatura do processo não foram significativos para as três variáveis independentes. No entanto, o efeito linear desta variáveis e as interações entre a velocidade de rotação de rosca / teor de casca de soja e temperatura do processo e casca de soja foram significativos ($P < 0,05$).

Tabela 9. Coeficientes de regressão (Equação 1) e R^2 para energia mecânica específica (EME)

Fonte de Variação	Coeficientes de Regressão	Teste t	P*
(1) RPM (L)	-0,11	-0,34	0,74
RPM (Q)	0,00	1,02	0,34
(2) TEMP (L)	-0,22	-0,70	0,50
TEMP (Q)	0,00	0,45	0,66
(3) %CASCA (L)	-0,26	-0,44	0,67
%CASCA (Q)	-0,00	-0,49	0,64
1L by 2L	-0,00	-1,61	0,16
1L by 3L	0,00	2,55	0,04
2L by 3L	-0,01	-3,69	0,01
R^2	0,99		

* $P \leq 0,05$ – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático

Os efeitos das interações entre a rotação/ teor de casca de soja e temperatura do processo / teor de casca de soja influenciaram EME ($P < 0,05$). A EME depende da exata composição do produto a ser extrusado e aumenta proporcionalmente ao aumento do conteúdo de amido no material (CHANG *et al.*, 1994).

Com relação a interação entre a temperatura da última zona e o teor de casca de soja fica evidente que EME teve influência negativa desta interação (**Tabela 9**). O aumento da temperatura da extrusora, por si só, diminui os valores de energia, o que pode ser explicado pela redução da viscosidade do material dentro da extrusora (GUHA, ALI & BHATTACHARYA, 1997). Entretanto, o acréscimo do teor de casca para 32% levou a um aumento redução na energia gasta pela extrusora em função do atrito mecânico ocasionado pela fibra da casca de soja. Em outras palavras, a fibra da casca deve ter impedido o fluxo do material no interior da extrusora aumentando o atrito do deste com o parafuso e assim aumentou esforço do motor para girar o parafuso.

Durante a extrusão, parte da energia necessária para alcançar a temperatura desejada, vem da transformação da energia mecânica para rotacionar o parafuso em energia térmica. O controle da temperatura e a rotação do parafuso têm um profundo efeito nas condições de expansão do extrusado (KARAM, GROSSMANN & SILVA, 2001).

Segundo WEN, RODIS & WASSERMAN (1990), que estudaram a extrusão da farinha de milho variando o conteúdo de umidade, a velocidade de rotação da rosca e a temperatura, concluíram que o máximo grau de conversão de amido geralmente ocorreu quando a EME atingiu seu pico máximo.

O coeficiente de R^2 foi de 99,21%, indicando um ótimo ajuste do modelo aos dados, o que garante a validade das predições efetuadas.

Os resultados da EME estão representados graficamente nas **Figura 5 e 6**.

A **Figura 5** indica que a EME foi aumentada à medida que se aumentou a proporção de casca de soja na mistura da farinha.

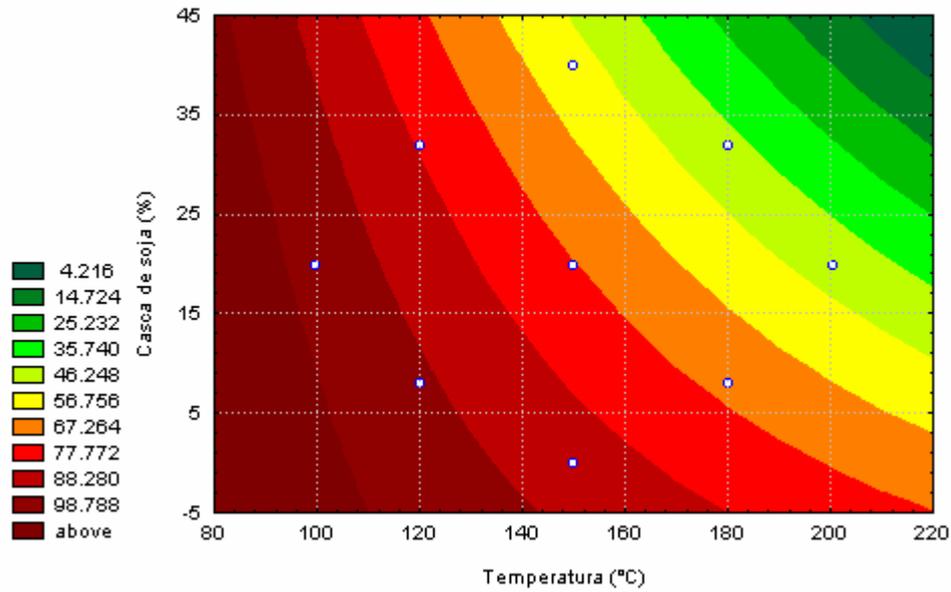


Figura 5. Gráfico de superfície de resposta da energia mecânica específica (EME) em função da temperatura do processo(°C) e o teor de casca de soja (%).

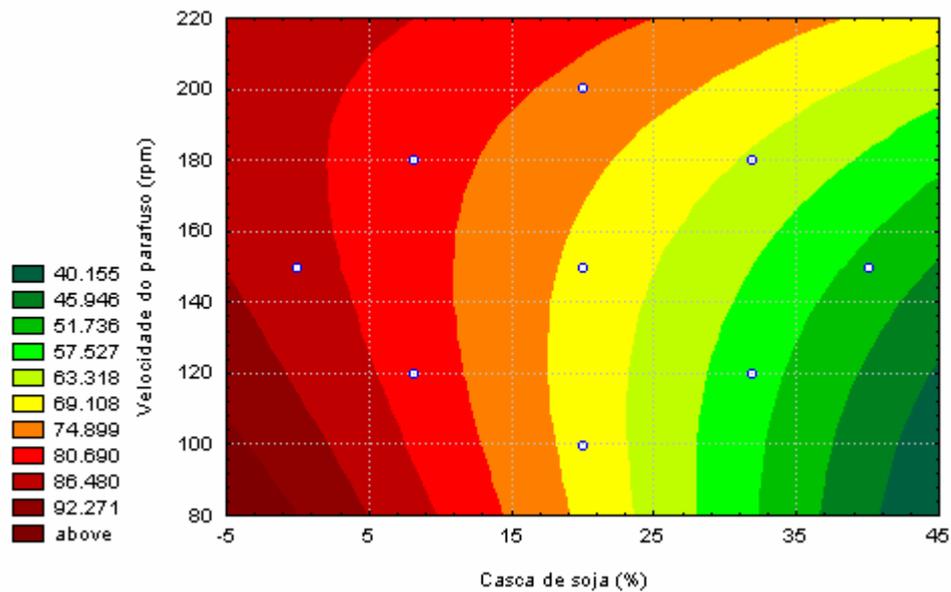


Figura 6. Gráfico de superfície de resposta da energia mecânica específica (EME) em função da velocidade da rotação da rosca (RPM) e o teor de casca de soja (%).

5.2.2 Índice de expansão radial (IER)

Alguns trabalhos têm avaliado o papel de variáveis do processo de extrusão como perfil de temperatura, configuração e velocidade do parafuso, tamanho e formato da matriz, velocidade do parafuso, conteúdo de umidade e taxa de alimentação sobre a expansão de produtos contendo farinha ou amido de milho (OWUSU-ANSAH *et al.*, 1983).

As características das matérias-primas, tais como conteúdos de proteína, lipídio e amido, sua composição e seu tipo, também afetam o volume de expansão dos produtos extrusados (FERNANDES *et al.*, 2002). Outro constituinte da formulação que pode influenciar na característica do produto extrusado é a fibra insolúvel, oriunda da casca de soja, um subproduto da industrialização da soja, que é descartado durante o processamento (RAUPP *et al.*, 1999; RAUPP *et al.*, 2000; RAUPP *et al.*, 2002). Devido aos benefícios à saúde humana, as fibras alimentares têm sido incorporadas em diversas formulações alimentícias. No entanto, sua incorporação promove modificações estruturais negativas no produto final, incluindo expansão, textura e aparência pobres (GALDEANO & GROSSMANN, 2005).

A **Tabela 10** apresenta os valores experimentais do IER.

Tabela 10. Resultados experimentais do índice de expansão radial (IER) obtidos da extrusão direta de uma mistura casca de soja e milho em função das variáveis velocidade de rotação (rpm), temperatura do processo (°C) e teor de casca de soja (%)

Experimentos	Velocidade de rotação da rosca (rpm)	Temperatura (°C) zona 3	Teor de casca (%)	IER
1	120	120	8	7,15
2	120	120	32	2,75
3	120	180	8	3,45
4	120	180	32	0,86
5	180	120	8	7,45
6	180	120	32	3,17
7	180	180	8	3,44
8	180	180	32	0,79
9	100	150	20	3,59
10	200	150	20	3,79
11	150	100	20	5,54
12	150	200	20	1,10
13	150	150	0	6,24
14	150	150	40	1,40
15 (C)*	150	150	20	3,66
16 (C)*	150	150	20	3,72

*(C) – ponto central.

Nota-se que o aumento do teor de casca de soja (de 8% à 40%) na formulação, levou a uma redução significativa do IER ($P < 0,05$) (**Tabela 10**). Resultado similar foi observado por FERNANDES *et al.* (2002), com extrusados expandidos de milho contendo 20% de soja integral. O motivo atribuído pelos autores à redução da expansão dos extrusados foi a presença de casca de soja. Alguns autores têm também observado que a expansão radial diminui com aumento do conteúdo de fibra dietética, como por exemplo no trabalho de HASHIMOTO & GROSSMANN (2003) em que obtiveram a diminuição do diâmetro do

extrusado quando o teor de farelo de mandioca foi aumentado na formulação, sendo este subproduto rico em fibra resultante do processo de extração de amido da mandioca.

De acordo com LUE, HSIEH & HUFF (1991) a presença de fibras rompe as paredes das células evitando a formação de bolhas de ar e assim alcancem seu máximo potencial de expansão. Farelos de cereais interferem na expansão das bolhas, pois reduzem a capacidade de extensão das paredes das células causando assim sua prematura ruptura no ponto crítico de sua espessura, o que está relacionado com o tamanho de partícula do farelo. Ao causar ruptura prematura das células das paredes, o farelo geraria maior número de pequenas células rompidas (GUY, 1985).

Outro fator que pode ter causado uma diminuição do IER seria a presença de proteína, tendo vista que a casca de soja apresentou maior teor (11,25%) que o *grits* de milho (8,23%). De acordo com o estudo feito por SINGH, SEKHON & SINGH (2006), houve diminuição na expansão do produto extrusado de arroz quando adicionado de ervilha, o que foi atribuído aos altos teores de proteína e de fibra, bem como reduzido conteúdo de amido no material.

A **Tabela 11** mostra os resultados significativos do efeito linear da temperatura do processo e do conteúdo de casca de soja na formulação, ocorrendo da mesma forma a interação entre os mesmos.

Tabela 11. Análise de variância para a variável de resposta índice de expansão radial (IER) relativo as variáveis independentes, velocidade de rotação (rpm), temperatura do processo (°C) e teor de casca de soja (%)

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Grau de Liberdade	Quadrado Médio	F	P*
(1) RPM (L)	0,07	1	0,07	0,99	0,36
RPM (Q)	0,00	1	0,00	0,01	0,94
(2) TEMP (L)	27,63	1	27,63	401,99	0,00
TEMP (Q)	0,14	1	0,15	2,11	0,19
(3) %CASCA (L)	35,63	1	35,63	518,38	0,00
% CASCA (Q)	0,02	1	0,02	0,36	0,57
1L by 2L	0,08	1	0,08	1,15	0,33
1L by 3L	0,00	1	0,00	0,00	0,95
2L by 3L	1,47	1	1,47	21,42	0,00
Error	0,41	6	0,07		
Falta de Ajuste	0,41	5	0,08	36,17	0,12
Total Soma dos Quadrados	65,57	15			

* $P \leq 0,05$ – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático

Com relação ao efeito linear da temperatura do processo (**Tabela 11**), observou-se um decréscimo da expansão radial (0,79 a 7,45). Este resultado foi similar ao encontrado por MENDONÇA, GROSSMANN & VERHÉ (2000) que estudaram os efeitos da temperatura e da fibra nos extrusados adicionado de farelo de milho como fonte de fibra. Segundo FERNANDES *et al.* (2002) a explicação seria atribuída ao efeito de altas temperaturas, o que ocasionaria excessiva degradação do amido (dextrinização) reduzindo a capacidade de retenção das bolhas de ar responsáveis pela manutenção da estrutura aerada do extrusado expandido.

Os resultados encontrados (**Tabela 12**), indicam que quanto menor foi o teor de casca de soja adicionado (8,11%) associado a menor temperatura do processo (120°C), maior foi o IER encontrado (7,15). Entretanto, quando se manteve ambas velocidade de rotação da rosca

e temperatura constantes associadas ao aumento do teor de casca de soja, ocorreu diminuição considerável na expansão radial do extrusado (**Tabela 12**).

Tabela 12. Coeficientes de regressão (Equação 1) e R^2 para índice de expansão radial (IER)

Fonte de Variação	Coeficientes de Regressão	Teste t	P*
(1) RPM (L)	0,02	0,49	0,64
RPM (Q)	0,00	0,08	0,94
(2)TEMP (L)	-0,01	-0,39	0,70
TEMP (Q)	-0,00	-1,45	0,19
(3)%CASCA (L)	-0,33	-5,50	0,001
%CASCA (Q)	0,00	0,60	0,57
1L by 2L	-0,00	-1,07	0,33
1L by 3L	0,00	0,06	0,95
2L by 3L	0,00	4,62	0,00
R^2	0,99		

* $P \leq 0,05$ – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático

Este efeito foi também observado no estudo de Li *et al.* (2005), em que verificaram uma diminuição significativa do índice de expansão ao se substituir farinha de milho por 15% de soja.

O coeficiente de R^2 (**Tabela 12**) foi de 99,37, indicando um ótimo ajuste do modelo aos dados.

Estes resultados estão ilustrados no gráfico de superfície resposta na **Figura 7**.

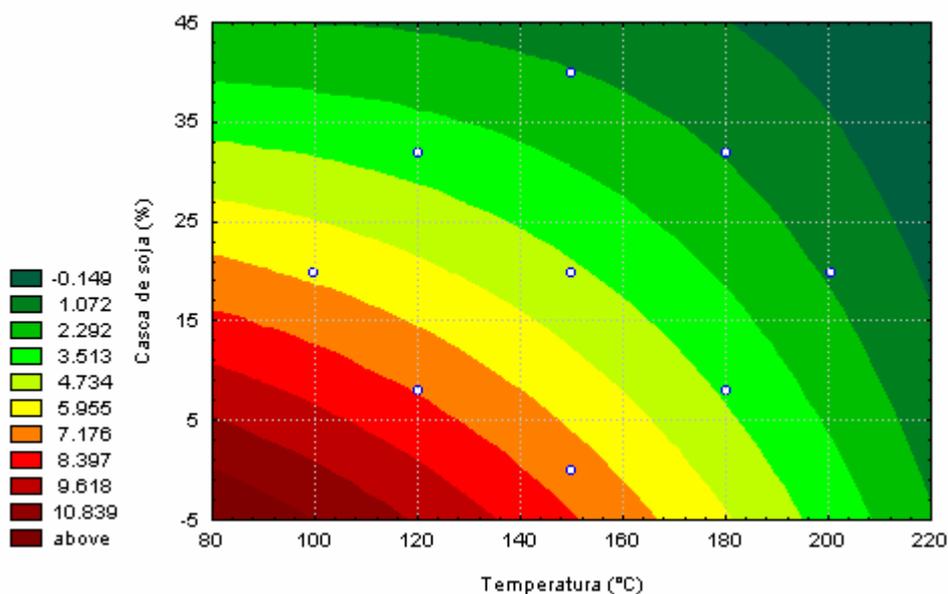


Figura 7. Gráfico de superfície de resposta para o índice de expansão radial (IER) em função da temperatura do processo (°C) e de teor de casca de soja (%).

5.2.3 Densidade aparente (DA)

A densidade é uma importante característica dos produtos extrusados expandidos, que geralmente é inversamente proporcional ao índice de expansão (WANG, JIN & YUAN, 2007; SINGH, SEKHON & SINGH, 2006).

A **Tabela 13** apresenta os valores experimentais de DA correlacionando com as variáveis de resposta.

Tabela 13. Resultados experimentais de densidade aparente (DA) em função das variáveis velocidade de rotação (rpm), temperatura do processo (°C) e teor de casca de soja (%)

Experimentos	Velocidade de rotação da rosca (rpm)	Temperatura (°C) zona 3	Teor de casca (%)	DA
1	120	120	8	0,23
2	120	120	32	0,55
3	120	180	8	0,25
4	120	180	32	0,92
5	180	120	8	0,18
6	180	120	32	0,42
7	180	180	8	0,24
8	180	180	32	0,92
9	100	150	20	0,31
10	200	150	20	0,28
11	150	100	20	0,26
12	150	200	20	0,82
13	150	150	0	0,27
14	150	150	40	0,80
15 (C)*	150	150	20	0,33
16 (C)*	150	150	20	0,31

*(C) – ponto central

A **Tabela 14** mostra os resultados significativos dos efeitos linear e quadrático da temperatura e do teor de casca de soja e, a interação entre os efeitos lineares da temperatura do processo e a casca de soja.

A **Tabela 15** apresenta os valores de coeficientes de regressão e R². O coeficiente R² (**Tabela 15**) foi de 97,06% indicando um ótimo ajuste do modelo aos dados, o que garante a validade das predições efetuadas.

De acordo com a **Tabela 15** e a **Figura 8**, pode-se verificar que os efeitos lineares da temperatura do processo e o teor de casca de soja na farinha de milho sobre a densidade aparente foram negativos. À medida que a temperatura e o teor de casca de soja aumentaram, houve diminuição na densidade aparente. Enquanto que os efeitos quadráticos da temperatura e conteúdo de casca de soja foram positivos.

Com relação à temperatura, THYMI *et al.* (2005) verificaram as propriedades estruturais do amido de milho extrusado. Eles mostraram que temperaturas acima de 150°C resultou em redução significativa da densidade dos extrusados. Segundo estes mesmos autores, conforme houve aumento da temperatura da extrusora maiores valores de expansão foram obtidos, resultando em baixa densidade aparente dos extrusados.

Tabela 14. Análise de variância para a variável de resposta densidade aparente (DA) relativo as variáveis independentes, velocidade de rotação (rpm), temperatura do processo (°C) e teor de casca de soja (%)

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Grau de Liberdade	Quadrado Médio	F	P*
(1) RPM (L)	0,00	1	0,00	0,81	0,40000
RPM (Q)	0,00	1	0,00	0,15	0,71000
(2) TEMP (L)	0,26	1	0,26	50,18	0,00000
TEMP (Q)	0,06	1	0,06	10,65	0,02000
(3) %CASCA (L)	0,57	1	0,57	110,03	0,00004
% CASCA (Q)	0,05	1	0,05	10,17	0,02000
1L by 2L	0,00	1	0,00	0,69	0,44000
1L by 3L	0,00	1	0,00	0,12	0,74000
2L by 3L	0,08	1	0,08	14,94	0,01000
Error	0,03	6	0,01		
Falta de Ajuste	0,03	5	0,006	31,13	0,13000
Total Soma dos Quadrados	1,07	15			

* P ≤ 0,05 – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático

Tabela 15. Coeficientes de regressão (Equação 1) e R² para densidade aparente (DA)

Fonte de Variação	Coeficientes de Regressão	Teste t	P*
(1) RPM (L)	-0,00	-0,06	0,95
RPM (Q)	-1,01E-05	-0,38	0,71
(2)TEMP (L)	-0,03	-3,32	0,02
TEMP (Q)	8,61E-05	3,26	0,02
(3) %CASCA (L)	-0,04	-2,51	0,05
%CASCA (Q)	0,00	3,18	0,02
1L by 2L	2,36E-05	0,83	0,44
1L by 3L	-2,45E-05	-0,34	0,74
2L by 3L	0,00	3,86	0,01
R ²	0,97		

* P ≤ 0,05 – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático

Em estudo realizado por ONWULATA *et al.* (2001) com adição de fibra alimentar em extrusados expandidos de milho, observou-se que adição de farelo de trigo nas proporções de 50 e 125g/kg não reduziu a densidade aparente dos extrusados, quando os compara com os elaborados com milho. Efeito diferente ao encontrado por esse estudo mostrou que em alta temperatura (>180°C) e alto teor de casca de soja (>32%) a densidade dos extrusados aumentou em quase o dobro. Isso pode estar associado à redução da viscosidade do material fundido no interior da extrusora, bem como pela quebra da matriz amilácea pela estrutura da fibra insolúvel contida na casca de soja.

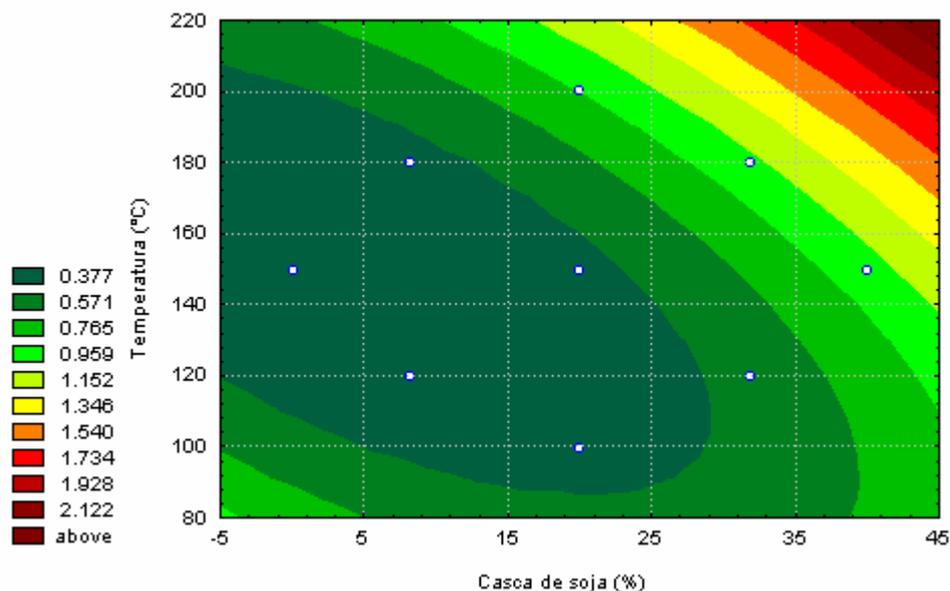


Figura 8. Gráfico de superfície de resposta para a densidade aparente (DA) em função da temperatura (°C) e do teor de casca de soja (%).

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

As metodologias dos índices de absorção e solubilidade de água são baseadas na capacidade de absorção de água. Com conseqüente formação de gel, é possível que a presença de fibra e amido processado tenham competido pela água durante a análise. Como resultado desta competição, não foi possível verificar se a severidade do processo de extrusão sobre o amido indicado pelo aumento do IAA, conforme observado pelo trabalho de ASCHERI *et al.* (2006), foi devido a quebra molecular do amido ou pela afinidade física da fibra pela água. Tanto a fibra quanto o amido, quando processado por extrusão, possuem considerável afinidade pela água (HASHIMOTO & GROSSMANN, 2003). No caso específico do amido processado por extrusão, isso é observado pelo alto valor de IAA, o que é acompanhado pelo aumento da curva de viscosidade de pasta no início da análise desta.

A **Tabela 16** mostra os resultados experimentais obtidos para as determinações de IAA e ISA.

As **Tabelas 17** e **18** apresentam os resultados da ANOVA, relativo as variáveis independentes velocidade de rotação, teor de casca de soja e temperatura do processo para as variáveis respostas IAA e ISA, respectivamente.

Tabela 16. Resultados experimentais de IAA e ISA

Experimentos	Velocidade de rotação da rosca (rpm)	Temperatura (°C) zona 3	Teor de casca (%)	IAA	ISA
1	120	120	8	8,32	8,07
2	120	120	32	7,20	5,22
3	120	180	8	6,68	8,98
4	120	180	32	6,01	5,71
5	180	120	8	7,15	10,06
6	180	120	32	8,07	4,90
7	180	180	8	9,28	4,03
8	180	180	32	6,08	5,87
9	100	150	20	8,03	7,42
10	200	150	20	7,91	7,05
11	150	100	20	7,89	7,90
12	150	200	20	7,08	4,21
13	150	150	0	9,25	3,68
14	150	150	40	7,59	8,07
15 (C)*	150	150	20	7,82	5,22
16 (C)*	150	150	20	7,83	8,98

*(C) – ponto central

Tabela 17. Análise de variância para a variável de resposta IAA relativo as variáveis independentes, velocidade de rotação (rpm), temperatura do processo (°C) e teor de casca de soja (%)

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Grau de Liberdade	Quadrado Médio	F	P*
(1) RPM (L)	0,33	1	0,33	0,48	0,5100
RPM (Q)	0,07	1	0,07	0,11	0,7500
(2) TEMP (L)	1,23	1	1,24	1,80	0,2300
TEMP (Q)	0,64	1	0,64	0,94	0,3700
(3) %CASCA (L)	3,41	1	3,41	4,96	0,0700
% CASCA (Q)	0,04	1	0,04	0,06	0,8100
1L by 2L	1,15	1	1,15	1,68	0,2400
1L by 3L	0,04	1	0,04	0,05	0,8300
2L by 3L	1,73	1	1,73	2,51	0,1600
Error	4,12	6	0,69		
Falta de Ajuste	4,11	5	0,82	199894,4	0,0016
Total Soma dos Quadrados	13,02	15			

P ≤ 0,05 – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático

Tabela 18. Análise de variância para a variável de resposta ISA relativo as variáveis independentes, velocidade de rotação (rpm), temperatura do processo (°C) e teor de casca de soja (%)

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Grau de Liberdade	Quadrado Médio	F	P*
(1) RPM (L)	1,03	1	1,03	0,17	0,69
RPM (Q)	0,11	1	0,11	0,02	0,89
(2) TEMP (L)	7,13	1	7,12	1,18	0,32
TEMP (Q)	0,88	1	0,88	0,15	0,72
(3) %CASCA (L)	0,31	1	0,31	0,05	0,83
% CASCA (Q)	1,29	1	1,29	0,21	0,66
1L by 2L	5,22	1	5,21	0,86	0,39
1L by 3L	0,98	1	0,98	0,16	0,70
2L by 3L	5,41	1	5,41	0,89	0,38
Error	36,25	6	6,04		
Falta de Ajuste	29,17	5	5,83	0,82	0,67
Total Soma dos Quadrados	59,05	15			

* P ≤ 0,05 – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático

O coeficiente de correlação foi 68,3% para o IAA e apenas 38,6% para o ISA e, o que indica que o modelo não teve um bom ajuste para os resultados experimentais obtidos (Tabelas 19 e 20) Uma vez que o coeficiente de regressão foi inferior a 70%, o modelo não foi representado graficamente.

Tabela 19. Coeficientes de regressão (Equação 1) e R² para IAA

Fonte de Variação	Coeficientes de Regressão	Teste t	P*
(1) RPM (L)	-0,02	-0,23	0,82
RPM (Q)	-0,00	-0,33	0,75
(2)TEMP (L)	0,04	0,38	0,71
TEMP (Q)	-0,00	-0,97	0,37
(3) %CASCA (L)	0,16	0,84	0,43
%CASCA (Q)	0,00	0,25	0,81
1L by 2L	0,00	1,29	0,24
1L by 3L	-0,00	-0,23	0,83
2L by 3L	-0,00	-1,58	0,16
R ²	0,68		

* P ≤ 0,05 – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático

Tabela 20. Coeficientes de regressão (Equação 1) e R² para ISA

Fonte de Variação	Coeficientes de Regressão	Teste t	P*
(1) RPM (L)	0,07	0,22	0,83
RPM (Q)	0,00	0,13	0,89
(2)TEMP (L)	0,17	0,54	0,61
TEMP (Q)	-0,00	-0,38	0,72
(3) %CASCA (L)	-0,40	-0,71	0,51
%CASCA (Q)	-0,00	-0,46	0,66
1L by 2L	-0,00	-0,93	0,39
1L by 3L	0,00	0,40	0,70
2L by 3L	0,00	0,95	0,38
R ²	0,39		

* P ≤ 0,05 – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático

Não foi observado efeitos significativos para ambos os fatores, ISA e IAA ao nível de 5% de significância.

5.2.5 Viscosidade de pasta

A análise de viscosidade de pasta permite verificar, de forma indireta, o grau de cozimento do amido alcançado durante a extrusão (ASCHERI *et al.*, 2003b).

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

Nas **Figuras 9 e 10** são apresentadas as curvas de RVA do Experimento 13 (150 rpm, 150°C, 0% de casca de soja) e Experimento 15 (150 rpm, 150°C, 20% de casca de soja). A comparação destes experimentos visa mostrar o efeito do teor de casca de soja, uma vez que a velocidade de rotação do parafuso e temperatura da 3^a zona da extrusora foram as mesmas.

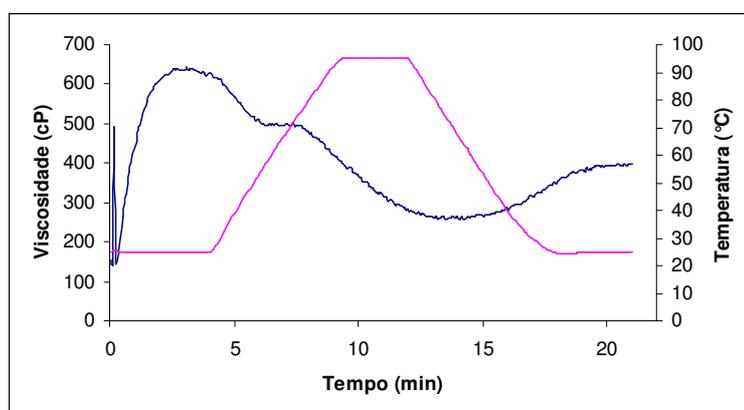


Figura 9. Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 13 contendo 0% de casca de soja, rotação 150 rpm e temperatura 150°C.

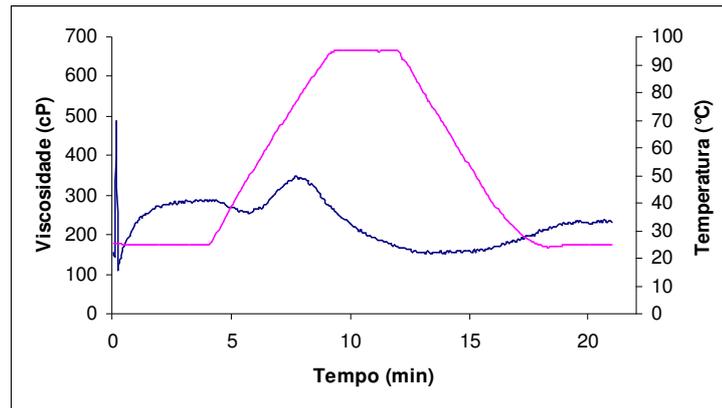


Figura 10. Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 15 (ponto central) contendo 20% de casca de soja, rotação 150 rpm e temperatura 150°C.

O perfil de RVA apresentado na **Figura 9** mostra um aumento abrupto na viscosidade do extrusado de milho à temperatura baixa ou ambiente a 25°C; este comportamento demonstra quebra estrutural dos grânulos de amido pela severidade das condições do processo de extrusão, sendo fenômeno típico do processamento de farinhas amiláceas pré-gelatinizadas por extrusão (WHALEN *et al.*, 1997). Ao mesmo tempo, observa-se que à medida que se aumentou a temperatura para 95°C, levando o sistema para condição de gelatinização total do amido, não houve grande aumento na viscosidade. Ao contrário, houve queda acentuada desta em função do amido presente na suspensão e por já ter perdido sua integridade molecular durante o processo de extrusão (SILVA *et al.*, 2004). A aplicação combinada da energia termomecânica resultou não só na quebra estrutural dos grânulos do amido de milho, mas também na sua subsequente perda total da sua integridade. A pré-gelatinização, dado pelo processo de extrusão, fez o amido perder sua capacidade de intumescer a uma temperatura elevada, resultando em um baixo pico de viscosidade a 95°C (GUHA, ALI & BHATTACHARYA, 1998).

Em geral, a intensidade e a extensão da quebra molecular dos grânulos de amido dependerão do tipo de amido, da taxa de cisalhamento, da temperatura e de outros componentes químicos presentes durante o processo de gelatinização (EL-DASH, GONZALES & CIOL, 1984). No que se refere ao efeito do ingrediente na mistura, a adição de diferentes teores de casca de soja resultou em distintos valores de viscosidade de pasta (**Figura 9 e 10**). O experimento 15, de maior teor de casca de soja (40%), apresentou menor viscosidade pasta que o experimento 13. Similar resultado foi encontrado por ASCHERI *et al.*, (2006c) ao trabalhar com farinhas extrusadas de arroz e bagaço de jabuticaba. Eles atribuíram à redução da viscosidade inicial de pasta ao efeito de diluição da fração amilácea ao se aumentar o teor de fibra na forma de farinha de jabuticaba a mistura.

Os gráficos das curvas de RVA estão representados em **anexo A**.

Na **Tabela 21** mostra os resultados experimentais obtidos para as determinações de viscosidade pasta à frio a 25°C (Vfrio), máxima a 95°C (Vmax), mínima após 95°C (Vmín) e final da análise (Vfinal).

Tabela 21. Resultados experimentais de viscosidade pasta

Experimentos	Velocidade de rotação da rosca (rpm)	Temperatura (°C) zona 3	Teor de casca (%)	Vfrio (cP)	Vmáx (cP)	Vmín (cP)	Vfinal (cP)
1	120	120	8	674,0	462,0	174,5	303,0
2	120	120	32	354,5	343,0	121,5	189,5
3	120	180	8	649,5	478,5	227,0	357,0
4	120	180	32	136,5	175,5	159,5	290,5
5	180	120	8	591,5	350,5	121,0	237,5
6	180	120	32	310,0	292,0	99,5	154,5
7	180	180	8	648,0	508,0	236,5	372,0
8	180	180	32	175,0	191,5	152,0	272,0
9	100	150	20	524,5	381,0	141,5	223,0
10	200	150	20	465,0	339,5	101,0	180,0
11	150	100	20	542,0	292,5	63,5	152,0
12	150	200	20	198,0	198,0	176,5	311,0
13	150	150	0	620,0	487,0	245,0	383,0
14	150	150	40	206,5	258,5	124,5	194,0
15 (C)*	150	150	20	289,5	350,0	155,5	233,0
16 (C)*	150	150	20	351,0	371,5	172,0	246,0

*(C) – ponto central

5.2.5.1 Viscosidade de pasta a frio (Vfrio)

A **Tabela 22** são apresentados os resultados da ANOVA da variável resposta Vfrio. Nesta tabela observa-se que o efeito linear das variáveis teor de casca de soja, seguido da temperatura e o efeito quadrático da rotação do parafuso foram significativos ($P \leq 0,05$).

Tabela 22. Análise de variância para a variável de resposta Vfrio relativo as variáveis independentes, velocidade de rotação (rpm), temperatura do processo (°C) e teor de casca de soja (%)

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Grau de Liberdade	Quadrado Médio	F	P*
(1) RPM (L)	2645,22	1	2645,22	0,47	0,52
RPM (Q)	37963,96	1	37963,96	6,69	0,04
(2) TEMP (L)	59249,83	1	59249,83	10,46	0,02
TEMP (Q)	3672,17	1	3672,17	0,65	0,45
(3) %CASCA (L)	381452,90	1	381452,90	67,31	0,00
% CASCA (Q)	11479,04	1	11479,04	2,03	0,20
1L by 2L	3362,00	1	3362,00	0,59	0,47
1L by 3L	760,50	1	760,50	0,13	0,73
2L by 3L	18528,13	1	18528,13	3,27	0,12
Error	34002,24	6	5667,04		
Falta de Ajuste	32813,4	5	6562,7	3,83	0,36
Total Soma dos Quadrados	539841,70	15			

* $P \leq 0,05$ – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático

Os resultados apresentados na **Tabela 22** mostra que o aumento do teor de casca de soja nos extrusados reduziu o pico de viscosidade inicial do produto. Se compararmos os valores obtidos no Experimento 1 e 2 (**Tabela 21**), eles apresentam os mesmos valores para velocidade de rotação do parafuso e temperatura utilizados no processo. Nota-se que houve uma brusca queda da viscosidade do Experimento 2, contendo 32% de casca de soja. Segundo SILVEIRA *et al.* (1981), o amido é o principal componente responsável pela alta viscosidade do sistema e, com o aumento da casca de soja na farinha mista composta de milho e casca de soja, diminui-se a quantidade de amido presente, resultando na diminuição de viscosidade.

O efeito do conteúdo da casca de soja em diferentes concentrações para produção dos extrusados expandidos diretos teve um influência negativa na análise do RVA (**Tabela 23**).

A **Tabela 23** apresenta os valores de coeficientes de regressão múltipla e R^2 .

Tabela 23. Coeficientes de regressão (Equação 1) e R^2 para Vfrio

Fonte de Variação	Coefficientes de Regressão	Teste t	P*
(1) RPM (L)	-25,77	-2,71	0,04
RPM (Q)	0,07	2,59	0,04
(2)TEMP (L)	-9,55	-1,00	0,35
TEMP (Q)	0,02	0,80	0,45
(3)%CASCA(L)	-7,88	-0,45	0,67
%CASCA(Q)	0,25	1,42	0,20
1L by 2L	0,02	0,77	0,47
1L by 3L	0,03	0,37	0,73
2L by 3L	-0,13	-1,81	0,12
R^2	0,94		

* $P \leq 0,05$ – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático

Pode-se observar também que a temperatura teve uma forte influência negativa na viscosidade pasta inicial do extrusado (**Tabela 23**). Entretanto com aumento da temperatura da 3ª zona de 120 para 180°C, mantendo-se a alta concentração de casca de soja na formulação (32%), nota-se que a queda da viscosidade pasta a 25°C de 354,5 cP (Experimento 2) reduziu para 136,5 cP (Experimento 4).

O coeficiente de determinação (R^2) (**Tabela 23**) foi de 94 % indicando um ótimo ajuste do modelo aos dados, o que garante a validade das predições efetuadas.

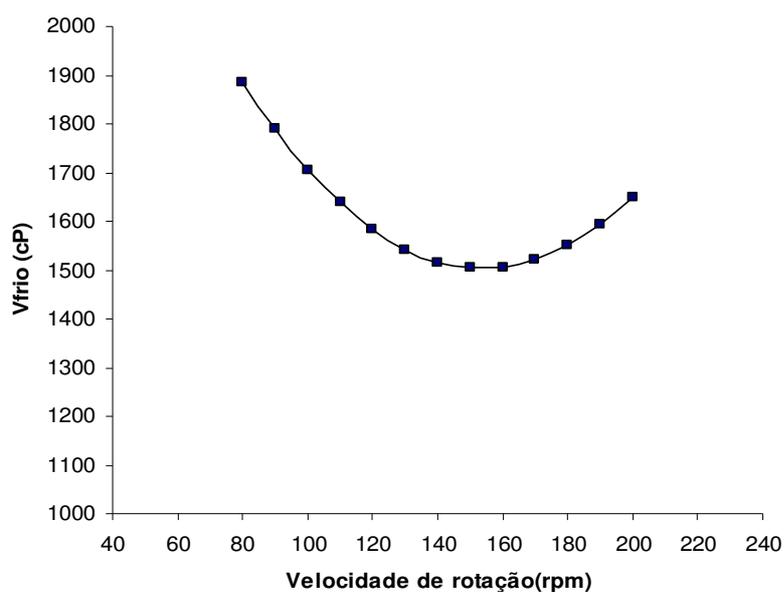


Figura 11. Gráfico de superfície de resposta para viscosidade de pasta a frio (V_{frio}) em função da velocidade de rotação do parafuso.

A **Figura 11** mostra o efeito da variável velocidade de rotação sobre a viscosidade de pasta a frio do extrusado.

5.2.5.2 Viscosidade de pasta máxima à 95°C ($V_{m\acute{a}x}$)

O processo de extrusão leva a uma condição termo-mecânica o que faz com que o material que está sendo extrusado degrade a estrutura molecular do amido, deixando pré-gelatinizado. O RVA irá verificar o efeito desse processo no amido. Somente haverá um pico de viscosidade à 95°C (chamada de temperatura de gelatinização) (BOBBIO & BOBBIO, 1995) aquele grânulo de amido que resistir ao colapso resultante da ação da temperatura e do atrito mecânico (CARVALHO, ASCHERI, CAL-VIDAL, 2002).

A **Tabela 24** são apresentados os resultados da ANOVA da variável resposta $V_{m\acute{a}x}$ à 95°C, enquanto que na **Tabela 25** estão apresentados os resultados de coeficientes de regressão, observa-se que o efeito quadrático da variável temperatura do processo de extrusão foi significativo ($P \leq 0,05$), seguido da interação das variáveis temperatura e o teor de casca de soja.

O efeito da temperatura na viscosidade de pasta à 95°C teve uma influência negativa sobre $V_{m\acute{a}x}$. O aumento da temperatura no processo de extrusão de 100°C para 200°C, mantendo constantes as variáveis rotação do parafuso e o teor de casca, houve uma diminuição no pico máximo no ciclo de aquecimento à 95°C. As altas temperaturas (acima de 180°C) podem destruir a estrutura cristalina do amido, impedindo o intumescimento dos grânulos de amido durante análise do RVA à 95°C. Esse intumescimento reflete no grau de pré-gelatinização que a farinha sofreu no processo de extrusão termoplástica. Quando os grânulos de amido são submetidos a tratamento térmico, ocorre um rompimento nas pontes de hidrogênio que ligam as moléculas em rede micelar e isso favorece a capacidade de hidratação (WANG *et al.*, 2005), o que irá refletir num pico de viscosidade a temperatura ambiente durante a análise do RVA. Porém, dependendo do grau de severidade do processo, a viscosidade de pasta no ciclo de aquecimento irá influenciar no pico máximo, devido a quebra molecular do amido, diminuindo a sua viscosidade à 95°C (ASCHERI *et al.* 2006c).

Tabela 24. Análise de variância para a variável de resposta V_{máx} relativo as variáveis independentes, velocidade de rotação (rpm), temperatura do processo (°C) e teor de casca de soja (%)

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Grau de Liberdade	Quadrado Médio	F	P*
(1) RPM (L)	2554,92	1	2554,92	2,09	0,19
RPM (Q)	323,95	1	323,95	0,27	0,62
(2) TEMP (L)	4684,34	1	4684,34	3,84	0,09
TEMP (Q)	11183,95	1	11183,95	9,17	0,02
(3) %CASCA (L)	102179,10	1	102179,10	83,74	0,00
% CASCA (Q)	989,11	1	989,11	0,81	0,40
1L by 2L	5408,00	1	5408,00	4,43	0,08
1L by 3L	276,13	1	276,13	0,23	0,65
2L by 3L	24420,50	1	24420,50	20,01	0,00
Error	7320,90	6	1220,15		
Falta de Ajuste	7062,2	5	1412,4	6,11	0,29
Total Soma dos Quadrados	167175,90	15			

* P ≤ 0,05 – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático

Tabela 25. Coeficientes de regressão (Equação 1) e R² para V_{máx}

Fonte de Variação	Coeficientes de Regressão	Teste t	P*
(1) RPM (L)	-7,09	-1,61	0,16
RPM (Q)	0,01	0,52	0,62
(2)TEMP (L)	9,73	2,21	0,07
TEMP (Q)	-0,04	-3,03	0,02
(3)%CASCA (L)	10,56	1,31	0,24
%CASCA (Q)	0,07	0,90	0,40
1L by 2L	0,03	2,11	0,08
1L by 3L	0,02	0,48	0,65
2L by 3L	-0,15	-4,47	0,00
R ²	0,96		

* P ≤ 0,05 – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático

O efeito da interação temperatura / teor de casca de soja influenciou negativamente nos resultados de viscosidade máxima. Quanto maior a temperatura do processo e maior o teor de casca de soja adicionado na farinha mista, menor o pico de viscosidade máxima. Pode-se notar que se aumentar apenas o teor de caca de soja de 8 para 32% e manter a rotação do parafuso (120 RPM) e a temperatura utilizada no processo (180°C), houve uma redução na viscosidade máxima (de 478,5 para 175,5 cP), visualizados no Experimento 3 e 4 (**Anexo A - Figuras 21 e 22**), respectivamente. Entretanto, quando se aumentou a temperatura para 200°C (Experimento 12) (**Anexo A - Figura 30**), e teor de casca de soja para 20% , a viscosidade máxima atingiu um pico de 198 cP (**Tabela 21**). A explicação para esta redução de viscosidade de pasta estar relacionado com a EME, a qual diminuiu com o aumento de temperatura da última zona da extrusora, porém quando se aumentou o teor de casca de soja,

verificou um aumento da EME, mostrando que a máquina teve que fazer um maior esforço para aquela farinha com maior quantidade de fibra. Apesar da velocidade de rotação da rosca não ter sido significativo, verifica-se que o aumento a velocidade de rotação de 120 para 180 RPM, a viscosidade de pasta reduziu de 343 para 292 cP. Isto provavelmente se deve ao aumento do atrito do material no interior do extrusor, e assim diminuindo o tamanho das moléculas do amido, consequentemente reduzindo sua viscosidade na análise do RVA.

O coeficiente de correlação múltipla (**Tabela 25**) foi de 96%, indicando um ótimo ajuste do modelo aos dados.

A **Figura 12** mostra o efeito dessas variáveis sobre o extrusado expandido de *grits* de milho e casca de soja.

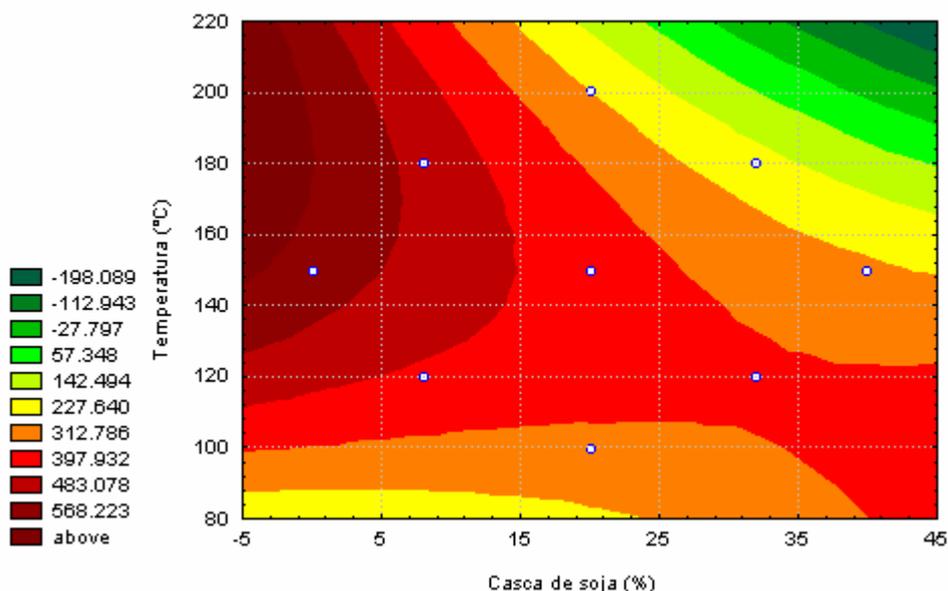


Figura 12. Gráfico de superfície de resposta para o viscosidade de pasta máxima no ciclo de aquecimento ($V_{máx}$) em função da temperatura ($^{\circ}C$) e o teor de casca de soja (%)

5.2.5.3 Viscosidade de pasta mínima após a $95^{\circ}C$ ($V_{mín}$)

A **Tabela 26** apresenta os resultados da ANOVA da variável resposta $V_{mín}$. Nota-se que os efeitos lineares das variáveis temperatura e o conteúdo de casca de soja foram significativos. Enquanto que os efeitos lineares e quadráticos da velocidade de rotação do parafuso, os efeitos quadráticos da temperatura do processo de extrusão e teor de casca de soja, assim como as interações das variáveis não foram significativos ao nível de 5% de significância.

A **Tabela 27** estão apresentados os resultados de Coeficientes de regressão e R^2 . O coeficiente R^2 foi de 95% indicando um ótimo ajuste do modelo aos dados, o que garante a validade das predições efetuadas.

Tabela 26. Análise de variância para a variável de resposta $V_{mín}$ relativo as variáveis independentes, velocidade de rotação (rpm), temperatura do processo (°C) e teor de casca de soja (%)

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Grau de Liberdade	Quadrado Médio	F	P*
(1) RPM (L)	1468,43	1	1468,43	4,36	0,08
RPM (Q)	962,11	1	962,11	2,86	0,14
(2) TEMP (L)	14731,83	1	14731,83	43,75	0,00
TEMP (Q)	1047,37	1	1047,37	3,11	0,13
(3) %CASCA (L)	13485,90	1	13485,90	40,05	0,00
% CASCA (Q)	1392,42	1	1392,42	4,14	0,09
1L by 2L	750,78	1	750,78	2,23	0,19
1L by 3L	26,28	1	26,28	0,08	0,79
2L by 3L	750,78	1	750,78	2,23	0,19
Error	2020,24	6	336,71		
Falta de Ajuste	1888,48	5	377,70	2,77	0,42
Total Soma dos Quadrados	38841,44	15			

* $P \leq 0,05$ – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático

Tabela 27. Coeficientes de regressão (Equação 1) e R^2 para $V_{mín}$

Fonte de Variação	Coefficientes de Regressão	Teste t	P*
(1) RPM (L)	1,34	0,58	0,59
RPM (Q)	-0,01	-1,69	0,14
(2)TEMP (L)	3,57	1,54	0,17
TEMP (Q)	-0,01	-1,76	0,13
(3)%CASCA (L)	-2,80	-0,66	0,53
%CASCA (Q)	0,09	2,03	0,09
1L by 2L	0,01	1,49	0,19
1L by 3L	0,01	0,28	0,79
2L by 3L	-0,03	-1,49	0,19
R^2	0,95		

* $P \leq 0,05$ – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático

5.2.5.4 Viscosidade de pasta final da análise (V_{final})

A viscosidade de pasta final indica a extensão do processo de retrogradação do amido que ocorre durante o resfriamento da análise do RVA. Quando pastas aquecidas são resfriadas, o aumento da viscosidade é governado pela reassociação tendenciosa do amido (HAGENIMANA; DING & FANG, 2006).

A **Tabela 28** apresenta os resultados da ANOVA da variável resposta V_{final}

Tabela 28. Análise de variância para a variável de resposta Vfinal relativo as variáveis independentes, velocidade de rotação (rpm), temperatura do processo (°C) e teor de casca de soja (%)

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Grau de Liberdade	Quadrado Médio	F	P*
(1) RPM (L)	2276,35	1	2276,35	3,27	0,12
RPM (Q)	346,01	1	346,01	0,49	0,51
(2) TEMP (L)	33303,58	1	33303,58	47,89	0,00
TEMP (Q)	187,19	1	187,19	0,27	0,62
(3) %CASCA (L)	33944,04	1	33944,04	48,82	0,00
% CASCA (Q)	5628,05	1	5628,05	8,09	0,03
1L by 2L	1176,12	1	1176,13	1,69	0,24
1L by 3L	1,12	1	1,13	0,00	0,97
2L by 3L	112,50	1	112,50	0,16	0,70
Error	4171,75	6	695,29		
Falta de Ajuste	4087,25	5	817,45	9,67	0,23
Total Soma dos Quadrados	83686,75	15			

* P ≤ 0,05 – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático

Na **Tabela 29**, os resultados de coeficientes de regressão e R². Observa-se que os efeitos lineares da temperatura da última zona do processo e o conteúdo da casca de soja foram significativos, seguido do efeito quadrático do teor de casca de soja. Os efeitos lineares e quadráticos da velocidade de rotação do parafuso e efeito quadrático da variável temperatura não foram significativos (P<0,05).

Tabela 29. Coeficientes de regressão (Equação 1) e R² para Vfinal

Fonte de Variação	Coeficientes de Regressão	Teste t	P*
(1) RPM (L)	-0,39	-0,12	0,91
RPM (Q)	-0,01	-0,71	0,51
(2)TEMP (L)	-2,08	-0,63	0,55
TEMP (Q)	0,00	0,52	0,62
(3)%CASCA (L)	-12,59	-2,07	0,08
%CASCA (Q)	0,17	2,85	0,03
1L by 2L	0,01	1,30	0,24
1L by 3L	-0,00	-0,04	0,97
2L by 3L	0,01	0,40	0,70
R ²	0,95		

* P ≤ 0,05 – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático

O coeficiente R² (**Tabela 29**) foi de 95% indicando um ótimo ajuste do modelo aos dados, o que garante a validade das predições efetuadas.

5.3 Extrusados Não-expandidos Diretos

5.3.1 Energia mecânica específica (EME)

A identificação de Energia Mecânica Específica como parâmetro do sistema é importante para avanço no entendimento da relação entre os parâmetros do processo de extrusão (CISNEROS & KOKINI, 2002).

A **Tabela 30** estão representados os resultados experimentais do estudo para a variável EME.

Tabela 30. Resultados experimentais da energia mecânica específica (EME) obtidos da extrusão de uma mistura casca de soja e milho em função das variáveis velocidade de rotação (rpm), teores de umidade (%) e casca de soja (%)

Experimentos	Teor de casca (%)	Teor de umidade (%)	Velocidade de rotação da rosca (rpm)	EME (W.h/Kg)
1	10	30	110	34,36
2	10	30	170	109,52
3	10	40	110	49,05
4	10	40	170	75,16
5	40	30	110	157,83
6	40	30	170	129,09
7	40	40	110	95,04
8	40	40	170	73,93
9	0	35	140	86,78
10	50	35	140	82,59
11	25	27	140	82,48
12	25	43	140	77,17
13	25	35	89	72,09
14	25	35	190	91,02
15 (C)*	25	35	140	108,66
16 (C)*	25	35	140	79,89
17 (C)*	25	35	140	79,29

*(C) = ponto central

A ANOVA para EME dos extrusados não-expandidos está apresentada na **Tabela 31**, sendo os resultados obtidos quanto ao efeito das variáveis independentes na EME não foram significativos ($P \leq 0,05$). O modelo de regressão adotado não obteve um ajuste satisfatório ($R^2 = 0,68$) conforme os resultados apresentados na **Tabela 32**.

Tabela 31. Análise de variância para a variável de resposta EME relativo as variáveis independentes: teor da casca de soja (%), teor da umidade (%) e velocidade de rotação (rpm)

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Grau de Liberdade	Quadrado Médio	F	P*
(1) % CASCA (L)	2392,80	1	2392,80	4,13	0,08
% CASCA (Q)	1,43	1	1,43	0,00	0,96
(2) UMIDADE (L)	1572,42	1	1572,43	2,71	0,14
UMIDADE (Q)	20,97	1	20,97	0,04	0,85
(3) RPM (L)	507,78	1	507,78	0,88	0,38
RPM (Q)	6,36	1	6,36	0,01	0,92
1L by 2L	1207,26	1	1207,26	2,08	0,19
1L by 3L	2855,15	1	2855,16	4,93	0,06
2L by 3L	214,37	1	214,37	0,37	0,56
Error	4054,29	7	579,18		
Falta de Ajuste	3421,36	5	684,27	2,42	0,31
Total Soma dos Quadrados	12835,70	16			

* P ≤ 0,05 – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático

Tabela 32. Coeficientes de regressão (Equação 1) e R² para EME

Fonte de Variação	Coeficientes de Regressão	Teste t	P*
(1) % CASCA (L)	13,24	2,03	0,08
% CASCA (Q)	0,36	0,05	0,96
(2) UMIDADE (L)	-10,73	-1,65	0,14
UMIDADE (Q)	-1,36	-0,19	0,85
(3) RPM (L)	6,09	0,94	0,38
RPM (Q)	-0,75	-0,10	0,92
1L by 2L	-12,28	-1,44	0,19
1L by 3L	-18,89	-2,22	0,06
2L by 3L	-5,18	-0,61	0,56
R ²	0,68		

* P ≤ 0,05 – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático

5.3.2. Índice de expansão volumétrico (IEV)

Os extrusados não-expandidos diretos frequentemente contêm várias pequenas bolhas em sua matriz. A presença delas pode ser desejável quando essas agem como o centro para a expansão celular do vapor d'água, quando os extrusados são submetidos ao calor, obtendo assim formato semelhante ao da estrutura celular de extrusados expandidos diretos (CISNEROS & KOKINI, 2002).

A **Tabela 33** mostra os resultados experimentais obtidos para as determinações de IEV não-fritos e fritos.

Tabela 33. Resultados experimentais IEV não-fritos e fritos

Experimentos	Teor de casca (%)	Teor de umidade (%)	Velocidade de rotação da rosca (rpm)	IEV não-fritos	IEV fritos
1	10	30	110	1,32	0,39
2	10	30	170	1,96	0,41
3	10	40	110	1,17	0,31
4	10	40	170	1,82	0,31
5	40	30	110	1,74	0,68
6	40	30	170	1,54	0,54
7	40	40	110	0,85	0,52
8	40	40	170	0,87	0,71
9	0	35	140	0,79	0,39
10	50	35	140	0,92	0,87
11	25	27	140	0,84	1,04
12	25	43	140	1,60	0,55
13	25	35	89	0,79	0,73
14	25	35	190	0,77	0,79
15 (C)*	25	35	140	1,86	0,44
16 (C)*	25	35	140	0,91	0,68
17 (C)*	25	35	140	0,86	0,69

*(C) = ponto central

As **Tabelas 34** e **35** apresentam os resultados de ANOVA, relativos às variáveis independentes: velocidade de rotação, teores de casca de soja e umidade para as variáveis respostas IEV não-fritos e fritos, respectivamente.

Tabela 34. Análise de variância para a variável de resposta índice de expansão volumétrico (IEV) não-fritos relativo as variáveis independentes: teor da casca de soja (%), teor da umidade (%) e velocidade de rotação (rpm)

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Grau de Liberdade	Quadrado Médio	F	P*
(1) % CASCA (L)	0,07	1	0,07	0,23	0,65
% CASCA (Q)	0,01	1	0,01	0,02	0,89
(2) UMIDADE (L)	0,03	1	0,03	0,09	0,78
UMIDADE (Q)	0,13	1	0,13	0,39	0,55
(3) RPM (L)	0,09	1	0,09	0,28	0,61
RPM (Q)	0,03	1	0,03	0,08	0,78
1L by 2L	0,18	1	0,18	0,57	0,47
1L by 3L	0,29	1	0,29	0,91	0,37
2L by 3L	0,01	1	0,01	0,03	0,86
Error	2,25	7	0,32		
Falta de Ajuste	1,56	5	0,31	0,98	0,57
Total Soma dos Quadrados	3,15	16			

* P ≤ 0,05 – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático

Tabela 35. Análise de variância para a variável de resposta índice de expansão volumétrico (IEV) fritos relativo as variáveis independentes: teor da casca de soja (%), teor da umidade (%) e velocidade de rotação (rpm)

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Grau de Liberdade	Quadrado Médio	F	P*
(1) % CASCA (L)	0,25	1	0,25	5,56	0,05
% CASCA (Q)	0,03	1	0,02	0,57	0,47
(2) UMIDADE (L)	0,07	1	0,07	1,62	0,24
UMIDADE (Q)	0,00	1	0,00	0,04	0,84
(3) RPM (L)	0,00	1	0,00	0,05	0,83
RPM (Q)	1,66E-05	1	1,66389E-05	0,00	0,99
1L by 2L	0,00	1	0,00	0,09	0,77
1L by 3L	0,00	1	0,00	0,00	0,95
2L by 3L	0,01	1	0,01	0,29	0,61
Error	0,31	7	0,04		
Falta de Ajuste	0,27	5	0,05	2,73	0,28
Total Soma dos Quadrados	0,69	16			

* $P \leq 0,05$ – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático

Não foi observado efeitos significativos para as variáveis respostas, IEV fritos e não-fritos ao nível de 5% de significância.

O coeficiente R^2 foi apenas 29% para o IEV não-fritos (**Tabela 36**) e 55% para o IEV fritos (**Tabela 37**), o que indica que o modelo não teve um bom ajuste para os resultados experimentais obtidos. Uma vez que o coeficiente de regressão foi inferior a 70%, o modelo matemático não foi representado graficamente na forma de superfície resposta.

Tabela 36. Coeficientes de regressão (Equação 1) e R^2 para IEV não-fritos

Fonte de Variação	Coeficientes de Regressão	Teste t	P*
(1) % CASCA (L)	-0,07	-0,48	0,65
% CASCA (Q)	-0,02	-0,13	0,89
(2) UMIDADE (L)	-0,04	-0,29	0,78
UMIDADE (Q)	0,11	0,63	0,55
(3) RPM (L)	0,08	0,53	0,61
RPM (Q)	-0,05	-0,29	0,78
1L by 2L	-0,15	-0,75	0,47
1L by 3L	-0,19	-0,95	0,37
2L by 3L	0,04	0,18	0,86
R^2	0,29		

* $P \leq 0,05$ – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático

Tabela 37. Coeficientes de regressão (Equação 1) e R² para IEV fritos

Fonte de Variação	Coefficientes de Regressão	Teste t	P*
(1) % CASCA (L)	0,13	2,36	0,05
% CASCA (Q)	-0,05	-0,76	0,47
(2) UMIDADE (L)	-0,07	-1,27	0,24
UMIDADE (Q)	0,01	0,20	0,84
(3) RPM (L)	0,01	0,22	0,83
RPM (Q)	0,00	0,02	0,99
1L by 2L	0,02	0,31	0,77
1L by 3L	0,01	0,07	0,95
2L by 3L	0,04	0,54	0,61
R ²	0,55		

* P ≤ 0,05 – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático

A **Figura 13** mostra as imagens digitalizadas dos extrusados não-expandidos antes e após a fritura. Observa-se que o aumento do teor de umidade (30 para 40% - experimentos 5 e 7, respectivamente) influenciou negativamente o aspecto visual do produto final. De acordo com BORBA, SARMENTO & LEONEL (2005) a água tem efeito inverso sobre a expansão agindo como plastificante para materiais amiláceos, reduzindo sua viscosidade e a dissipação da energia mecânica no extrusor e, assim, o produto fica mais denso e o crescimento de bolhas é reduzido. O aumento da quantidade de água durante a extrusão pode mudar a estrutura molecular do material, reduzindo a viscosidade elástica e assim, a expansão. Da mesma forma ALVIM, SGARBIERI & CHANG (2002) mostraram uma relação inversa entre expansão do material extrusado e teor de umidade inicial em extrusados obtidos de farinha mista de milho, leveduras e caseína. Segundo esses mesmos autores a justificativa seria que em altas umidades, o material fundido é mais elástico, formando uma matriz de pequenas células de tamanhos uniformes, enquanto que em baixa umidade o material extrusado tem células maiores e pouco uniformes, e o material formado torna-se pouco elástico.

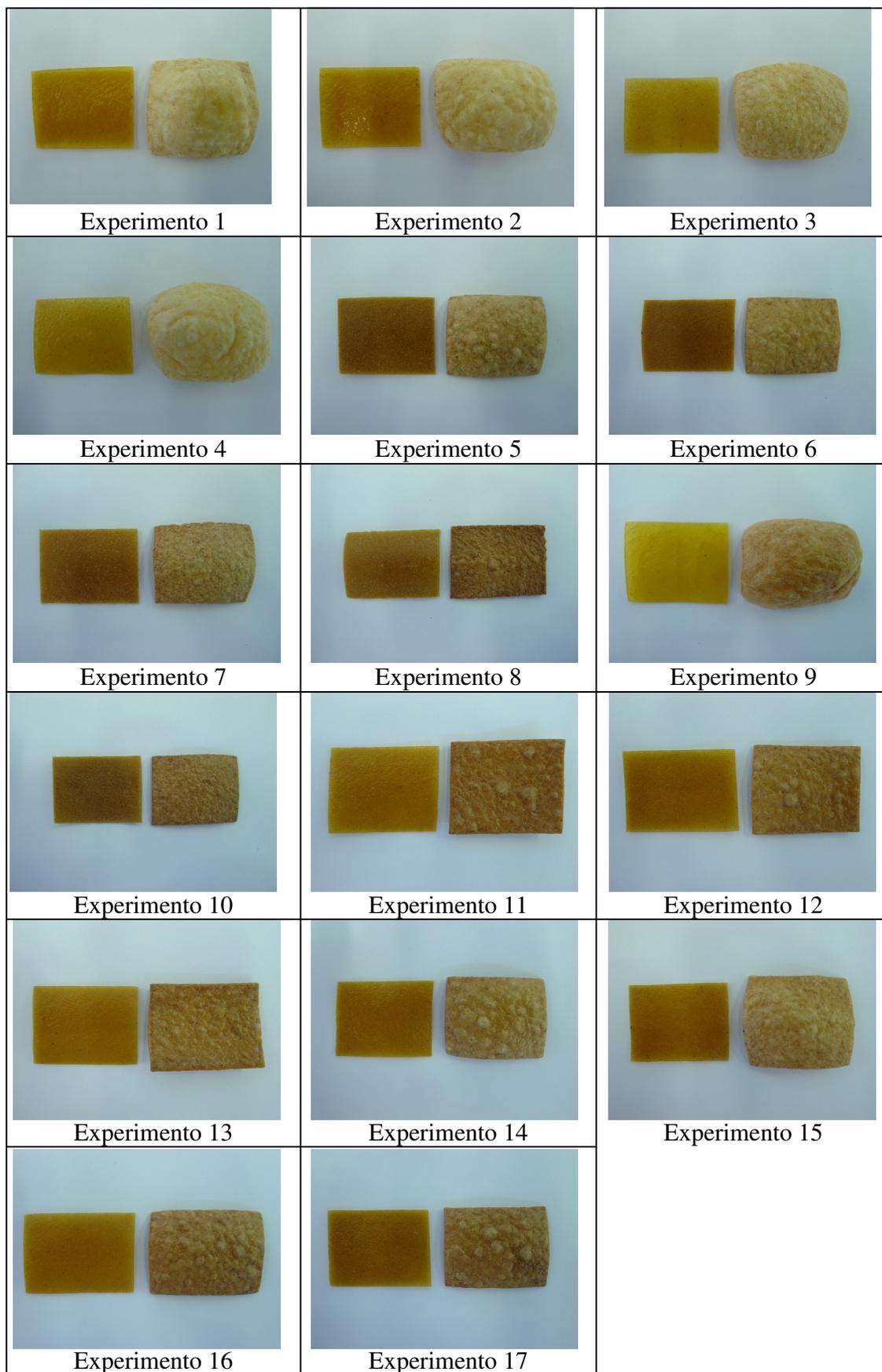


Figura 13. Imagens dos extrusados não-expandidos crus (a esquerda) e fritos (a direita).

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

Na **Tabela 38** mostra os resultados experimentais obtidos para as determinações de ISA e IAA. Os resultados da ANOVA da variável resposta ISA estão apresentados na **Tabela 39**.

Tabela 38. Resultados experimentais de ISA e IAA

Experimentos	Teor de casca (%)	Teor de umidade (%)	Velocidade de rotação da rosca (rpm)	ISA	IAA
1	10	30	110	5,04	7,18
2	10	30	170	4,26	7,19
3	10	40	110	5,90	5,62
4	10	40	170	3,68	4,72
5	40	30	110	10,38	5,23
6	40	30	170	11,72	5,43
7	40	40	110	6,22	4,94
8	40	40	170	4,50	4,74
9	0	35	140	9,26	5,45
10	50,22	35	140	6,25	5,60
11	25	26,59	140	4,98	6,12
12	25	43,41	140	5,45	5,47
13	25	35	89,54	4,43	6,75
14	25	35	190,45	4,34	6,04
15 (C)*	25	35	140	5,01	6,16
16 (C)*	25	35	140	5,29	5,73
17 (C)*	25	35	140	7,27	6,16

*(C) = ponto central

Tabela 39. Análise de variância para a variável de resposta ISA relativo as variáveis independentes: teor da casca de soja (%), teor da umidade (%) e velocidade de rotação (rpm)

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Grau de Liberdade	Quadrado Médio	F	P*
(1) % CASCA (L)	5,77	1	5,77	1,19	0,33
% CASCA (Q)	7,63	1	7,63	1,48	0,26
(2) UMIDADE (L)	7,77	1	7,77	1,51	0,26
UMIDADE (Q)	0,06	1	0,06	0,01	0,91
(3) RPM (L)	0,92	1	0,92	0,18	0,68
RPM (Q)	1,54	1	1,54	0,29	0,60
1L by 2L	16,96	1	16,96	3,29	0,11
1L by 3L	0,86	1	0,86	0,17	0,69
2L by 3L	2,54	1	2,54	0,49	0,50
Erro	36,14	7	5,16		
Falta de Ajuste	32,56	5	6,51	4,30	0,19
Total Soma dos Quadrados	83,65	16			

* P ≤ 0,05 – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático

Não foi observado efeitos significativos para a variável resposta (**Tabela 39**), ISA ao nível de 5% de significância.

Na **Tabela 40** apresenta os resultados da ANOVA.

Tabela 40. Análise de variância para a variável de resposta IAA relativa as variáveis independentes: teor da casca de soja (%), teor da umidade (%) e velocidade de rotação (rpm)

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Grau de Liberdade	Quadrado Médio	F	P*
(1) % CASCA (L)	1,25	1	1,25	3,99	0,09
% CASCA (Q)	0,62	1	0,62	1,97	0,20
(2) UMIDADE (L)	2,75	1	2,75	8,80	0,02
UMIDADE (Q)	0,21	1	0,21	0,67	0,44
(3) RPM (L)	0,32	1	0,31	1,02	0,35
RPM (Q)	0,06	1	0,06	0,20	0,66
1L by 2L	1,16	1	1,16	3,72	0,09
1L by 3L	0,09	1	0,09	0,31	0,59
2L by 3L	0,21	1	0,21	0,68	0,43
Erro	2,18	7	0,31		
Falta de Ajuste	1,95	5	0,39	6,33	0,14
Total Soma dos Quadrados	8,99	16			

* $P \leq 0,05$ – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático

O coeficiente R^2 (**Tabela 41**) foi apenas 57,0% para o ISA, o que indica que o modelo não teve um bom ajuste para os resultados experimentais obtidos. Uma vez que o coeficiente de regressão foi inferior a 70%, o modelo não foi representado graficamente.

Tabela 41. Coeficientes de regressão (Equação 1) e R^2 para ISA

Fonte de Variação	Coeficientes de Regressão	Teste t	P*
(1) % CASCA (L)	0,65	1,06	0,33
% CASCA (Q)	0,82	1,22	0,26
(2) UMIDADE (L)	-0,75	-1,23	0,26
UMIDADE (Q)	-0,08	-0,11	0,91
(3) RPM (L)	-0,26	-0,42	0,69
RPM (Q)	-0,37	-0,55	0,60
1L by 2L	-1,46	-1,81	0,11
1L by 3L	0,33	0,41	0,69
2L by 3L	-0,56	-0,70	0,50
R^2	0,57		

* $P \leq 0,05$ – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático

A **Tabela 42** mostra os resultados de Coeficiente de Regressão da variável resposta IAA. Podemos observar que IAA apresentou o efeito linear da variável umidade significativo ($P \leq 0,05$).

Tabela 42. Coeficientes de regressão (Equação 1) e R^2 para IAA

Fonte de Variação	Coeficientes de Regressão	Teste t	P*
(1) %CASCA (L)	-0,30	-1,99	0,09
% CASCA (Q)	-0,23	-1,40	0,20
(2) UMIDADE (L)	-0,44	-2,97	0,02
UMIDADE (Q)	-0,14	-0,82	0,44
(3) RPM (L)	-0,15	-1,01	0,35
RPM (Q)	0,07	0,45	0,66
1L by 2L	0,38	1,93	0,09
1L by 3L	0,11	0,56	0,59
2L by 3L	-0,16	-0,82	0,44
R^2	0,76		

* $P \leq 0,05$ – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático

Através da **Tabela 42**, pode-se notar que a variável umidade influenciou de forma negativa no índice de absorção de água.

Apesar da afinidade da fibra alimentar pela água, fazendo com que este componente inchasse, aumentando de tamanho devido à absorção de água do sistema (BUENO, 2005), outros componentes com a desnaturação da proteína e a gelatinização do amido ocorrido durante o processo de extrusão SINGH, SEKHON, SINGH (2006), podem contribuir para o aumento do IAA. De acordo com estudo feito por WANG, CABRAL & FERNANDES (1997), o trabalho mostrou que o alto teor de fibra bruta (48,46%) contida na casca de soja contribuiu para o aumento da absorção de água em biscoitos contendo até 30% de casca de soja. Porém, este resultado não foi encontrado por este estudo.

A hipótese para a diminuição do IAA está relacionado à fibra contida na casca de soja. Apesar de não ter sido significativo ($P = 0,09$), o teor de casca de soja pode ter contribuído para a redução do IAA, devido à diluição de amido na formulação. Isto veio a corroborar com o estudo feito por SINGH, SEKHON, SINGH (2006), que mostrou que adição de ervilha em extrusados com arroz diminuiu o índice de absorção de água.

Com relação ao efeito linear da umidade, verificou que conforme o aumento da umidade na farinha mista, menor foi o IAA encontrado. A possível explicação para este fato, é que a fibra devido a sua estrutura pode ter impedido que o amido presente na formulação sofresse degradação de suas partículas. Outra explicação seria que o aumento de quantidade de fibra da casca de soja na formulação diminuiu a quantidade de amido presente na mesma. Isto pode ser observado nos dados experimentais, apesar do teor de casca de soja não ter sido significativo, pode-se notar que à medida que aumentamos a proporção de casca de soja na farinha mista, menor foram os valores encontrados no IAA.

O coeficiente R^2 (**Tabela 42**) foi de 76% indicando um bom ajuste do modelo aos dados, o que garante a validade das predições efetuadas.

5.3.4 Viscosidade de pasta

A **Tabela 43** mostra os resultados experimentais obtidos para as determinações de viscosidade pasta à frio a 25°C (Vfrio), máxima a 95°C (Vmax), mínima após 95°C (Vmín) e final da análise (Vfinal), sendo que os gráficos das curvas de RVA estão representados em **anexo B**. Das variáveis respostas analisadas somente viscosidade a frio (Vfrio) não

apresentou o coeficiente de regressão superior a 70% portanto não foi representada graficamente com superfície de resposta.

Tabela 43. Resultados experimentais de viscosidade de pasta

Experimentos	Teor de casca (%)	Teor de umidade (%)	Velocidade de rotação da rosca (rpm)	Vfrio (cP)	Vmáx (cP)	Vmín (cP)	Vfinal (cP)
1	10	30	110	120,0	282,5	150,0	681,5
2	10	30	170	126,5	299,0	161,0	633,0
3	10	40	110	43,5	345,0	237,0	507,0
4	10	40	170	38,0	376,0	262,5	478,0
5	40	30	110	217,0	206,5	72,0	156,5
6	40	30	170	260,0	192,0	70,5	147,5
7	40	40	110	38,0	169,0	110,0	203,5
8	40	40	170	24,0	184,0	109,5	203,0
9	0	35	140	39,0	395,0	255,0	689,0
10	50,22	35	140	39,0	158,0	70,0	136,0
11	25	26,59	140	50,5	232,0	105,5	280,0
12	25	43,41	140	41,0	265,5	135,0	342,0
13	25	35	89,54	65,0	248,5	114,0	385,5
14	25	35	190,45	38,0	310,0	147,0	341,5
15 (C)*	25	35	140	73,5	282,0	121,0	297,5
16 (C)*	25	35	140	48,0	253,5	117,0	308,5

5.3.4.1 Viscosidade de pasta a frio (Vfrio)

A **Tabela 44** são apresentados os resultados da ANOVA da variável resposta Vfrio.

Tabela 44. Análise de variância para a variável de resposta Vfrio relativo as variáveis independentes, velocidade de rotação (rpm), umidade (%) e teor de casca de soja (%)

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Grau de Liberdade	Quadrado Médio	F	P*
(1) %CASCA (L)	3259,98	1	3259,97	0,70	0,43
%CASCA (Q)	539,67	1	539,67	0,12	0,74
(2) UMIDADE (L)	26008,08	1	26008,08	5,62	0,05
UMIDADE (Q)	976,16	1	976,16	0,21	0,66
(3) RPM (L)	17,38	1	17,38	0,00	0,95
RPM (Q)	1449,28	1	1449,27	0,31	0,59
1L by 2L	7812,50	1	7812,50	1,69	0,23
1L by 3L	98,00	1	98,00	0,02	0,89
2L by 3L	595,12	1	595,12	0,13	0,73
Erro	32419,05	7	4631,29		
Falta de Ajuste	30573,00	5	6114,60	36,55	0,02
Total Soma dos Quadrados	72161,24	16			

* P ≤ 0,05 – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático

A **Tabela 45** mostra os resultados de coeficiente de regressão e R^2 .

Tabela 45. Coeficientes de regressão (Equação 1) e R^2 para Vfrio

Fonte de Variação	Coeficientes de Regressão	Teste t	P*
(1) %CASCA (L)	15,45	0,84	0,43
%CASCA (Q)	6,92	0,34	0,74
(2) UMIDADE (L)	-43,64	-2,37	0,05
UMIDADE (Q)	9,30	0,46	0,66
(3) RPM (L)	-1,18	-0,06	0,95
RPM (Q)	11,34	0,56	0,59
1L by 2L	-31,25	-1,29	0,24
1L by 3L	3,50	0,15	0,89
2L by 3L	-8,63	-0,36	0,73
R^2	0,55		

* $P \leq 0,05$ – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático

Observa-se que o efeito linear da variável teor de umidade foi significativo. Os efeitos lineares e quadráticos das variáveis velocidade de rotação do parafuso e conteúdo de casca de soja não foram significativos ($P < 0,05$). Assim como efeito quadrático do teor de umidade.

De acordo com a **Tabela 45**, o efeito linear da umidade influenciou negativamente no resultado ($P \leq 0,05$). A medida que se aumentou o teor de umidade, a viscosidade de pasta a temperatura à 25°C foi reduzida. Isso veio a corroborar com o estudo feito por WANG *et al.* (2006) que mostrou que tanto a elevação da temperatura durante o processo de extrusão, assim como o aumento do nível de umidade intensificam o processo de gelatinização do amido, causando quebra do amido e desta forma podendo reduzir a sua capacidade de formar gel em farinhas mistas de trigo e soja. Entretanto o coeficiente de determinação (R^2) (**Tabela 45**) foi de 55% indicando que não houve um bom ajuste dos dados experimentais ao modelo proposto. Apesar do resultado teor de umidade encontrado ter sido significativo ao nível de significância 5%.

5.3.4.2 Viscosidade de pasta máxima à 95°C ($V_{m\acute{a}x}$)

A **Tabela 46** apresenta os resultados da ANOVA da variável resposta $V_{m\acute{a}x}$). Nesta tabela observa-se que os efeitos lineares das variáveis teor de casca de soja, umidade e velocidade de rotação do parafuso foram significativos, seguido da interação das variáveis teor de casca de soja e velocidade de rotação do parafuso ($P \leq 0,05$).

O aumento do teor de casca na mistura reduziu a viscosidade de pasta do ciclo de aquecimento a 95°C. Esta redução indica que houve maior quebra da integridade molecular do amido ou simplesmente diluição da concentração.

Quanto ao efeito de umidade, o pico e gelatinização aumentaram com o alto teor da umidade da mistura extrusada, o que pode ser explicado pelo efeito lubrificante da água dentro da extrusora. Isto deve ter reduzido a taxa de cisalhamento na fração amilácea da amostra. No estudo feito por SILVA *et al.* (2004) com amido de milho, o aumento de teor de água contribuiu para a menor degradação do amido e para uma maior viscosidade máxima e conseqüente viscosidade final.

Tabela 46. Análise de variância para a variável de resposta viscosidade de pasta máxima (Vmáx) no ciclo de aquecimento relativo as variáveis independentes, velocidade de rotação (rpm), umidade (%) e teor de casca de soja (%)

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Grau de Liberdade	Quadrado Médio	F	P*
(1) %CASCA (L)	66026,29	1	66026,29	319,09	4,2533E-07
%CASCA (Q)	31,02	1	31,02	0,15	0,71
(2) UMIDADE (L)	1655,00	1	1655,00	7,99	0,03
UMIDADE (Q)	749,24	1	749,25	3,62	0,09
(3) RPM (L)	1679,09	1	1679,09	8,11	0,02
RPM (Q)	78,05	1	78,04	0,38	0,56
1L by 2L	4278,13	1	4278,13	20,68	0,00
1L by 3L	276,13	1	276,13	1,33	0,29
2L by 3L	242,00	1	242,00	1,17	0,32
Erro	1448,41	7	206,92		
Falta de Ajuste	933,15	5	186,63	0,79	0,63
Total Soma dos Quadrados	76778,88	16			

* P ≤ 0,05 – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático

Os coeficientes de regressão e R² estão representados na **Tabela 47**.

Tabela 47. Coeficientes de regressão (Equação 1) e R² para Vmáx

Fonte de Variação	Coeficientes de Regressão	Teste t	P*
(1) %CASCA (L)	-69,53	-17,86	4,25E-07
%CASCA (Q)	1,66	0,39	0,71
(2) UMIDADE (L)	11,01	2,83	0,03
UMIDADE (Q)	-8,15	-1,90	0,09
(3) RPM (L)	11,09	2,85	0,02
RPM (Q)	2,63	0,61	0,56
1L by 2L	-23,13	-4,55	0,00
1L by 3L	-5,88	-1,16	0,29
2L by 3L	5,50	1,08	0,32
R ²	0,98		

* P ≤ 0,05 – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático

O efeito do aumento da velocidade de rotação do parafuso, pode ter contribuído para diminuir o tempo de retenção da mistura no interior da extrusora e ao reduzir o tempo de processamento, menor foi o contato da amostra com as partes aquecidas, muito embora a rotação do parafuso esteja, segundo alguns autores, relacionada ao aumento da taxa de cisalhamento no sistema extrusados expandidos diretos. Isto veio a corroborar com o estudo feito por WANG, JING & YUAN (2007) mostrou que teores de umidade superior a 25% e velocidade de rotação acima de 180 rpm, acelerou o movimento das amostras contendo goma guar através da extrusora, o que contribui para diminuir o tempo de residência do material na máquina. No entanto, como o teor de umidade no processamento de extrusados não-expandidos pode chegar a três vezes o teor de umidade desses tipos de extrusados (ASCHERI

& CARVALHO, 1997), a presença de água associada à rotação deve reduzir a viscosidade do sistema e conseqüentemente aumentar a fluidez do material com o aumento da rotação do parafuso.

A **Figura 14** mostra o efeito das variáveis umidade e casca de soja sobre a viscosidade de pasta máxima do extrusado.

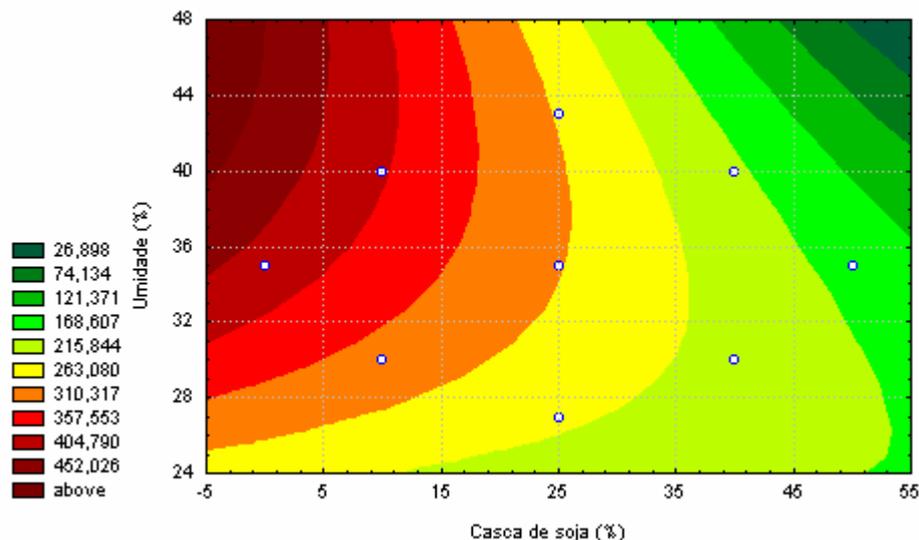


Figura 14. Gráfico de superfície de resposta para viscosidade de pasta máxima no ciclo de aquecimento ($V_{m\acute{a}x}$) em função da umidade (%) e o teor de casca de soja (%).

5.3.4.3 Viscosidade de pasta mínima após a 95°C ($V_{m\acute{i}n}$)

A **Tabela 48** apresenta os resultados da ANOVA da variável resposta $V_{m\acute{i}n}$. Nota-se que os efeitos lineares das variáveis conteúdo de casca de soja e umidade e o quadrático do teor de casca de soja foram significativos.

Tabela 48. Análise de variância para a variável de resposta viscosidade de pasta mínima ($V_{m\acute{i}n}$) relativo as variáveis independentes, velocidade de rotação (rpm), umidade (%) e teor de casca de soja (%)

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Grau de Liberdade	Quadrado Médio	F	P*
(1) %CASCA (L)	42252,8	1	42252,79	128,20	9,38E-06
%CASCA (Q)	3160,41	1	3160,41	9,59	0,02
(2) UMIDADE (L)	7270,80	1	7270,79	22,06	0,00
UMIDADE (Q)	36,76	1	36,76	0,11	0,75
(3) RPM (L)	593,09	1	593,09	1,79	0,22
RPM (Q)	332,36	1	332,36	1,01	0,35
1L by 2L	1554,03	1	1554,03	4,72	0,07
1L by 3L	185,28	1	185,28	0,56	0,48
2L by 3L	30,03	1	30,03	0,09	0,77
Erro	2307,06	7	329,58		
Falta de Ajuste	2089,88	5	417,98	59,71	0,02
Total Soma dos Quadrados	57494,06	16			

* $P \leq 0,05$ – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático

A **Tabela 49** estão apresentados os resultados de Coeficientes de regressão e R^2 .

Tabela 49. Coeficientes de regressão (Equação 1) e R^2 para $V_{mín}$

Fonte de Variação	Coeficientes de Regressão	Teste t	P*
(1) %CASCA (L)	-55,62	-11,32	9,38E-06
%CASCA (Q)	16,74	3,09	0,02
(2) UMIDADE (L)	23,07	4,69	0,00
UMIDADE (Q)	1,81	0,33	0,75
(3) RPM (L)	6,59	1,34	0,22
RPM (Q)	5,43	1,00	0,35
1L by 2L	-13,94	-2,17	0,07
1L by 3L	-4,81	-0,75	0,48
2L by 3L	1,94	0,30	0,77
R^2	0,96		

* $P \leq 0,05$ – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático

A **Tabela 49** mostra que a medida que se aumentou a quantidade de casca de soja na farinha mista para produção dos extrusados, menor foi a viscosidade de pasta mínima. Enquanto que o aumento do teor de umidade no material apresentou um efeito diretamente proporcional, ou seja, aumentou a viscosidade de pasta mínima.

O coeficiente R^2 (**Tabela 49**) foi de 96% indicando um ótimo ajuste do modelo aos dados, o que garante a validade das predições efetuadas.

A **Figura 15** mostra os efeitos das variáveis umidade e casca de soja sobre a viscosidade de pasta mínima do extrusado.

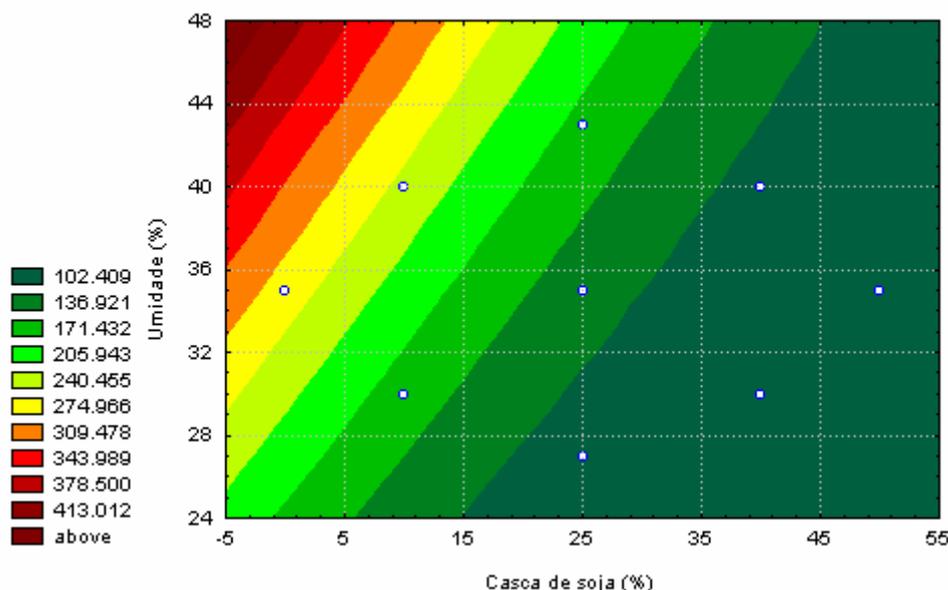


Figura 15. Gráfico de superfície de resposta para viscosidade de pasta mínima ($V_{mín}$) em função da umidade (%) e o teor de casca de soja (%).

5.3.4.4 Viscosidade de pasta final da análise (Vfinal)

A **Tabela 50** apresenta os resultados da ANOVA da variável resposta Vfinal.

Tabela 50. Análise de variância para a variável de resposta viscosidade de pasta final (Vfinal) relativo as variáveis independentes, velocidade de rotação (rpm), umidade (%) e teor de casca de soja (%)

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Grau de Liberdade	Quadrado Médio	F	P*
(1) %CASCA (L)	464639,90	1	464639,89	277,01	6,91E-07
%CASCA (Q)	17415,40	1	17415,39	10,38	0,01
(2) UMIDADE (L)	1102,92	1	1102,92	0,66	0,44
UMIDADE (Q)	131,75	1	131,75	0,08	0,79
(3) RPM (L)	1897,99	1	1897,99	1,13	0,32
RPM (Q)	5446,46	1	5446,46	3,25	0,11
1L by 2L	23328,00	1	23328,00	13,91	0,01
1L by 3L	578,00	1	578,00	0,34	0,58
2L by 3L	98,00	1	98,00	0,06	0,82
Erro	11741,24	7	1677,32		
Falta de Ajuste	10949,5	5	2189,9	20,80	0,05
Total Soma dos Quadrados	523581,50	16			

* $P \leq 0,05$ – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático

A **Tabela 51** apresenta os resultados de Coeficientes de regressão e R^2 . Observa-se que os efeitos linear e quadrático do conteúdo da casca de soja foram significativos, seguido da interação do teor de casca de soja e a umidade.

Tabela 51. Coeficientes de regressão (Equação 1) e R^2 para Vfinal

Fonte de Variação	Coeficientes de Regressão	Teste t	P*
(1) %CASCA (L)	-184,45	-16,64	6,91E-07
%CASCA (Q)	39,30	3,22	0,01
(2) UMIDADE (L)	-8,99	-0,81	0,44
UMIDADE (Q)	3,42	0,28	0,79
(3) RPM (L)	-11,79	-1,06	0,32
RPM (Q)	21,98	1,80	0,11
1L by 2L	54,00	3,73	0,01
1L by 3L	8,50	0,59	0,58
2L by 3L	3,50	0,24	0,82
R^2	0,96		

* $P \leq 0,05$ – significância ao nível de 5%; (L) = efeito linear; (Q) = efeito quadrático

Na **Tabela 51** observa-se que conforme aumentou o conteúdo de casca de soja, houve uma diminuição na viscosidade de pasta final. A viscosidade de pasta final está relacionado a viscosidade máxima, ou seja, ao grau de degradação do amido. A diminuição na magnitude do pico da viscosidade reflete degradação molecular e gelatinização do amido

(HAGENIMANA, DING & FANG, 2006). A explicação para redução da viscosidade de pasta final da análise do RVA é a provável diminuição da fração amilácea na amostra contendo maiores teores de casca de soja.

Com relação a interação dos conteúdos casca de soja e umidade nota-se que o aumento dessas variáveis, elevou a viscosidade de pasta final o que pode ser visualizado no Experimentos 5 e 7 (**Anexo B**). A viscosidade de pasta final acontece quando o gel formado pelo amido ao ser resfriado, as moléculas tentam a reassociação de suas estruturas originais. Este processo é denominado de retrogradação que consiste de dois processos separadamente: a geleificação e cristalização da amilose e a recristalização da amilopectina (JACOBS & DELCOUR, 1998).

O coeficiente de determinação (R^2) (**Tabela 51**) foi de 96% indicando um ótimo ajuste do modelo aos dados, o que garante a validade das previsões efetuadas.

A **Figura 16** mostra o efeito das variáveis umidade e teor de casca de soja sobre a viscosidade de pasta final da análise do extrusado.

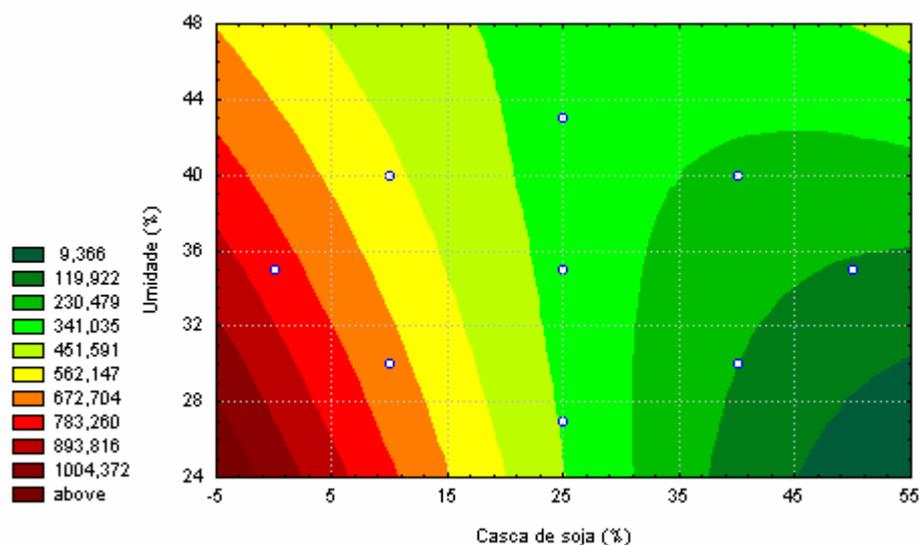


Figura 16. Gráfico de superfície de resposta para viscosidade de pasta final (V_{final}) em função da umidade (%) e o teor de casca de soja (%).

5.4 Análise Sensorial

Conforme dito em Metodologia, a análise sensorial seria feita para avaliar a aceitabilidade dos dois produtos extrusados a base de milho adicionado de casca de soja. Entretanto, os extrusados não-expandidos diretos não apresentaram boa expansão após a fritura, sendo desconsiderados para a análise sensorial.

A aceitabilidade dos extrusados expandidos diretos é crítica por causa da qualidade específica de seus atributos que são reponsáveis por atrair o seu consumo. Dentre os vários atributos sensoriais existentes, aqueles que são utilizados para avaliar os extrusados são: aparência, cor, aroma e textura, sendo o último o mais importante no caso específico para os produtos extrusados expandidos (MAZUMDER, ROOPA & BHATTACHARYA, 2006).

Os resultados obtidos na análise sensorial foram avaliados por meio de análise de variância (ANOVA). Foi feita análise estatística comparativa das médias das notas obtidas, adotando-se um nível de confiança de 95%.

De acordo com dos resultados expressos na **Tabela 52** e representados na **Figura 17**, nota-se que o aumento da proporção de casca de soja no produto extrusado expandido de

milho, resultou na redução do valor dado pelo consumidor com relação à Preferência Global. Vale ressaltar que as notas dos extrusados expandidos com os conteúdos de 20 e 30% foram muito similares (5,67 e 5,63, respectivamente), demonstrando que os provadores não perceberam diferenças nas características sensoriais entre esses dois produtos.

Tabela 52. Análise de variância para os resultados Preferência Global

Categorias	Média	Grupos
0% de casca de soja	7,41	A
10% de casca de soja	6,08	B
20% de casca de soja	5,68	B
30% de casca de soja	5,64	B
40% de casca de soja	4,50	C

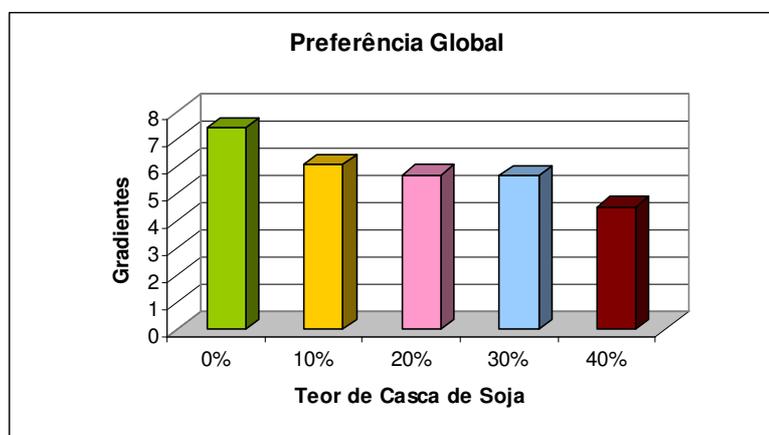


Figura 17. Distribuição das médias das notas segundo Preferência Global.

A textura aerada e crocante são as características mais importantes na avaliação sensorial do produto extrusado expandido. Nos resultados obtidos com relação a Textura (**Tabela 53** e **Figura 18**), o extrusado contendo apenas milho na sua composição apresentou uma nota maior que 7 (7,66), ou seja, os consumidores gostaram moderadamente, enquanto o extrusado contendo 10% de casca de soja teve uma nota maior que 6 (6,61), indicando que os consumidores gostaram ligeiramente do produto. Segundo o estudo feito por TAKEUCHI, SABADINI & CUNHA (2005), cujos autores analisaram as propriedades sensoriais de 3 produtos extrusados contendo arroz, milho e trigo, a textura aparece como um fator extremamente importante em alimentos do tipo crocante e extrusado. A característica de crocância está associada a frescor e qualidade do produto e a sua perda, caracterizada pelo amolecimento é uma das causas de rejeição de consumo.

Tabela 53. Análise de variância para os resultados Textura

Categorias	Médias	Grupos
0% de casca de soja	7,66	A
10% de casca de soja	6,61	B
20% de casca de soja	6,35	B
30% de casca de soja	6,28	B
40% de casca de soja	5,13	C

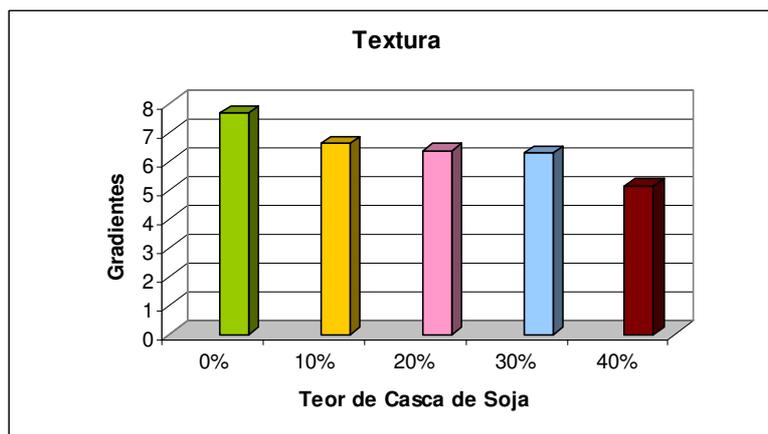


Figura 18. Distribuição das médias das notas segundo atributo Textura.

Da mesma forma que o resultado encontrado na **Figura 18**, os extrusados com 20 e 30% de casca de soja continuaram não apresentando diferenças significativas (6,35 e 6,27, respectivamente) no atributo Textura.

Na **Tabela 54** e **Figura 19**, são apresentados os resultados obtidos na intenção de compra por parte dos avaliadores. Neste caso observa-se que a diferença das notas encontradas nos produtos com 0% e 10% de casca de soja aumentou, 7,33 e 5,55 respectivamente. Concomitantemente, nota-se que a diferença entre os extrusados com 10, 20 e 30% de casca de soja diminuiu (5,55, 5,25 e 5,17). Entretanto, a nota obtida pelo extrusado com 40% de soja foi de 3,9, demonstrando que os avaliadores provavelmente não comprariam esse tipo de produto.

Tabela 54. Análise de variância para os resultados Intenção de compra

Categorias	Média	Grupos
0% de casca de soja	7,34	A
10% de casca de soja	5,55	B
20% de casca de soja	5,25	B
30% de casca de soja	5,18	B
40% de casca de soja	3,90	C

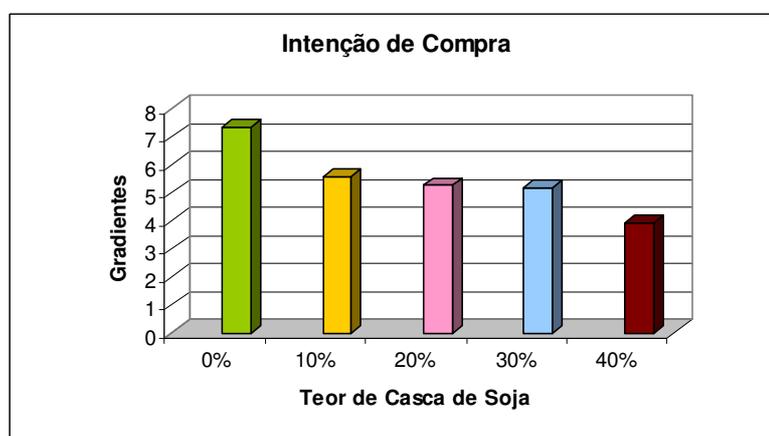


Figura 19. Distribuição das médias das notas segundo a Intenção de compra.

A **Figura 20** apresenta as imagens dos extrusados, na qual observa-se que aparência do produto foi influenciada a medida que se aumentou o teor de casca de soja.

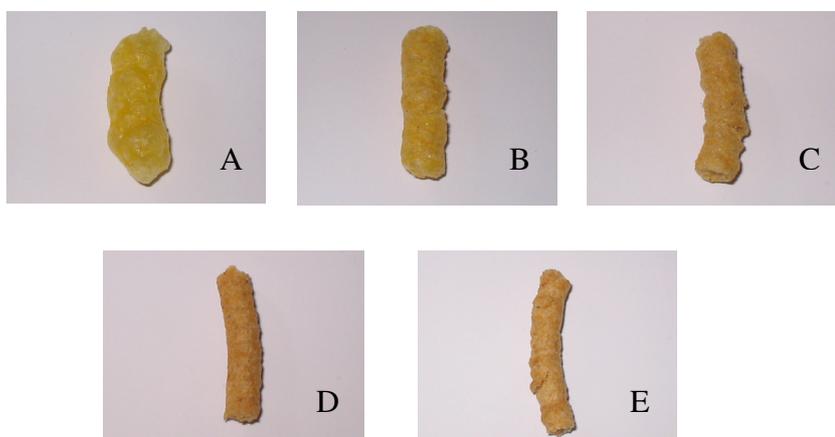


Figura 20. Imagens dos produtos extrusados expandidos de milho adicionados de diferentes concentrações de casca de soja. (A) 0% ; (B) 10% ; (C) 20% ; (D) 30% ; (E) 40%.

6 CONCLUSÃO

Do presente estudo com farinha mista de casca de soja e milho para elaboração de extrusados expandidos e não-expandidos, tem-se as seguintes conclusões:

- A casca de soja apresentou bom valor nutricional principalmente com relação aos teores de proteína e fibras, o que contribuiria para melhorar a qualidade nutricional dos extrusados produzidos a base de milho;
- A casca de soja foi a variável independente, dentre as estudadas, que exerceu efeito mais pronunciado sobre as características físicas dos produtos extrusados expandidos seguido pela temperatura do processo;
- Os tratamentos que obtiveram melhores índices de expansão foram aqueles com teores de casca de soja até 20% em baixas temperaturas (100 a 120°C);
- Quantidade superior a 32% de casca de soja produziu extrusados expandidos mais densos do que aqueles com menores teores adicionados na mistura;
- A viscosidade de pasta dos extrusados expandidos foi reduzida com o aumento do teor de casca de soja e da temperatura de processamento;
- Dentre as variáveis independentes testadas no estudo de extrusados não-expandidos, a umidade foi aquela que apresentou maior efeito sobre as características físicas do produto final;
- O aumento dos teores de umidade (>35%) levou a uma maior absorção de água pelos extrusados não expandidos;
- Em presença de maior teor de umidade de processamento na elaboração de extrusados não-expandidos houve maior pico de viscosidade (ciclo de aquecimento a 95°C);
- A análise sensorial mostrou que os extrusados expandidos com melhor nível de aceitação foram aqueles elaborados com até 20% de casca de soja adicionada na mistura;
- O estudo mostrou ser viável o aproveitamento de casca de soja sob forma de farinha na obtenção de extrusados expandidos de milho em níveis de até 20%, diferentemente do resultado dos extrusados não-expandidos, os quais não apresentaram boas características físicas quando adicionados desse subproduto.
- Como recomendações deste estudo, a moagem dos extrusados expandidos com elevados teores de soja proporcionaria farinhas pré-cozidas com características interessantes de viscosidade e textura para preparação de sopas e/ou cremes. No caso dos extrusados não-expandidos, sua moagem produziria farinhas semi-instantâneas, que ao serem misturadas a vegetais/legumes na preparação de sopas, funcionaria como agente espessante. Uma outra possibilidade, seria o uso dos extrusados não-expandidos na elaboração de massas alimentícias ricas em fibras.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGGETT, P. *et al.* Nondigestible carbohydrates in the diets of infants and young children : A commentary by the ESPGHAN Committee on Nutrition. **Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition**, v. 36, n. 3. mar. 2003. p. 329-337.
2. ALVAREZ-MARTINEZ, L.; KONDURY, K. P.; HARPER, J. M.. A general model for expansion of extruded products. **Journal of Food Science**, v. 53, 1988. p. 609-615.
3. ALVES, R. M. L.; GROSSMANN, M. V. E.. Yam flour for expanded snacks. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 22, n. 1, p.32-38, abr. 2002.
4. ALVIM, I. D.; SGARBIERI, V. C.; CHANG, Y. K.. Development of extruded mixed flours based on corn flour, yeast derivatives and casein. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 22, n. 2. ago. 2002. p. 170-176.
5. ANDERSON, R. A. *et al.* Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. **Cereal Science Today**, v. 14, n. 1. 1969. p. 4-12.
6. ASCHERI, D. P. R. *et al.* Obtenção de farinhas mistas pré-gelatinizadas a partir de arroz e bagaço de jabuticaba: efeito das variáveis de extrusão nas propriedades de pasta. **Boletim CEPPA**, Curitiba, v.24, n.1, p. 115-144, jan/jun. 2006.
7. ASCHERI, J.L.R. *et al.* Propiedades funcionales de fideos precocidos a base de harina integral de quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd) y harina de arroz (*Oryza sativa*, L.). **Alimentaria**, n. 342. abril 2003 a. p.71-75.
8. ASCHERI, J. L. R. *et al.* Elaboração de “snacks” e farinha instantânea de amaranto / arroz. Rio de Janeiro: Embrapa-CTAA, out. 2003 b. 2 p. (Embrapa-CTAA. Comunicado Técnico, 62).
9. _____. Elaboração de “snacks” e farinha instantânea de amaranto / milho. Rio de Janeiro: Embrapa-CTAA, nov. 2003 c. 2 p. (Embrapa-CTAA. Comunicado Técnico, 63).
10. _____. Elaboração de expandidos de mandioca formulados com açúcar por extrusão. Rio de Janeiro: Embrapa-CTAA, dec 2003 d. 2 p. (Embrapa-CTAA. Comunicado Técnico, 66).
11. _____. Elaboração de “pellets” de mandioca formulados com açúcar por extrusão. Rio de Janeiro: Embrapa-CTAA, jun 2004. 2 p. (Embrapa-CTAA. Comunicado Técnico, 67).

12. ASCHERI, J. L. R.; CARVALHO, C. W. P.. Efecto de los parâmetros de extrusión. Características de pasta y textura de pellets (snacks de tercera geración) producidos a partir de trigo y maíz. **Alimentaria**, Rio de Janeiro, v. 35, n. 279. fev. 1997. p. 93-98.
13. ASCHERI, J. L. R.; NASCIMENTO, R. E. Processo de elaboração de “snacks” (“pellets”) de farinha de arroz e isolado protéico de soja por extrusão termoplástica. Rio de Janeiro: Embrapa-CTAA, jul 1999. 4 p. (Embrapa-CTAA. Comunicado Técnico, 34).
14. BECKER, A.; HILL, S.; MITCHELL, J. Relevance of Amylose-Lipid Complexes to the Behaviour of Thermally Processed Starches. **Starch**, v. 53, p. 121-130, 2001.
15. BHANDARI, B.; D’ARCY, B.; YOUNG, G. Flavour retention during high temperature short time extrusion cooking process: a review. **International Journal of Food Science and Technology**, v.36, n.5, p.453-461, jun. 2001.
16. BOBBIO, P.A., BOBBIO, F.O. **Introdução à química de alimentos**. 2.ed. São Paulo : Varela, 1995. 222p.
17. BORBA, A. M. Efeito de alguns parâmetro operacionais nas características físicas, físico-químicas e funcionais dos extrusados da farinha de batata-doce. 2005. 98 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.
18. BORBA, A.M.; SARMENTO, S.B.S.; LEONEL, M. Efeitos dos parâmetros de extrusão sobre as propriedades funcionais de extrusados da farinha de batata-doce. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.25, n.4, out/dez. 2005. p. 35-843.
19. BOWLES, S.; DEMIATE, I.M. Caracterização físico-química de okara e aplicação em pães do tipo francês. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.26, n.3, p. 652-659, jul/set. 2006.
20. BRENELLI, S. L.; CAMPOS, S.D.S.; SAAD, M.J.A. Viscosity of gums *in vitro* and their ability to reduce postprandial hyperglycemia in normal subjects. **Brazilian Journal Med. Biol. Res**, v.30, n.12, p.1437-1440, Dez 1997.
21. BUENO, R.O.G. Características de qualidade de biscoitos e barras de cereais ricos em fibra alimentar a partir da farinha de semente e polpa de nêspera. 2005. 103 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.
22. BUTARELO, S. S. *et al.* Hydration of cassava tissues and starch gelatinization during the cooking process. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 24, n. 2, p.311-315, jul. 2004.
23. CAFE, M. B. *et al.* Determination of the Nutritional Values of Process Full-Fat Soybeans for Poultry. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v. 2, n. 1. abr. 2000. p. 67-74.

24. CALLEGARO, M.G.K.; *et al.* Determinação de fibra alimentar insolúvel, solúvel e total de produtos derivados do milho. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n.2, p. 271-274, abr./jun. 2005.
25. CAPRILES, V. D.; ARÊAS, J. A. G.. Desenvolvimento de salgadinhos com teores reduzidos de gordura saturada e de ácidos graxos trans. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 2, p.363-369, jun. 2005.
26. CARDOSO, V. E. S. *et al.* Fluoride content of several breakfast cereals and snacks found in Brazil. **Journal of Applied Oral Science**, Bauru, v. 11, n. 4, p.306-310, dez. 2003.
27. CARUSO, L.; LAJOLO, F. M.; MENEZES, E. W.. Modelos esquemáticos para avaliação da qualidade analítica dos dados nacionais de fibra alimentar. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 19, n. 3. dez. 1999. p. 406-412.
28. CARVALHO, R.V.; ASCHERI, J.R.A.; CAL-VIDAL, J. Efeito dos parâmetros de extrusão nas propriedades físicas de pellets (3g) de misturas de farinhas de trigo, arroz e banana. **Ciências Agrotécnicas**, v.26, n.5, p. 1006-1018, 2002.
29. CARVALHO, C.W.P *et al.* Elaboração de “snacks” de arroz formulados com açúcar por extrusão. Rio de Janeiro: Embrapa-CTAA, out 2003. 2 p. (Embrapa-CTAA. Comunicado Técnico, 60).
30. CARVALHO, C. W. P.; MITCHELL, J. R.. Effect of sucrose on starch conversion and glass transition of nonexpanded maize and wheat extrudates. **Cereal Chemistry**, v. 78, n. 3. 2001. p. 342-348.
31. CHANG, Y. K. *et al.* The influence of specific mechanical energy on cornmeal viscosity measured by an on-line system during twin-screw extrusion. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, São Paulo, p. 285-295. set. 1999.
32. CHANG, Y. K.; EL-DASH, A. A.. Effects of acid concentration and extrusion variables on some physical characteristics and energy requirements of cassava starch. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, São Paulo, v. 20, n. 2, p.129-137, jun. 2003.
33. CHANG, Y.K.; MARTINEZ-BUSTOS, F.; LARA, H. Effect of Some Extrusion Variables on Rheological Properties and Physicochemical Changes of Cornmeal Extruded by Twin Screw Extruder. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, São Paulo, v. 15, n. 4, p.370-381, dec. 1998.
34. CHAVES, J.B.P.; SPROESSER, R.L. **Práticas de laboratório de análise sensorial de alimentos e bebidas**. Universidade Federal de Viçosa: Imprensa Universitária, 1993. 81p.

35. CHÁVEZ-JÁUREGUI, R.N. *et al.* Acceptability of snacks produced by the extrusion of amaranth and blends of chickpea and bovine lung. **International Journal of Food Science and Technology**, v.38 n.9, p. 795-798, march 2003.
36. CISNEROS, F.H.; KOKINI, J.L. A generalized theory liking barrel fill length and air bubble entrapment during extrusion of starch. **Journal of Food Engineering**, v. 51, p.139-149, 2002.
37. COLE, J.T. *et al.* Soybean hulls as a dietary fiber source for dogs. **Journal Animal Scientia**, v.77, n.4, p. 917-924, 1999.
38. DERIVI, S. C. N. *et al.* Efeito hipoglicêmico de rações à base de berinjela. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.22, n.2, p.164-169, maio 2002.
39. EL-DASH, A. A.; GONZALES, R.; CIOL, M. Response surface methodology in the control of thermoplastic extrusion of starch. In: *Extrusion Cooking Technology*. **Elsevier Applied Science Publishers**. 1984. 51-74p.
40. ESPOSITO, F. *et al.*. Antioxidant activity and dietary fibre in durum wheat bran by-products. **Food Research International** , v.38, 2005. p. 1167–1173.
41. FAN, J., MITCHELL, J.R., BLANSHARD, J.M.V. The effect of sugars on the extrusion of maize grits: I. the role of the glass transition in determining product density and shape. **International Journal of Food Science and Technology**, v.31, 1996. p.55-65.
42. FERNANDES, M. S. *et al.* Pasting viscosity, water absorption and water solubility index of dehydrated aqueous extracts of rice-soybean. **Alimentaria**, Rio de Janeiro, n. 321. abr. 2001. p. 137-141.
43. FERNANDES, M. S. *et al.* Puffed extruded corn-grits and soybean mixtures for snack use. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 10, n. 37. out. 2002. p. 1495-1501.
44. FERNANDES, M. S. *et al.* Effect of extrusion temperature in water absorption, solubility and dispersibility of pre-cooked corn-soybean (70:30) flours. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 2. maio 2003. p. 234-239.
45. FICHTALI, J.; VOORT, F. R. V.. Fundamental and practical aspects of twin screw extrusion. **Cereal Foods World**, v. 34, n. 11. 1989. p. 921-929.
46. FIETZ, V.; SALGADO, J. Efeitos da pectina e da celulose nos níveis séricos de colesterol e triglicérides em ratos hiperlipidemicos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 19, n. 3. set/dez 1999. p. 318-321.
47. FRANCO, C. M. L.; CIACCO, C. F. Study of the structure of the normal and waxy corn starch granules. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.17, n.3, p.295-300, Sept./Dec. 1997.

48. FREITAS, D. *et al.* Consumo e digestibilidade aparente total e parcial de rações com cana-de-açúcar, casca e raspa de mandioca ensiladas com polpa cítrica. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.3, p.1531-1542, 2002.
49. FRIAS, A.D.; SGARBIERI, V. C. Guar gum effects on blood serum lipids and glucose concentrations of wistar diabetic rats. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 18, n. 2, Maio/Jul 1998. p.241-245.
50. FURLAN, A. C. *et al.* Valor nutritivo e desempenho de coelhos em crescimento alimentados com rações contendo milho extrusado. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 1157-1165, out. 2003.
51. GALDEANO, M. C.; GROSSMANN, M. V. E. Effect of treatment with alkaline hydrogen peroxide associated with extrusion on color and hydration properties of oat hulls. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.48, n.1, p. 63-72, jan. 2005.
52. GARCIA, E. R. M. *et al.* Efeito da suplementação enzimática em rações com farelo de soja e soja integral extrusada sobre a digestibilidade de nutrientes, o fluxo de nutrientes na digesta ileal e o desempenho de frangos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Paraná, v. 29, n. 5. mar. 2000. p. 1414-1426.
53. GENOVESE, M. I.; LAJOLO, F. M.. Determinação de isoflavonas em derivados de soja. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 21, n. 1. abr. 2001. p. 86-93.
54. GENTILINI, F. P. *et al.* Desempenho produtivo de leitoas alimentadas com dietas de gestação de baixo ou alto nível de casca de soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 4. ago. 2004. p. 1177-1183.
55. GOES-FAVONI, S. P. *et al.* Isoflavonas em produtos comerciais de soja. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 24, n. 4. dez. 2004. p. 582-586.
56. 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, p. 251-267, april. 1997.
57. GUHA, M.; ALI, S. Z.; BHATTACHARYA, S.. Effect of barrel temperature and screw speed on rapid viscoanalyser pasting behaviour of rice extrudate. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 33, n. 3. jun. 1998. p. 259-266.
58. GUILHERME, F.F.P.; JOKL, L. Emprego de fubá de melhor qualidade protéica em farinhas mistas para produção de biscoitos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 1. jan.-mar. 2005. p. 63-71.
59. GUY, R. C. F. The extrusion revolution. **Food Manufacture**, v.60, p.26-29, 1985.
60. HAGENIMANA, A; DING, X; FANG, T. Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking. **Journal Cereal Science**, v.43, n.1, p.38-46, jan. 2006.

61. HAN, K. K. *et al.* Efeitos dos Fitoestrogênios sobre Alguns Parâmetros Clínicos e Laboratoriais no Climatério. **Revista Brasileira de Ginecologia e Obstetrícia**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 8. set. 2002. p. 547-552.
62. HASHIMOTO, J. M.; GROSSMANN, M. V. E. Effects of extrusion conditions on quality of cassava bran/ cassava starch extrudates. **International Journal of Food Science and Technology**. v.38, n.5, p. 511-517, jun. 2003.
63. JACOBS, H.; DELCOUR, J.A. Hydrothermal Modifications of Granular Starch, with Retention of the Granular Structure: A Review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 46, n. 8. Aug. 1998. p. 2895-2905.
64. JONES, P. J. Clinical nutrition: 7. functional foods – more than just nutrition. **CMAJ**, v.166, n. 12, Jun. 2002, p. 1555 – 1563.
65. JÚNIOR, V. R. R. *et al.* Determinação do valor energético de alimentos para ruminantes pelo sistema de equações. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.2, p.473-479, 2003.
66. KONKEL, F. E. *et al.* Avaliação sensorial de doce de leite pastoso com diferentes concentrações de amido. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 24, n. 2, p.249-254, jun. 2004.
67. LARREA, M.A.; CHANG, Y.K.; MARTÍNEZ BUSTOS, F. Effect of some operational extrusion parameters on the constituents of orange pulp. **Food Chemistry**, v.89, p. 301-308, 2005.
68. LEONEL, M.; CEREDA, M. P.; ROAU, X.. Aproveitamento do resíduo da produção de etanol a partir de farelo de mandioca, como fonte de fibras dietéticas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 19, n. 2. ago. 1999. p. 241-245.
69. LEONEL, M.; CEREDA, M. P. Physicochemical characterization of some starchy tubers. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 22, n.1, p. 65-69, Jan./Apr. 2002.
70. LI, S. *et al.* Textural modification of soya bean/corn extrudates as affected by moisture content, screw speed and soya bean concentration. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 40, n. 7. ago. 2005. p. 731-741.
71. LUE, S.; HSIEH, F.; HUFF, H. E. Extrusion cooking of corn meal and sugar beet fiber: effects on expansion properties, starch gelatinization and dietary fiber content. **Cereal chemistry**, v. 68, p. 227-234, 1991.
72. MAIA, L. H. *et al.* Pasting viscosity, water absorption and water solubility index of dehydrated rice-soybean porridges **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.19, n.3, p.391-396, sept./dec. 1999.
73. _____. Características químicas dos mingaus desidratados de arroz e soja. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 20, n. 3. dez. 2000. p. 416-423.

74. MATTOS, L.; MARTINS, I. Consumo de fibras alimentares em população adulta. **Revista de Saúde Pública**, v. 34, n. 1, p.50-55, fev. 2000.
75. MAZUMDER, P.; ROOPA, B. S.; BHATTACHARYA, S. Textural attributes of a model snack food at different moisture contents. *Journal of Food Engineering*. p. 1-6, fev. 2006.
76. MCELIGOT, A. J. *et al.* High dietary fiber consumption is not associated with gastrointestinal discomfort in a diet intervention trial. **Journal of the American dietetic association**, v. 102, n. 4. Abr. 2002. p. 549-551.
77. MENDES, W. S.. Composição química e valor nutritivo da soja crua e submetida a diferentes processamentos térmicos para suínos em crescimento. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 56, n. 2, p.207-213, abr. 2004.
78. MENDONÇA, S.; GROSSMANN, M. V. E.; VERHÉ, R.. Corn bran as a fibre source in expanded snacks. **Lebensmittel-Wissenschaft und-technologie**, v.33, n.1, p.2-8, 2000.
79. MODESTA, R. C. D.. **Manual de análise sensorial de alimentos e bebidas: Tomo I - Geral**. Rio De Janeiro: Embrapa - CTAA, 1994. 115 p.
80. MONTEIRO, M. R. P. *et al.* Qualidade protéica de linhagens de soja com ausência do Inibidor de Tripsina Kunitz e das isoenzimas Lipoxigenases. **Revista de Nutrição**, v. 17, n. 2, p.195-205, jun. 2004.
81. MORAIS, J.B.; *et al.* Comportamento ingestivo de ovinos e digestibilidade aparente dos nutrientes de dietas contendo casca de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n.7, p.1157-1164, jul. 2006.
82. MUNHOZ, M. P.; WEBER, F. H.; CHANG, Y. K.. Influence of hydrocolloids in texture of corn starch gel. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 24, n. 3, p.403-406, jul/ set. 2004
83. OLIVEIRA, G. D. Elaboração de mingau a partir da utilização de subprodutos da laranja-pêra (*Citrus sinensis* Osbeck) sob a forma de farinha. 2004. 51 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Escola de Nutrição, Departamento de Nutrição Fundamental, Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.
84. OLIVEIRA, M. F. *et al.*. Qualidade de cozimento de massas de trigo e soja pré-cozidas por extrusão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 5, p.501-507, maio 2004.
85. ONWULATA, C. I. *et al.*. Co-extrusion of Dietary Fiber and Milk Proteins in Expanded Corn Products. **Lebensmittel-Wissenschaft und-technologie**, v.34, n.7, p.424-429, 2001.
86. ORDÓÑEZ, J. A. col. **Tecnologia de Alimentos: Componentes dos Alimentos e Processos**. v.1. Porto Alegre: Editora Artmed, 2005, p. 294.

87. OTUTUMI, L. K. *et al.* Digestibilidade e Atividade Enzimática Intestinal de Coelhos em Crescimento Alimentados com Diferentes Fontes de Amido Processadas ou não por Extrusão. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.2, p.557-567, 2005.
88. OWUSU-ANSAH, J.; VAN DE VOORT, F. R.; STANLEY, D. W. Effect of extrusion variables on product moisture and extrusion crystallinity of corn starch. **Canadian Institute of Food Science and Technology**, v.15, n.4, p.257-261, 1982.
89. OWUSU-ANSAH, J.; VAN DE VOORT, F. R.; STANLEY, D. W. Physicochemical changes in cornstarch as a function of extrusion variables. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 60, n. 4, p. 319-324, 1983.
90. PASSOS, H. S.; BOSE, M.L.V. Uso de análise física para estimar a composição química em ingredientes para rações. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 49, n.1, p.159-162, 1992.
91. PEREIRA, M. V. L. *et al.* Avaliação biológica da farinha de milho QPM (Quality protein maize) obtida por extrusão. **Revista do Centro de Ciências Médicas**, v. 2, n. 2. abr. 1998. p. 42-48.
92. PIRES, C.V.; *et al.* Qualidade nutricional e escore químico de aminoácidos de diferentes fontes protéicas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.26, n. 1. jan/mar. 2006. p. 179-187.
93. QUADROS, J.B.S.; *et al.* Digestibilidade aparente e desenvolvimento de equinos em crescimento submetidos a dietas compostas por diferentes níveis de substituição do feno de tifton 85 pela casca de soja. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.3. maio/jun. 2004. p. 564-574.
94. RAUPP, D. S. *et al.* Composição e propriedades fisiológico – nutritivas de uma farinha rica em fibra insolúvel obtida do resíduo fibroso de feccularia de mandioca. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 19, n. 2. ago. 1999. p. 205-210.
95. RAUPP, D. S. *et al.* Propriedades funcionais-digestivas e nutricionais de polpa-refinada de maçã. **Scientia Agrícola**, v. 57, n. 3, p. 395-402, 2000.
96. RAUPP, D. S. *et al.* Arraste via fecal de nutrientes da ingestão produzido por bagaço de mandioca hidrolisado. **Scientia Agrícola**, v. 59, n. 2, p. 235-242, 2002.
97. RESTLE, J. *et al.* Substituição do grão de sorgo por casca de soja na dieta de novilhos terminados em confinamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 4, p.1009-1015, ago. 2004.
98. RIAZ, M. N.; LUSAS, E. W.. Practical experience in processing third generation snacks using twin-screw extruder. **Extrusion Communiqué**, Campinas, v. 9, n. 3, p.10-13, jun. 1996.

99. ROCHA, F. L. *et al.* Avaliação da influência dos milhos QPM nas características sensoriais de bolo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, n. 2, ago. 2003. p. 129-134.
100. SANTOS, W. N. *et al.* Thermal properties of polymers by non-steady state methods. **Polímeros**, v. 13, n. 4, p. 265-269, Oct./Dec. 2003.
101. SILVA, G. O. *et al.* Características físico-químicas de amidos modificados de grau alimentício comercializados no Brasil. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 1, jan.-mar. 2006. p. 188-197.
102. SILVA, L.D.F.; *et al.* Digestão total e parcial de alguns componentes de dietas contendo diferentes níveis de casca de soja e fontes de nitrogênio, em bovinos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.3, p.1258-1268, 2002.
103. SILVA, M. C. *et al.* Processing of corn starch in an internal mixer. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 24, n.2, p.303-310, abr. 2004.
104. SILVA, Marcia Cristina da. Extrusão de farinha de arroz: efeito da água e da sacarose. 2004. 134 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Ciência de Alimentos, Departamento de Instituto de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.
105. SILVA, M. R. *et al.* Utilização tecnológica dos frutos de jatobá-do-cerrado e de jatobá-da-mata na elaboração de biscoitos fontes de fibra alimentar e isentos de açúcares. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 2, p.176-182, ago. 2001.
106. SILVA, M. R.; SILVA, M. A. A.; CHANG, Y. K.. Utilização da farinha de jabota (*Hymenaea stigonocarpa* Mart.) na elaboração de biscoitos tipo cookie e avaliação de aceitação por testes sensoriais afetivos univariados e multivariados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Brasília, v. 18, n. 1, p.25-34, abr. 1998.
107. SILVA, H.G.O. *et al.* Digestibilidade aparente de dietas contendo farelo de cacau ou torta de dendê em cabras lactentes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.4, p.405-411, abr. 2005.
108. SILVA, M. R. *et al.* Utilização tecnológica dos frutos de jatobá-do-cerrado e de jatobá-da-mata na elaboração de biscoitos fontes de fibra alimentar e isentos de açúcares. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 2, p.176-182, ago. 2001.
109. SILVEIRA, E. T. F. *et al.* Farinha composta de resíduo do extrato de soja e de arroz em mistura com trigo para uso em panificação. **Boletim do Instituto de Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 18, n. 4, p. 543-561, 1981.
110. SINGH, B.; SEKHON, K. S.; SINGH, N.. Effects of moisture, temperature and level of pea grits on extrusion behaviour and product characteristics of rice. **Food Chemistry**, v.100, n.1, p.198-202, 2007.
111. SOARES, L. L.; LUCAS, A. M. M.; BOAVENTURA, G. T.. Can organic and transgenic soy be used as a substitute for animal protein by rats?. **Brazilian Journal of**

- Medical and Biological Research**, Brasília, v. 38, n. 4, p.583-586, abr. 2005. Short communication.
- 112.SOUZA, R. C. R.; ANDRADE, C. T. Investigação dos processos de gelatinização e extrusão de amido de milho. **Polímero: Ciência e Tecnologia**, v.10, n.1, p.24-30, 2000.
- 113.SRIBURI, P.; HILL, S. E.. Extrusion of cassava starch with either variations in ascorbic acid concentration or Ph. **International Journal of Food Science and Technology**, v.35, n.2, p.141-154, mar. 2000.
- 114.TAKEUCHI, K.P.; SABADINI, E.; CUNHA, R.L. Análise das propriedades mecânicas de cereais matinais com diferentes fontes de amido durante o processo de absorção de leite. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n.1. jan.-mar. 2005. p.78-85.
- 115.TANG, J.; DING, X.L. Relationship between functional properties and macromolecular modifications of extruded corn starch. **Cereal Chemistry**, v.71, n.4, p.364-369, jul/aug. 1994.
- 116.TEIXEIRA, M.A.V. *et al.* Ocorrência e caracterização do amido resistente em amidos de milho e de banana. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.18, n..2, p.246-246, maio. 1998.
- 117.TORO, A.A. *et al.* Distribution of soluble amino acids in maize endosperm mutants. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, n. 1. mar. 2003. p. 91-96.
- 118.TURANO, W. *et al.* Estimativa de consumo diário de fibra alimentar na população adulta, em região metropolitanas do Brasil. **Nutrição Brasil**, v.1, n. 3. out. 2002. p. 130 – 135.
- 119.THYMI, S. *et al.*. Structural properties of extruded corn starch. **Journal of Food Engineering**, v.68, p.519-526, 2005.
- 120.VELOSO, J. A. F. *et al.* Composição química, avaliação físico-química e nutricional e efeito da expansão do milho e do farelo de soja para suínos em crescimento. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.57, n.5, p.623-633, 2005.
- 121.VIANA, P.A.; POTENZA, M.R. Avaliação de antibiose e não-preferência em cultivares de milho selecionados com resistência à lagarta-do-cartucho. **Bragantia**, Campinas, v. 59, n. 1. 2000. p. 27-33.
- 122.VIEIRA, C.R., CABRAL, L.C. e PAULA, A.C.O. de. Caracterização física e tecnológica de seis cultivares de soja plantadas no Brasil. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.17, n. 3. dez. 1997. p. 291-294.
- 123.WANG, J.; JING, Z.; YUAN, X.. Preparation of resistant starch from starch-guar gum extrudates and their properties. **Food Chemistry**, v.101 , n.1 , p.20-25, 2007.

124. WANG, S.H.; CABRAL, L.C.; FERNANDES, S.M. Características tecnológicas e sensoriais de biscoitos com alto teor de casca de soja cozidos em microondas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, n.7, jul. 1997. p.739-745.
125. WANG, S.H. *et al.* Farinhas de trigo e soja pré-cozidas por extrusão para massas de pizza. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 4. Abr. 2005. p. 389-395.
126. WANG, S. H. *et al.* Propriedades reológicas y sensoriales de papillas reconstituidas a base de grits de maíz y soya. **Alimentaria**, n. 305. set. 1999. p. 135-140.
127. WANG, S. H. *et al.* Características tecnológicas y sensoriales de harinas de arroz-soya (70:30) extruídas para uso como papilla instantánea. **Alimentaria**, v. 38, n. 324. ago. 2001. p. 77-84.
128. WANG, S.H. *et al.* Posibilidad de uso de harinas de arroz-soya (70:30) extruídas en la formulación de sopa-cremosa: características tecnológicas y sensoriales. **Alimentaria**, v.38, n.324, ago. 2001. p.91-97.
129. WANG, S. H. *et al.* Harina extruída de grits de maíz-soya (80:20) para formulación de crema de espinaca. **Alimentaria**, n. 336. set. 2002. p. 101-106.
130. WANG, S.H. *et al.* Absorção de água e propriedades espumantes de farinhas extruídas de trigo e soja. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.26, n.2. abr/jun. 2006. p.475-481.
131. WEN, L. F.; RODIS, P.; WASSERMAN, B. P., Starch fragmentation and protein insolubilization during twin-screw extrusion of corn meal. **Cereal Chemistry**, v.67, p.268-275, 1990.
132. WHALEN, P. J. *et al.* Measurement of Extrusion Effects by Viscosity Profile Using the Rapid Viscoanalyser. **Cereal Foods World**, v. 42, n. 6, p.469-475, 1997.

ANEXOS

ANEXO A	Gráficos de viscosidade de pasta dos extrusados expandidos	80
ANEXO B	Gráficos de viscosidade de pasta dos extrusados não-expandidos diretos	86
ANEXO C	Ficha da análise sensorial utilizada para os extrusados expandidos	92

ANEXO A - Gráficos de viscosidade de pasta dos extrusados expandidos

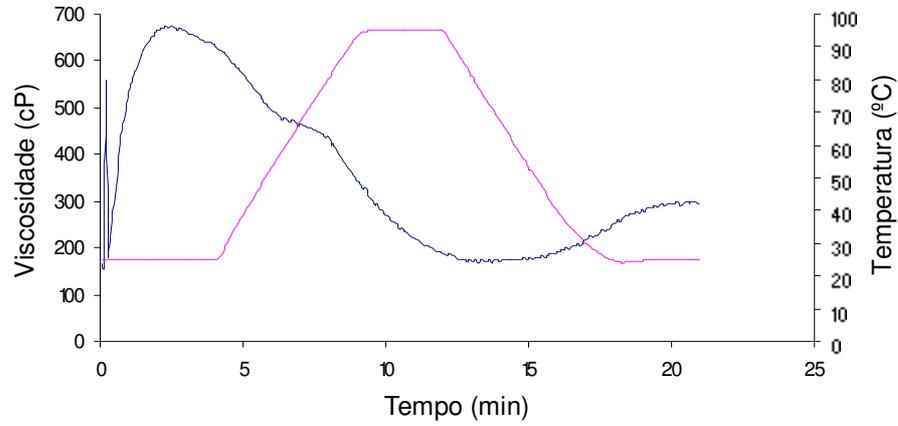


Figura 21. Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 1 contendo 8% de casca de soja, rotação 120 rpm e temperatura 120°C.

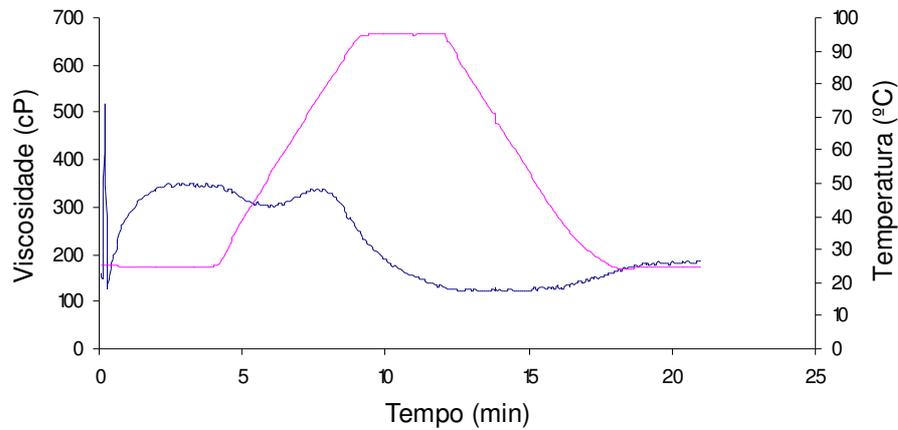


Figura 22. Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 2 contendo 32% de casca de soja, rotação 120 rpm e temperatura 120°C.

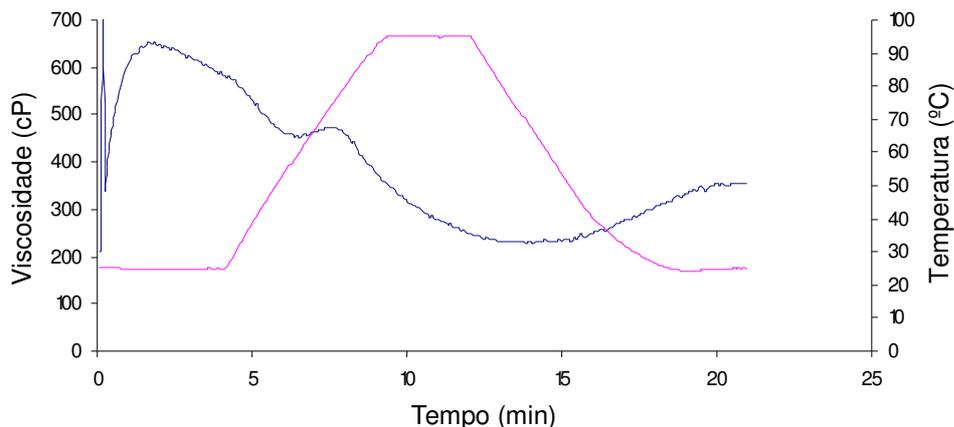


Figura 23. Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 3 contendo 8% de casca de soja, rotação 120 rpm e temperatura 180°C.

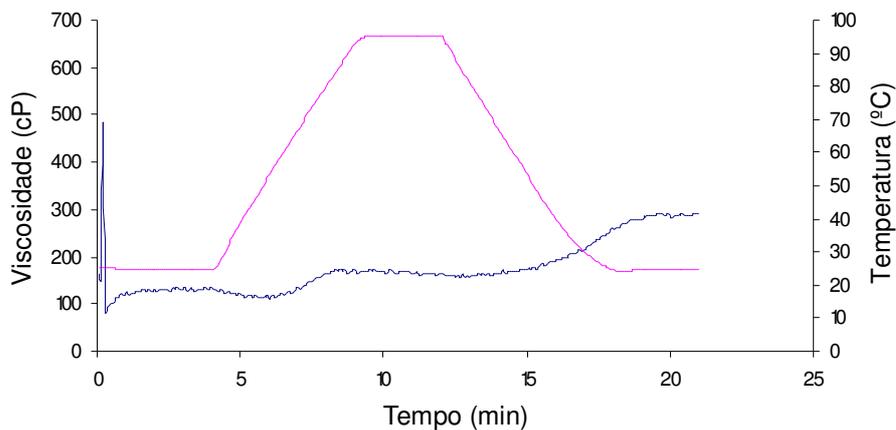


Figura 24. Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 4 contendo 32% de casca de soja, rotação 120 rpm e temperatura 180°C.

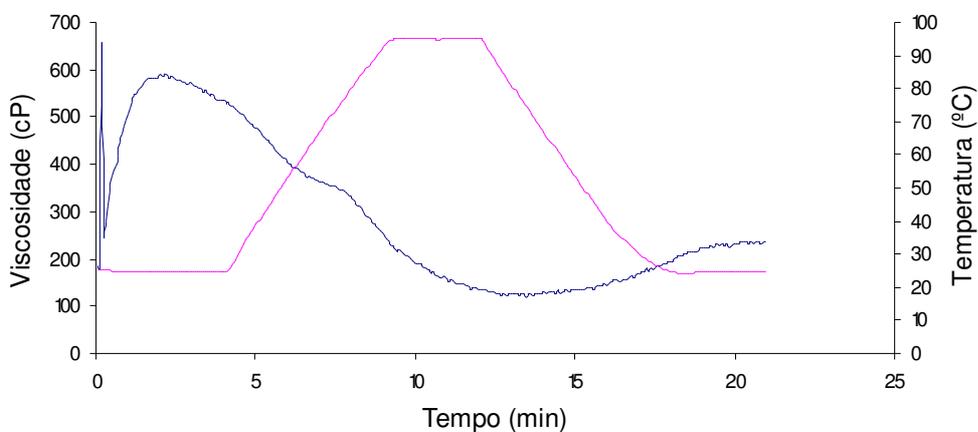


Figura 25. Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 5 contendo 8% de casca de soja, rotação 180 rpm e temperatura 120°C.

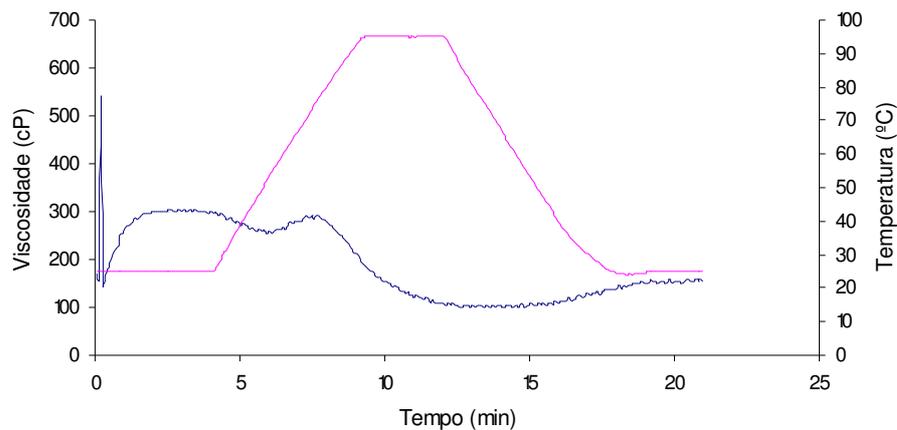


Figura 26. Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 6 contendo 32% de casca de soja, rotação 180 rpm e temperatura 120°C.

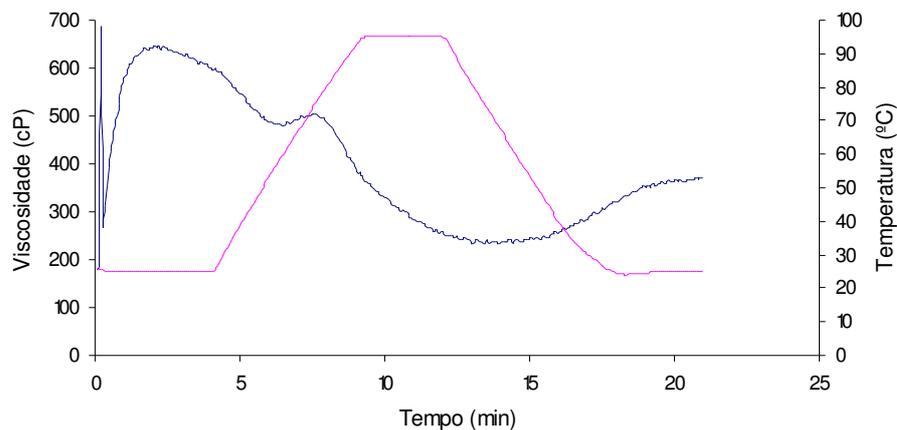


Figura 27. Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 7 contendo 8% de casca de soja, rotação 180 rpm e temperatura 180°C.

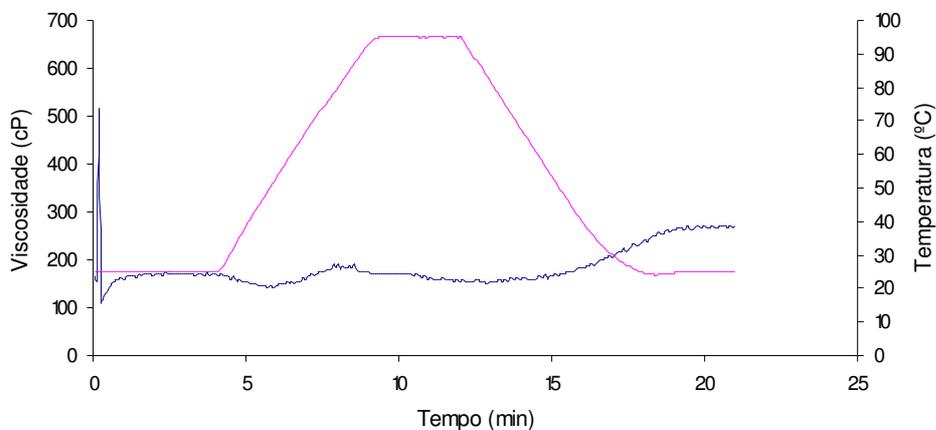


Figura 28. Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 8 contendo 32% de casca de soja, rotação 180 rpm e temperatura 180°C.

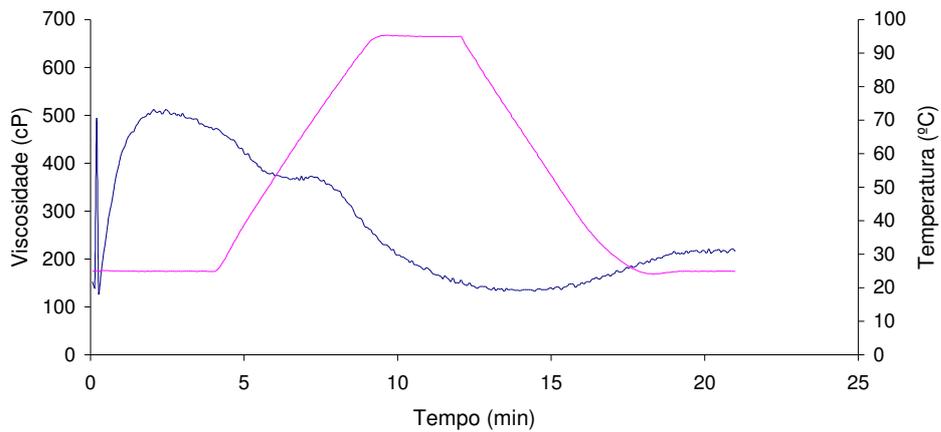


Figura 29. Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 9 contendo 20% de casca de soja, rotação 100 rpm e temperatura 150°C.

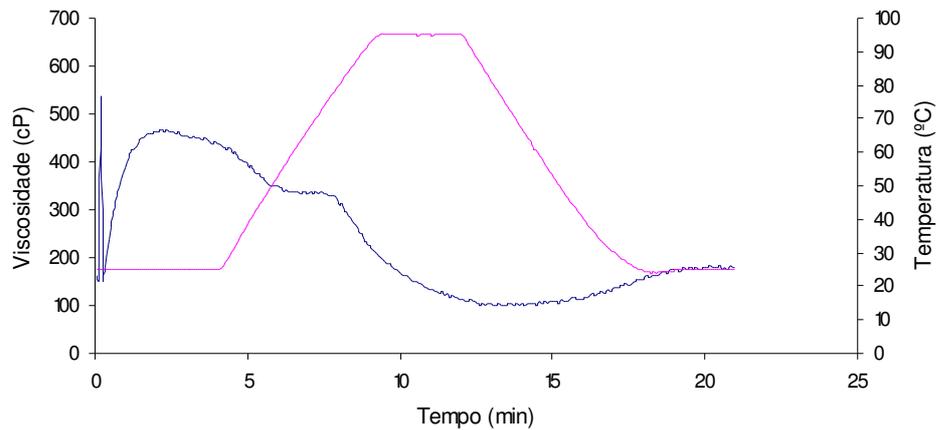


Figura 30. Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 10 contendo 20% de casca de soja, rotação 200 rpm e temperatura 150°C.

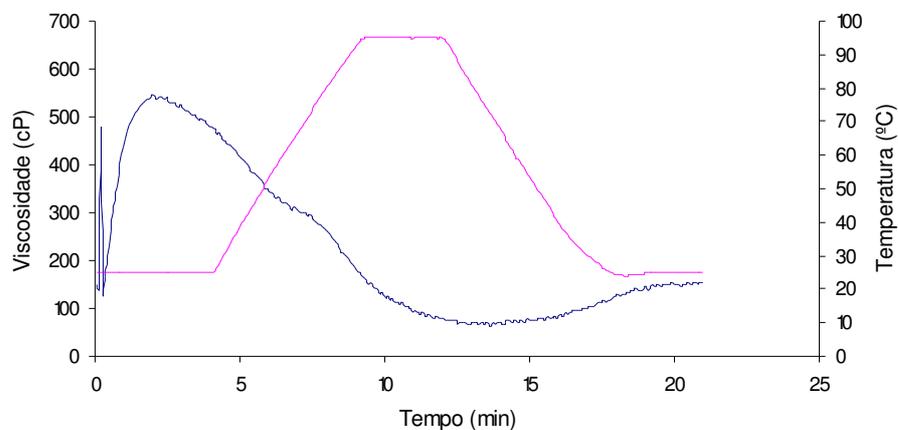


Figura 31. Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 11 contendo 20% de casca de soja, rotação 150 rpm e temperatura 100°C.

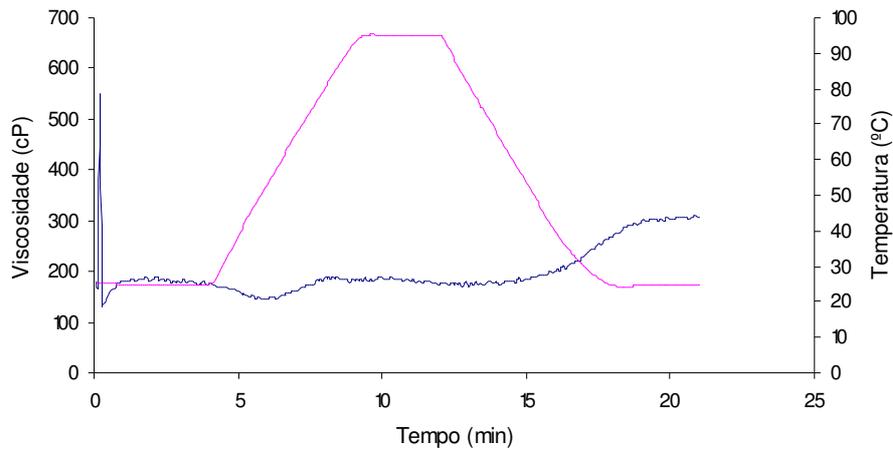


Figura 32. Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 12 contendo 20% de casca de soja, rotação 150 rpm e temperatura 200°C.

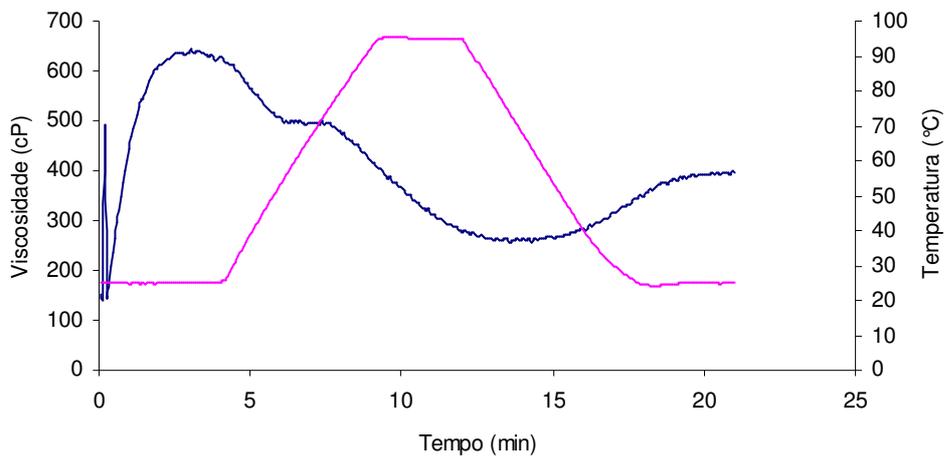


Figura 33. Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 13 contendo 0% de casca de soja, rotação 150 rpm e temperatura 150°C.

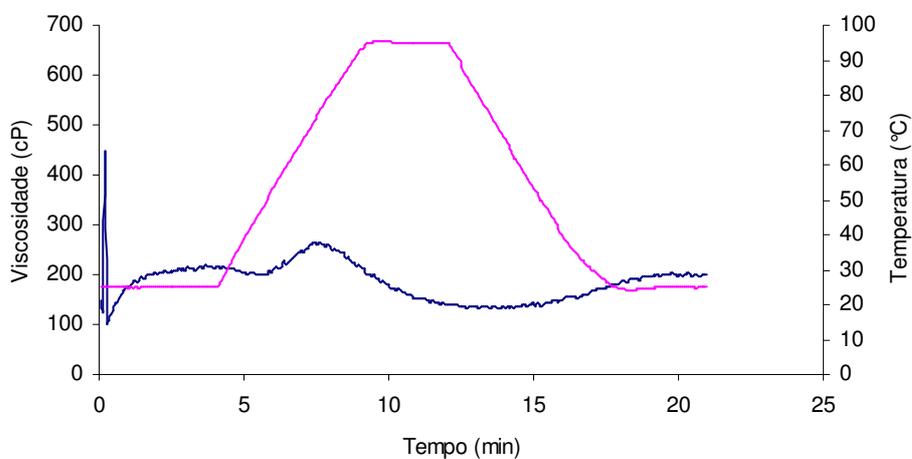


Figura 34. Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 14 contendo 40% de casca de soja, rotação 150 rpm e temperatura 150°C.

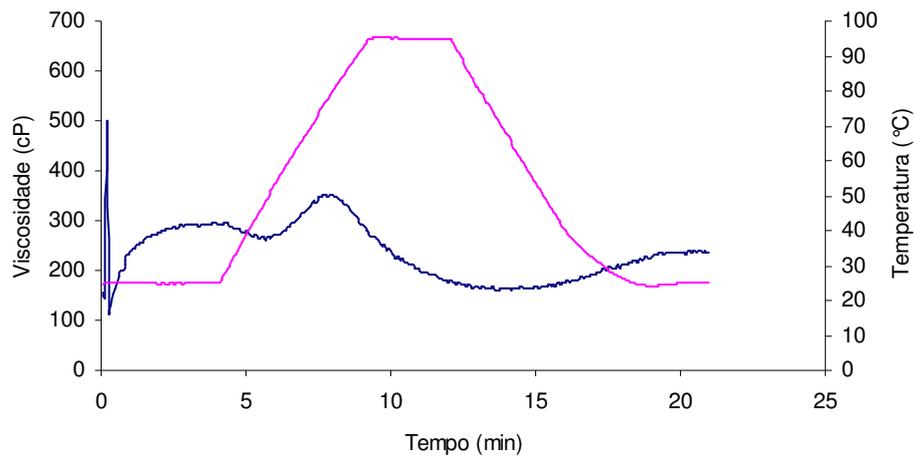


Figura 35. Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 15 contendo 20% de casca de soja, rotação 150 rpm e temperatura 150°C.

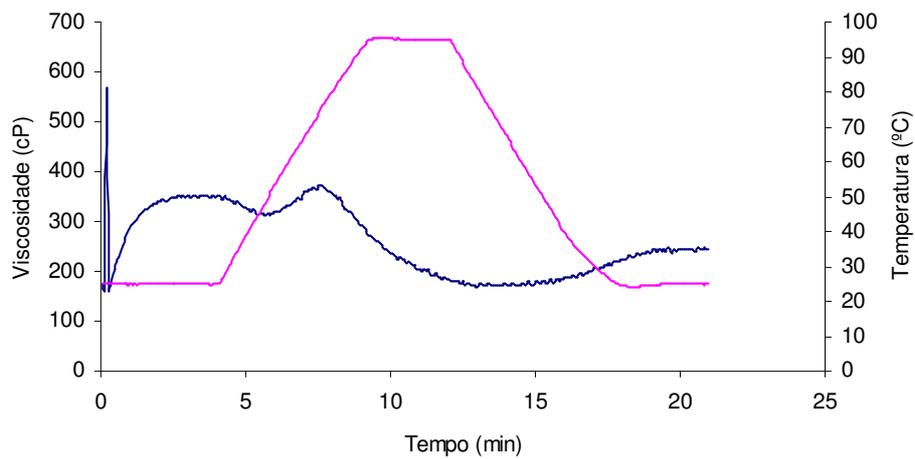


Figura 36. Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 16 contendo 20% de casca de soja, rotação 150 rpm e temperatura 150°C.

ANEXO B - Gráficos de viscosidade de pasta dos extrusados não-expandidos diretos

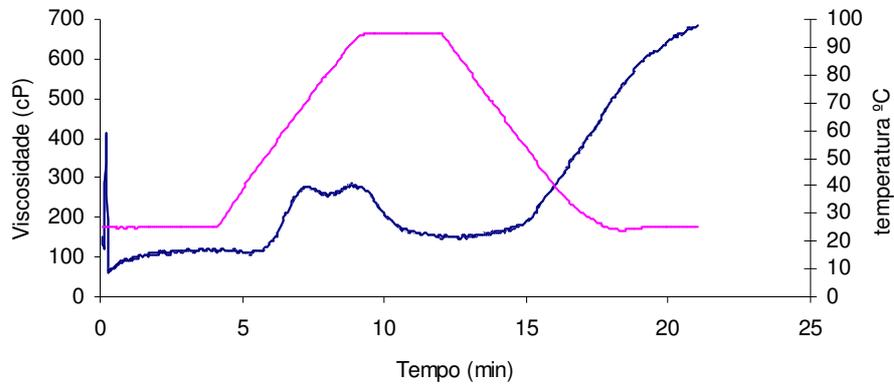


Figura 37. Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 1 contendo 10% de casca de soja, umidade 30% e rotação 110 rpm.

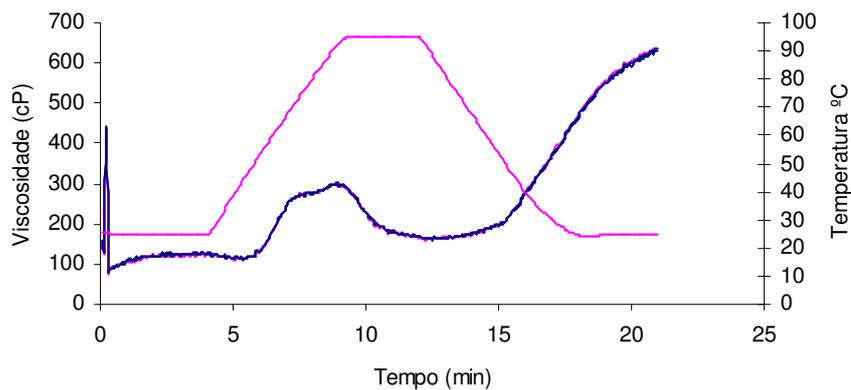


Figura 38. Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 2 contendo 10% de casca de soja, umidade 30% e rotação 170 rpm.

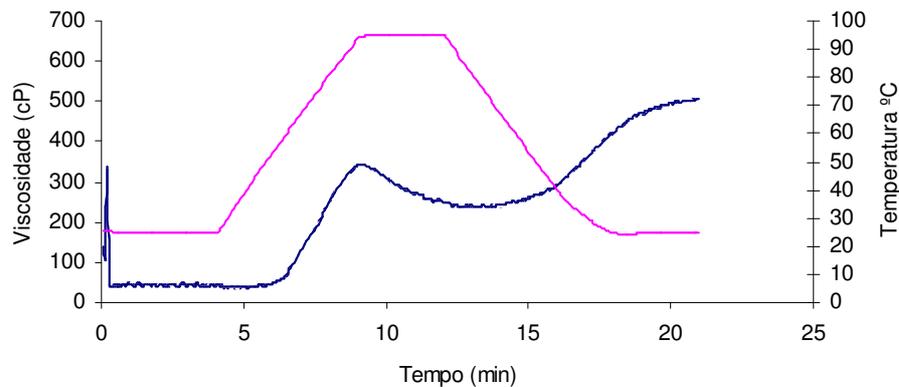


Figura 39. Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 3 contendo 10% de casca de soja, umidade 40% e rotação 110 rpm.

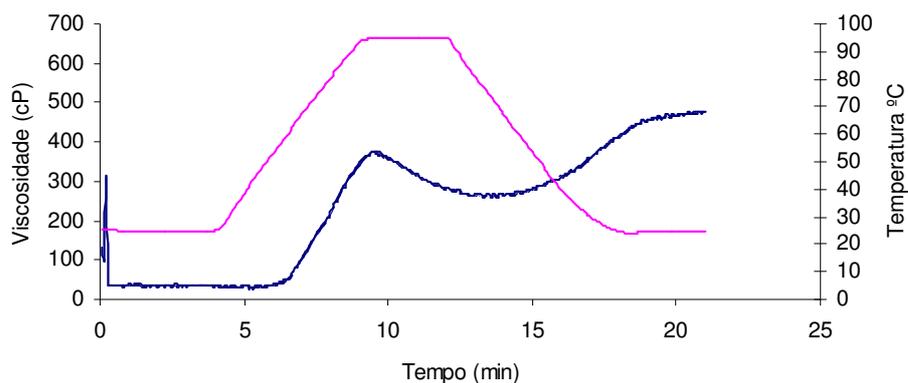


Figura 40. Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 4 contendo 10% de casca de soja, , umidade 40% e rotação 170 rpm.

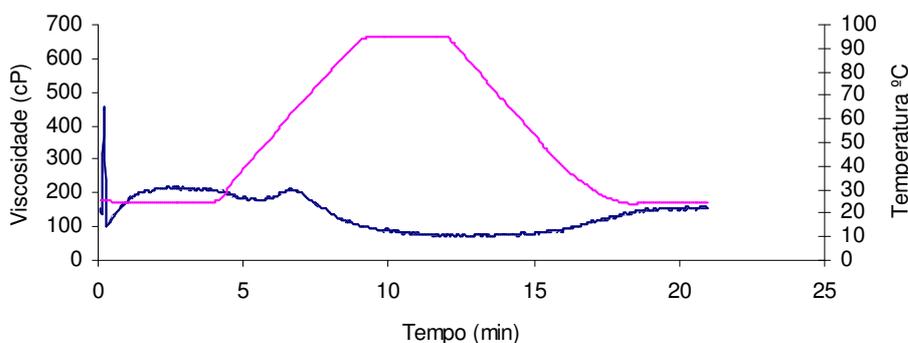


Figura 41. Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 5 contendo 40% de casca de soja, , umidade 30% e rotação 110 rpm.

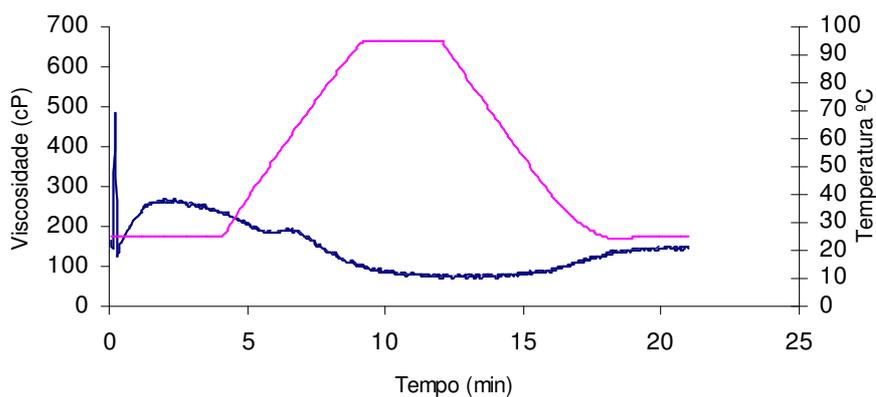


Figura 42. Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 6 contendo 40% de casca de soja, , umidade 30% e rotação 170 rpm.

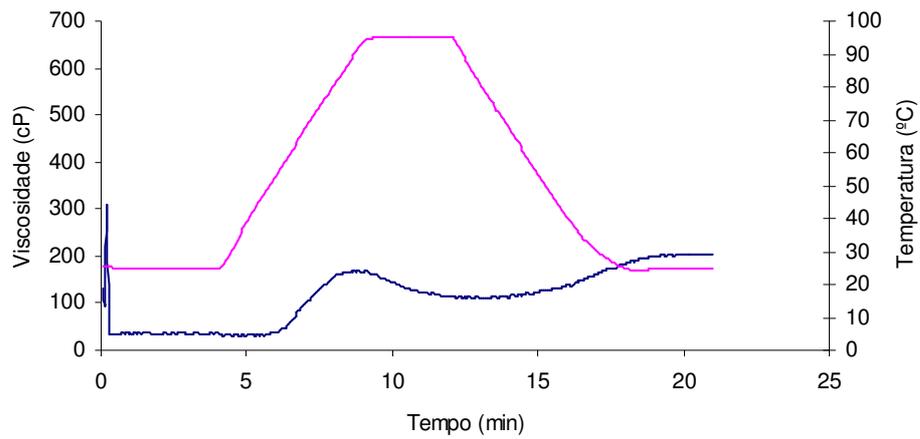


Figura 43. Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 7 contendo 40% de casca de soja, umidade 40% e rotação 110 rpm.

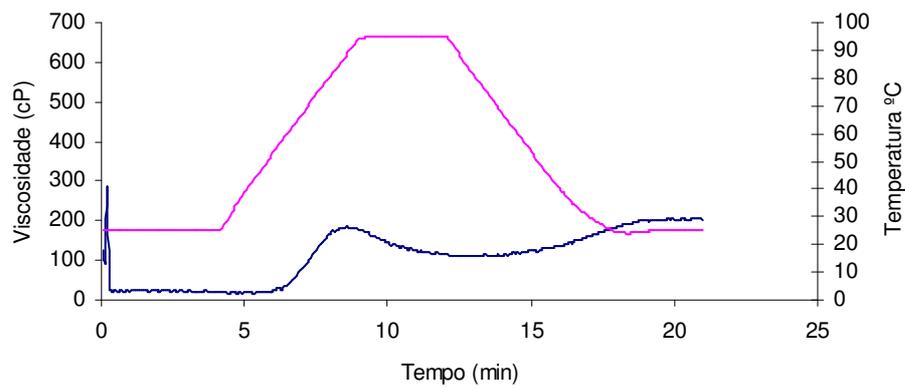


Figura 44. Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 8 contendo 40% de casca de soja, umidade 40% e rotação 170 rpm.

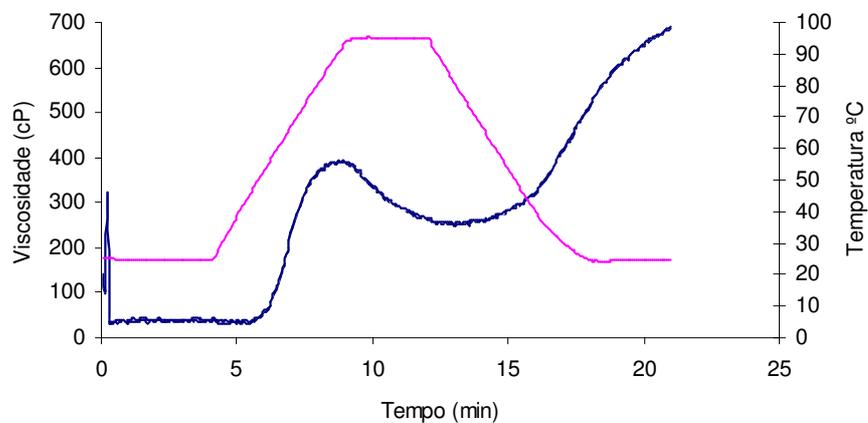


Figura 45. Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 9 contendo 0% de casca de soja, umidade 35% e rotação 140 rpm.

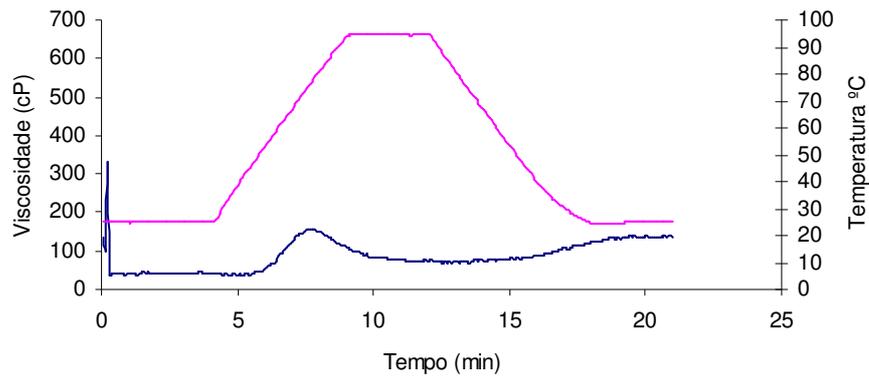


Figura 46. Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 10 contendo 50% de casca de soja, , umidade 35% e rotação 140 rpm.

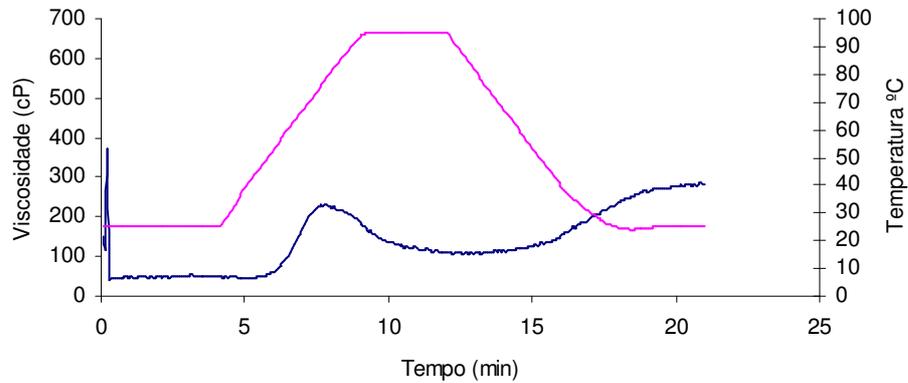


Figura 47. Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 11 contendo 25% de casca de soja, , umidade 27% e rotação 140 rpm.

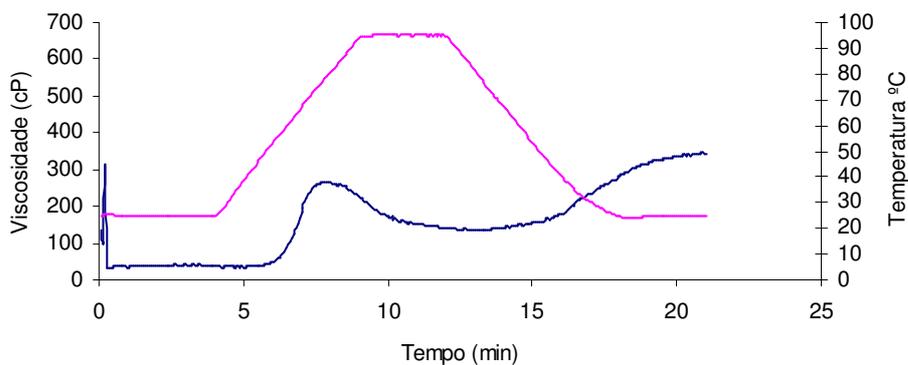


Figura 48. Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 12 contendo 25% de casca de soja, , umidade 43% e rotação 140 rpm.

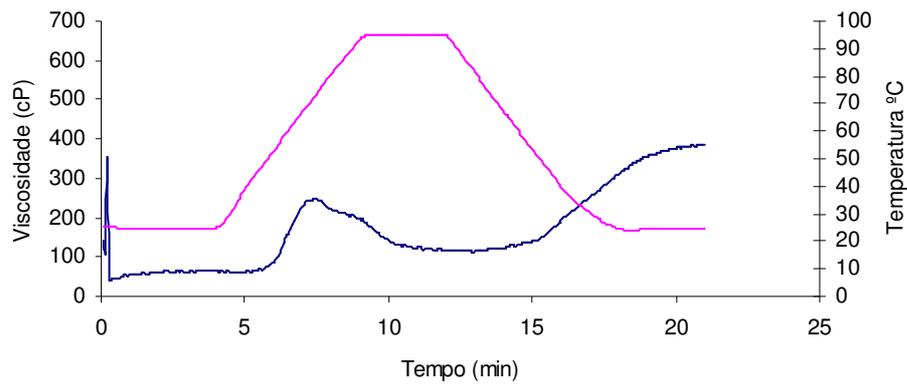


Figura 49. Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 13 contendo 25% de casca de soja, umidade 35% e rotação 89 rpm.

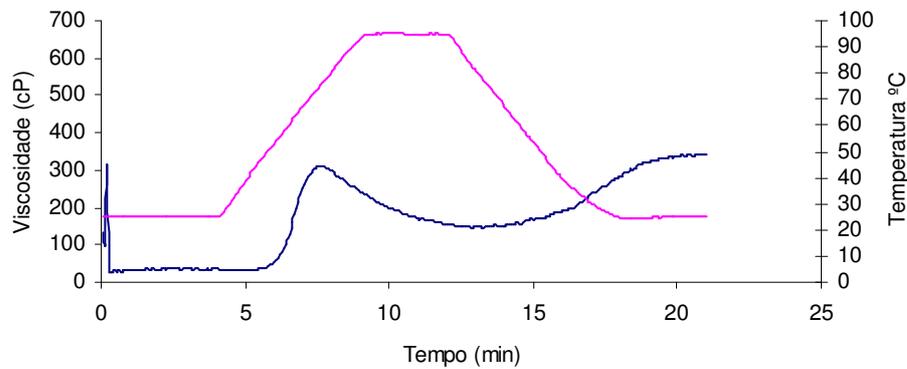


Figura 50. Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 14 contendo 25% de casca de soja, , umidade 35% e rotação 190 rpm.

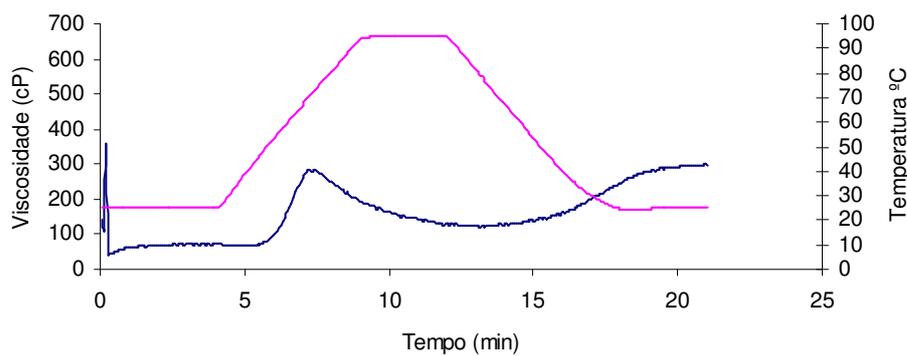


Figura 51. Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 15 contendo 25% de casca de soja, , umidade 35% e rotação 140 rpm.

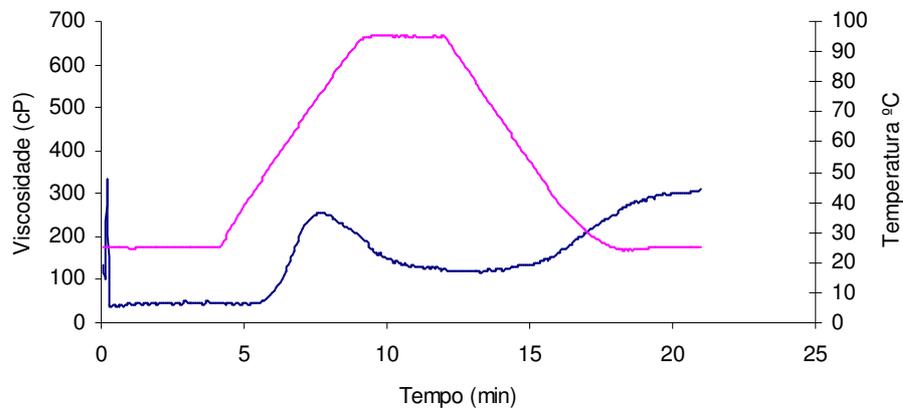


Figura 52. Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 16 contendo 25% de casca de soja, , umidade 35% e rotação 140 rpm.

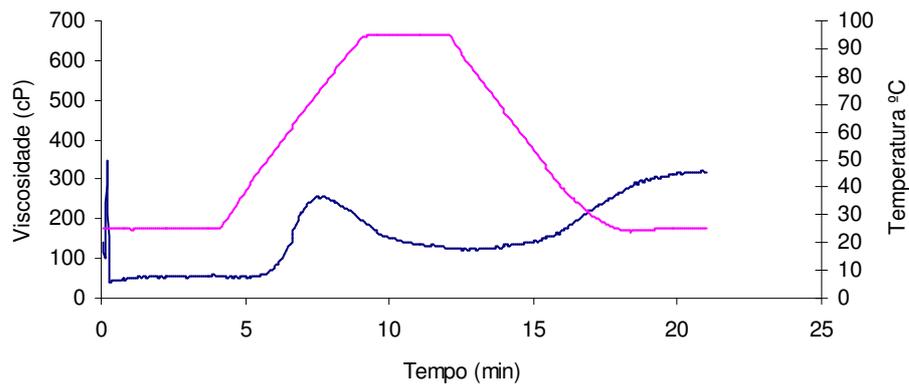


Figura 53. Perfil da curva de viscosidade pasta do Experimento 17 contendo 25% de casca de soja, , umidade 35% e rotação 140 rpm.

ANEXO C – Ficha de análise sensorial utilizada para os extrusados expandidos

Nome:

Data:

Amostra:

Você está recebendo uma amostra de *snack*. Por favor, marque na escala abaixo o quanto você gostou do produto em relação à:

Preferência global

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

Textura

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

O que você mais gostou neste produto? _____

O que você mais desgostou neste produto? _____

Você compraria este produto?

Certamente não compraria certamente compraria