

UFRRJ

INSTITUTO DE TECNOLOGIA

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

DISSERTAÇÃO

**Elaboração de produtos de milho enriquecidos com grãos e torta semi-
desengordurada de gergelim por extrusão termoplástica**

Elisabete Maria da Graça Costa do Nascimento

Fevereiro 2010



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

Elaboração de produtos de milho enriquecidos com grãos e torta semi-desengordurada de gergelim por extrusão termoplástica

Elisabete Maria da Graça Costa do Nascimento

Orientador

Dr. Carlos Wanderlei Piler de Carvalho

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

Seropédica, RJ
Fevereiro de 2010

664

N244e

T

Nascimento, Elisabete Maria da Graça
Costa, 1959-

Elaboração de produtos de milho enriquecidos com grãos e torta semi-desengordurada de gergelim por extrusão termoplástica / Elisabete Maria da Graça Costa Nascimento - 2010.

125 f.: il.

Orientador: Carlos Wanderlei
Piler de Carvalho.

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

Bibliografia: f. 93-100.

1. Tecnologia de alimentos -
Teses. 2. Gergelim - Teses. 3.
Alimentos - Combinação - Teses. I.
Carvalho, Carlos Wanderlei Piler de.
II. Universidade Federal Rural do
Rio de Janeiro. Curso de Pós-
Graduação em Ciência e Tecnologia de
Alimentos. III. Título.

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

ELISABETE MARIA DA GRAÇA COSTA DO NASCIMENTO

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

Dissertação aprovada em 26/02/2010

Dr. Carlos Wanderlei Piler de Carvalho (Embrapa Agroindústria de Alimentos)
(Orientador)

Dr. José Luis Ramirez Ascheri (Embrapa Agroindústria de Alimentos)

Prof. Dr. Diego Palmiro Ramirez Ascheri (Universidade Estadual de Goiás)

Dra. Cristina Yoshie Takeiti (Embrapa Agroindústria de Alimentos)
(Suplente)

DEDICATÓRIA

Espero um dia reencontrar-me com meu pai e minha mãe no céu, e ao recordarmos as coisas boas que vivemos aqui, quero lembrar também desse trabalho que me rendeu o título de Mestre. Por isso, quero dedicá-lo aos meus pais, que tanto labutaram pela minha formação intelectual.

AGRADECIMENTOS

A DEUS em primeiro lugar por me orientar, por me dar motivação, perseverança, saúde e por me dar a alegria de estudar com meus cinquenta anos.

Ao Dr. Carlos Piler por aceitar me orientar quando o enviei um e-mail.

À Dr. Cristina Takeiti que tanto me ajudou passando a ser uma co-orientadora nesse trabalho.

Ao Dr. Diego Ascheri por estar sempre pronto a ajudar e pelas aulas de estatística.

Ao Dr José Ascheri pelas orientações sobre extrusão termoplástica.

Agradeço à Embrapa pela permissão do uso de seus laboratórios e aos seus funcionários que sempre me ajudaram durante minhas tarefas.

Agradeço muitíssimo a Capes pela bolsa de estudo que me manteve durante toda a jornada.

Agradeço a UFRRJ pelo conhecimento que me proporcionou adquirir durante esses dois anos.

Agradeço as amigas de classe Monique e Eliane pela amizade que desenvolvemos enquanto o projeto se desenrolava na Embrapa.

Agradeço em especial a minha família (marido Jailton e filha Isabel) por me compreenderem quando fiquei sem tempo para eles.

Agradeço a minha filha Elisabete Bohrer por me animar por telefone e por me colocar o computador numa posição mais cômoda para que eu não tivesse problemas com a postura.

Agradeço ao meu irmão Mário Luís pelo seu apoio financeiro em horas difíceis e pelo seu atencioso carinho com sua visita constante.

Agradeço a minha irmã Cleuza por me dizer sempre uma frase muito incentivadora: "No final, tudo vai dar certo".

Agradeço aos meus cunhados Deliane e Pastor Josimir que oram por mim incessantemente para que eu seja bem sucedida em todos os meus projetos.

Agradeço a alguns amigos em especial que torcem por mim: Ronaldo (Brother), Anderson (Dentinho), Ivanilda (do Marcelo), Cátia, Jarbas, Verônica (sobrinha), Maria Pinheiro, Rosiléia (Rose I), Adriana (Pinheiro), Ana Néri, M^a do Socorro, Batata, Migão e às irmãs Neide e Carmem.

MENSAGEM

“Mas o dia começava a declinar. Então se aproximaram os doze discípulos e lhe disseram: Despede a multidão, para que indo às aldeias e campos circunvizinhos se hospedem e achem alimento; pois estamos aqui em lugar deserto. Jesus, porém, lhes disse: daí-lhes vós mesmos de comer”.

Lucas 9: 12 e 13.

RESUMO

NASCIMENTO, Elisabete Maria da Graça Costa. 2010. **Elaboração de produtos de milho enriquecidos com grãos e torta semi-desengordurada de gergelim por extrusão termoplástica**. 125 p. (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Instituto de Tecnologia, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2010.

Vem crescendo a busca por alimentos mais nutritivos de baixo custo e que sejam atraentes ao consumo. Os grãos de gergelim têm grande contribuição na alimentação humana, pois possui elevado teor de proteínas (18,8%), óleos (47,5%), fibras (18,1%) e minerais entre os quais o cálcio se destaca (1,1%). É de fácil cultivo e pode ser considerada de grande importância para a economia brasileira, pois a sua planta, sendo de ciclo rápido, também é tolerante a estiagens e muito resistente à seca do Nordeste do Brasil. A extrusão termoplástica, por ser um processo muito versátil, contínuo, de alta produtividade, promove excelente mistura de ingredientes e por isso ao ser aplicado no processamento de misturas com cereais e gergelim na elaboração de alimentos enriquecidos. O objetivo deste projeto foi desenvolver produtos de gergelim e milho visando o aumento do valor agregado e consumo do gergelim. Foi utilizado o gergelim grãos e sua torta semi-desengordurada na elaboração de produtos extrudados expandidos e obteve-se também a farinha pré-gelatinizada. Para execução do projeto foi proposto um planejamento estatisticamente delineado, em metodologia de superfície de resposta, do tipo central composto rotacional de 2ª ordem. Analisou-se a influência da temperatura da 3ª (última) zona de aquecimento de uma extrusora de rosca simples de laboratório Brabender (Duisburg, Alemanha) e os níveis de gergelim adicionados; e em uma extrusora de rosca simples comercial RX50 Inbramaq (Ribeirão Preto, SP, Brasil) onde se estudou a variação da rotação do parafuso e os níveis de torta semi-desengordurada de gergelim. Foi observado que tanto a adição de gergelim, quanto a de torta de gergelim diminui a expansão dos expandidos diretos, embora não tenha influenciado muito sobre a textura (crocância). Em comparação com produtos expandidos comerciais do mercado, os extrudados de maior adição de torta de gergelim obtiveram os mesmos valores de atributos de textura instrumental: frequência de rupturas ($0,25 \text{ mm}^{-1}$) e força das rupturas (0,06N) mostrando ser tão crocantes quanto os já existentes no mercado. Por meio da análise sensorial, os produtos com altos teores de gergelim e torta de gergelim também apresentaram boa aceitação e intenção de compra, confirmadas pelos testes de textura instrumental. As farinhas obtidas da moagem dos extrudados expandidos produzidos na extrusora comercial apresentaram resultados de índice de solubilidade em água similares ao da literatura, levando-se a concluir que as estas farinhas mistas de gergelim e milho podem ser consideradas pré-gelatinizadas indicadas para preparação de sopas de fácil preparo. Os processos e produtos obtidos poderão contribuir para disponibilizar alternativas tecnológicas alimentares para o gergelim de forma a incrementar o seu consumo que ao ser associado a cereais, obtêm-se produtos com relevantes propriedades funcionais.

Palavras chave: gergelim, extrusão, desenvolvimento de novos produtos, viscosidade de pasta, farinha pré-gelatinizada, alimentos extrudados enriquecidos.

ABSTRACT

NASCIMENTO, Elisabete Maria da Graça Costa. 2010. **Elaboration of enriched corn products with sesame seeds and semi-defatted sesame cake by thermoplastic extrusion.** 125 p. (Master of Science and Food Technology). Institute of Technology, Department of Food Technology, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, 2010

It has grown the search for more nutritious food of low cost and with consumer's appealing. The sesame seeds present great contribution to human food because they have high protein content (18.6%), oil (49.1%), fiber (6.3%) and minerals in which calcium stands out (1, 16%). It is easy to grow and can be considered of great importance for the Brazilian economy, because it shows fast agricultural production cycle, and also drought tolerant which is indicated crop to the drought region of the Brazilian Northeast. The thermoplastic extrusion process due to its versatility, continuously and high productivity can also provide excellent mixture of ingredients, therefore can be successfully applied on the mixture of cereals and sesame seeds enabling the increase of sesame crop and consumption. The objective of this project was to develop extruded products made from sesame and maize in order to increase the value added and consumption of sesame. Whole sesame seed and semi defatted sesame cake in mixture with maize *grits* were used to develop expanded extrudate products and also the pre-gelatinized flours. Central composite design of second order and the mathematical model response surface methodology were used as statistical tools analyses. The effect of temperature of the third (die) heating zone of a lab size extruder single screw extruder Brabender (Duisburg, Germany) and the sesame content were studied as well as the screw speed and semi defatted sesame cake content of the process carried out on a commercial size single screw extruder RX50 Inbramaq (Ribeirão Preto, SP, Brazil). It was observed that both the addition of sesame seeds and sesame cake reduced the expansion of direct expanded extrudates, although it did not influence much the crispness. Compared to similar extrudate commercial products, the extrudates with the highest sesame cake addition (20%) presented the same instrumental textural readings: frequency of ruptures (0.25 mm^{-1}) and average specific structural force (0.06 N) showing the same crispness level of the commercial extrudate. Non trained sensorial panel results also demonstrate that high levels of sesame seeds and semi defatted sesame cake also had good consumer acceptance and intention of purchase confirming the instrument textural analysis. The flours obtained by milling of the extrudates produced in the commercial size extruder presented index of water solubility (17, 87%) value similar to the literature leading to a conclusion that those mix flours of sesame and maize can be considered pre-gelatinized indicated to soup of easy preparation. The processes and products obtained can provide technological alternatives for increase sesame consumption that associated with cereals products of functional relevance potential can be obtained.

Keywords: sesame, extrusion, development of new food products, pre-gelatinized flour, enriched extruded products.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Estrutura química da amilose	8
Figura 2	Estrutura química da amilopectina	8
Figura 3	Amido de milho observado em microscópio ótico sob luz polarizada.	9
Figura 4	Mercado Norte-Americano de s.	10
Figura 5	Fluxograma de produção de snacks de expansão direta e farinha instantânea em extrusora Brabender ou Inbramaq.	18
Figura 6	Representação gráfica do resultado típico da força de compressão aplicada sobre extrudado expandido (adaptado de Bouvier et al., 1997).	21
Figura 7	Ficha de informação para teste de análise sensorial	23
Figura 8	Influência do teor de gergelim sobre o IER	34
Figura 9	Influência do teor TSDG e da velocidade de rotação do parafuso sobre o IER	36
Figura 10	Efeito da temperatura e do teor de gergelim sobre a densidade aparente dos extrudados produzidos na extrusora de laboratório (Brabender).	39
Figura 11	Efeito da temperatura e teor de gergelim sobre a FR (mm-1) produzidos na extrusora de laboratório Brabender.	43
Figura 12	Efeito da temperatura e do teor de gergelim sobre o trabalho de crocância, TC (N.mm) dos extrudados produzidos na extrusora de laboratório Brabender.	44
Figura 13	Efeito da velocidade do parafuso e do teor de torta de gergelim semi-desengordurada sobre a variável dependente Força de Compressão (N) em extrusora Inbramaq.	47
Figura 14	Efeito da velocidade do parafuso e do TSDG sobre a variável resposta Força Específica das Rupturas, FER (N) na extrusora Inbramaq.	48
Figura 15	Efeito da velocidade do parafuso e do teor de TSDG sobre a variável dependente Trabalho de Crocância, TC (Nmm-1) na extrusora Inbramaq.	49
Figura 16	Imagens de expandidos feitas em scanner de escritório. Ao lado esquerdo acima um tratamento central e ao lado direito acima o tratamento axial máximo.	51

Figura 17	Snack com 100% grits de milho feito em extrusora Inbramaq com velocidade de parafuso de 355,55 rpm. Imagem esquerda com aumento de 40X e imagem direita com aumento de 500X da parede da célula do snack.	52
Figura 18	Snack com 10% de adição de TSDG e 90% grits de milho feito em extrusora Inbramaq com velocidade de parafuso de 355,55 rpm. Imagem esquerda com aumento de 40X e imagem direita com aumento de 500X da parede da célula do snack.	52
Figura 19	Snack com 20% de adição de TSDG e 80% grits de milho feito em extrusora Inbramaq com velocidade de parafuso de 355,55 rpm. Imagem esquerda com aumento de 40X e imagem direita com aumento de 500X da parede da célula do snack.	53
Figura 20	Notas de 6 a 9 do teste de aceitação.	55
Figura 21	Notas de 5 a 7 do teste intenção de compra	56
Figura 22	Snacks adicionados de Gergelim e TSDG para análise sensorial. Amostras axiais máximas e ponto central.	57
Figura 23	Superfície de resposta para DE dos extrudados elaborados na extrusora de laboratório (Brabender).	61
Figura 24	Grão de gergelim batizados de “BRS SEDA”, da Embrapa Algodão (Campina Grade – PB) cujo grão mede 3,8 mm, sendo na figura aumentado de 7,63 X.	62
Figura 25	Luminosidade (L*) processadas em extrusora de laboratório	62
Figura 26	Superfície de resposta para ΔE dos extrudados elaborados na extrusora comercial Inbramaq.	64
Figura 27	Luminosidade (L*) das amostras processadas em extrusora comercial.	65
Figura 28	Influência do teor de gergelim sobre a DAb das farinhas obtidas dos extrudados em máquina Brabender.	67
Figura 29	Influência da adição de gergelim sobre o VTP das farinhas obtidas dos extrudados em máquina Brabender.	69
Figura 30	Influência da adição de TSDG em farinha de milho obtido da moagem de extrudados expandidos produzidos em extrusora comercial Inbramaq sobre a DAb das farinhas.	71
Figura 31	Influência da adição de TSDG sobre o Volume total de Poros das farinhas obtidas da moagem dos snacks.	73
Figura 32	Perfil de viscosidade de pasta do grits de milho comercial moído (fração granulométrica analisada entre 106 e 212 μm).	75
Figura 33	Perfil de viscosidade de pasta da farinha obtida da moagem do extrudado expandido de milho adicionado de 17% de TSDG,	75

produzido na extrusora comercial Inbramaq na velocidade do parafuso de 333 rpm.

Figura 34	Viscosidade à frio (25°C) das farinhas obtidas dos expandidos adicionados de gergelim em extrusora Brabender.	78
Figura 35	Efeito quadrático da TSDG sobre a viscosidade a 95°C	80
Figura 36	Efeito quadrático da TSDG sobre a Breakdown.	82
Figura 37	Efeito da rotação do parafuso e da adição de TSDG sobre a Setback	84
Figura 38	Influência da adição de gergelim sobre o IAA das farinhas obtidas da moagem dos extrudados.	87
Figura 39	Efeito da adição de torta semi-desengordurada sobre o ISA das farinhas obtidas da moagem dos "snacks".	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Composição média do óleo de gergelim	4
Tabela 2	Composição em aminoácidos da farinha desengordurada de gergelim	5
Tabela 3	Composição em aminoácidos do grits de milho	11
Tabela 4	Níveis codificados das variáveis independentes do experimento I	15
Tabela 5	Delineamento completo do desenho experimental I	16
Tabela 6	Níveis codificados das variáveis independentes do experimento II	17
Tabela 7	Delineamento completo do desenho experimental II	17
Tabela 8	Distribuição granulométrica de grits de milho degerminado próprio para snacks com textura crocante e células maiores.	26
Tabela 9	Tamanho dos grãos de gergelim.	27
Tabela 10	Tamanho das partículas dos grits de milho.	27
Tabela 11	Tamanho da torta semi-desengordurada de gergelim moído.	27
Tabela 12	Composição centesimal da torta semi-desengordurada de gergelim (TSDG), do grits de milho e dos grãos de gergelim.	29
Tabela 13	Conversão dos valores do rótulo dos produtos comerciais A e B para porcentagem em 100g.	29
Tabela 14	Composição centesimal dos tratamentos axiais e centrais.	30
Tabela 15	Composição em aminoácidos da torta semi-desengordurada de gergelim, do grits de milho.	31
Tabela 16	Composição em aminoácidos dos tratamentos de maiores teores de adição de TSDG e de gergelim.	31
Tabela 17	Índice de Expansão Radial dos extrudados adicionados de gergelim grãos	32
Tabela 18	Teste F, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrático aplicado ao Índice de Expansão Radial dos extrudados de grits de milho adicionados de gergelim grãos processados em máquina Brabender.	33

Tabela 19	Índice de Expansão Radial dos extrudados adicionados de TSDG.	35
Tabela 20	Teste F, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrático aplicado ao Índice de Expansão Radial dos extrudados de grits de milho adicionados de TSDG processados em máquina Inbramaq.	35
Tabela 21	Densidade aparente dos extrudados expandidos de milho e gergelim grãos produzidos na extrusora de laboratório (Brabender).	37
Tabela 22	Teste F, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrático aplicado a Densidade aparente dos extrudados de grits de milho adicionados de gergelim grãos processados em máquina Brabender.	38
Tabela 23	Textura dos extrudados adicionados de gergelim grãos feitos na extrusora de laboratório Brabender.	41
Tabela 24	Teste F, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrático aplicado a Frequência de Rupturas (FR) dos extrudados de grits de milho adicionados de gergelim grãos processados em máquina Brabender.	41
Tabela 25	Teste F, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrático aplicado a Trabalho de Crocância (TC) dos extrudados de grits de milho adicionados de gergelim grãos processados em máquina Brabender.	42
Tabela 26	Textura dos extrudados adicionados de TSDG feitos em extrusora Inbramaq.	45
Tabela 27	Teste F, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrático aplicado a (FC) dos extrudados de grits de milho adicionados de TSDG processados em máquina Inbramaq.	45
Tabela 28	Teste F, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrático aplicado a (FER) dos extrudados de grits de milho adicionados de TSDG processados em máquina Inbramaq.	46
Tabela 29	Teste F, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrático aplicado a (TC) dos extrudados de grits de milho adicionados de TSDG processados em máquina Inbramaq.	46

Tabela 30	Teste de punctura em snacks comerciais marca A e B em comparação com resultados de tratamentos com maior adição de Gergelim Grãos (GG) e Torta semi-desengordurada de gergelim (TSDG).	50
Tabela 31	Resultados do teste de aceitação dos extrudados adicionados de gergelim e TSDG em extrusora Inbramaq.	54
Tabela 32	Resultados do teste de intenção de compra	54
Tabela 33	Análise de dados em clusters dos provadores sem informação	56
Tabela 34	Análise de dados em clusters dos provadores com informação	57
Tabela 35	Resultados da L^* , a^* , b^* e ΔE das amostras dos extrudados processadas em extrusora de laboratório.	59
Tabela 36	Teste F, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrático aplicado a Delta E (DE) dos extrudados de grits de milho adicionados de gergelim grãos processados em máquina Brabender.	60
Tabela 37	Resultados da L^* , a^* , b^* e ΔE das amostras dos extrudados processados em extrusora comercial.	63
Tabela 38	Teste F, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrático aplicado a (DE) dos extrudados de grits de milho adicionados de TSDG processados em máquina Inbramaq.	63
Tabela 39	Resultados para DAb e VTP das farinhas dos snacks de milho e gergelim grãos na extrusora Brabender.	66
Tabela 40	Teste F, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrático aplicado a DAb dos extrudados de grits de milho adicionados de gergelim grãos processados em máquina Brabender.	66
Tabela 41	Teste F, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrático aplicado a VTP dos extrudados de grits de milho adicionados de TSDG processados em máquina Brabender.	68
Tabela 42	Densidade Absoluta e Volume Total de Poros das farinhas dos snacks de milho e TSDG na extrusora Inbramaq .	70
Tabela 43	Teste F, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrático aplicado a DAb dos extrudados de grits de milho adicionados de gergelim grãos processados em máquina Inbramaq.	70

Tabela 44	Teste F, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrático aplicado a (VTP) dos extrudados de grits de milho adicionados de TSDG processados em máquina Inbramaq.	72
Tabela 45	Densidade absoluta e volume total de poros dos produtos comerciais A e B.	73
Tabela 46	Resultados de Viscosidade da farinha dos snacks de grits de milho e gergelim grãos em extrusora Brabender.	76
Tabela 47	Teste F, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrático aplicado a Viscosidade à frio (25°C) dos extrudados de grits de milho adicionados de gergelim grãos processados em máquina Brabender.	77
Tabela 48	Resultados de Viscosidade da farinha dos snacks de grits de milho e adição de TSDG em extrusora Inbramaq.	79
Tabela 49	Teste F, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrático aplicado a Viscosidade à 95°C (cP) dos extrudados de grits de milho adicionados de TSDG processados em máquina Inbramaq.	79
Tabela 50	Teste F, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrático aplicado a Breakdown (cP) dos extrudados de grits de milho adicionados de TSDG processados em máquina Inbramaq.	81
Tabela 51	Teste F, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrático aplicado a Setback (cP) dos extrudados de grits de milho adicionados de TSDG processados em máquina Inbramaq.	83
Tabela 52	Resultados de ISA e IAA da farinha dos snacks de grits de milho e gergelim grãos em extrusora Brabender.	85
Tabela 53	Teste F, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrático aplicado a Viscosidade à frio (25°C) dos extrudados de grits de milho adicionados de gergelim grãos processados em máquina Brabender.	86
Tabela 54	Resultados de ISA e IAA da farinha dos snacks de grits de milho e TSDG em extrusora Inbramaq.	88

Tabela 55	Teste F, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrático aplicado a ISA dos extrudados de grits de milho adicionados de TSDG processados em máquina Inbramaq.	88
Tabela 56	Resultados do ISA e IAA da matéria-prima grits de milho e TSDG.	90
Tabela 57	Resultados do ISA e IAA de grits de milho extrusado em Brabender e Inbramaq.	90

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Objetivo Geral	1
1.2	Objetivos Específicos	2
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1	Gergelim	3
2.2	Processamentos de Alimentos por Extrusão Termoplástica	5
2.3	Milho	7
3	MATERIAIS E MÉTODOS	12
3.1	Matéria-Prima	12
3.1.1	Caracterização química da matéria-prima	13
3.1.2	Determinação da distribuição granulométrica da matéria prima	13
3.2	Delineamento experimental I	13
3.2.1	Parâmetros constantes para extrusão em máquina Brabender	16
3.3	Delineamento experimental II	16
3.3.1	Parâmetros constantes de extrusão em máquina Inbramaq	17
3.4	Extrusão	18
3.5	Caracterização dos Expandidos Diretos (Extrudados)	19
3.5.1	Índice de expansão radial	19
3.5.2	Densidade aparente	19
3.5.3	Análise de textura instrumental	20

3.5.4	Análise macroscópica	22
3.5.5	Análise microscópica eletrônica de varredura	22
3.5.6	Análise Sensorial	22
3.5.7	Análise de cor	23
3.6	Caracterização das Farinhas dos Extrudados.	24
3.6.1	Densidade absoluta e volume total de poros.	24
3.6.2	Viscosidade das farinhas obtidos dos <i>snacks</i>	25
3.6.3	Índice de solubilidade em água (ISA) e índice de absorção de água (IAA)	25
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1	Caracterização dos Expandidos Diretos (extrudados)	26
4.1.1	Classificação granulométrica da matéria-prima	26
4.1.2	Composição centesimal e perfil de aminoácidos dos <i>snacks</i> e da matéria-prima e dos produtos comerciais.	28
4.1.3	Índice de expansão radial	32
4.1.4	Densidade aparente dos extrudados	37
4.1.5	Análise de textura instrumental	40
4.1.6	Imagem macroscópica estrutural dos <i>snacks</i>	50
4.1.7	Imagens de microscopia eletrônica de varredura dos extrudados adicionados de TSDG em extrusora Inbramaq.	52
4.1.8	Análise sensorial	53
4.1.9	Análise de cor dos extrudados expandidos	58
4.2	Análise das Farinhas Obtidas da Moagem dos Extrudados Expandidos	65
4.2.1	Densidade absoluta (DAb) e volume total de poros (VTP) obtidos das farinhas dos extrudados.	65
4.2.2	Viscosidade das farinhas obtidas dos extrudados	74
4.2.3	Índice de solubilidade em água (ISA) e índice de absorção de água (IAA)	84

5	CONCLUSÃO	91
6	BIBLIOGRAFIA	93
7	ANEXOS	101
	ANEXO A	102
	ANEXO B	102
	ANEXO C	103
	ANEXO D	105
	ANEXO E	107
	ANEXO F	114
	ANEXO G	115
	ANEXO H	118

1 INTRODUÇÃO

Existe uma urgente necessidade do desenvolvimento de alimentos nutritivos, particularmente aqueles de origem vegetal, tanto para países em desenvolvimento como para países desenvolvidos de forma a satisfazer os requerimentos nutricionais e crescentes demanda. Além disso, cresce a preocupação com consumo de alimentos saudáveis que promovam o bem estar e a satisfação, sem, contudo provocar a obesidade.

Biscoitinhos salgadinhos, refeições rápidas e lanches estão em crescente consumo em todo o mundo, principalmente pela população jovem e infantil. Bastante relevante é a baixa contribuição nutricional que produtos extrudados (salgadinhos de milho, trigo e arroz) oferecem, pois são produzidos basicamente com fontes ricas de amido. A substituição parcial do amido por fontes de fibras, proteínas e óleos essenciais seria de muito valor para a saúde desses consumidores que apreciam tanto esse tipo de alimento.

Do ponto de vista nutricional, o consumo de gergelim contribui na alimentação humana, uma vez que possui elevados teores de proteína, óleos, fibras e minerais. Apesar de todas as vantagens nutritivas, o seu consumo é bastante reduzido no Brasil ao ser comparado com outros países asiáticos. Por outro lado, existem poucas alternativas em produtos de gergelim oferecidos a população e, além disso, o seu consumo não faz parte do hábito alimentar do brasileiro.

O uso de técnicas de processamento que possibilitem sua utilização em produtos alternativos, com sabor e textura agradável seria de grande impulso no aumento do consumo deste vegetal. O processo de extrusão termoplástica pode contribuir por viabilizar essas alternativas.

Produtos expandidos de milho resultante do processo de extrusão termoplástica possuem alto valor calórico, mas apresenta baixa quantidade e qualidade protéica em virtude da deficiência em alguns aminoácidos. A adição do gergelim em extrudados de milho, por ser rico em proteína, particularmente aminoácido sulfurados essenciais, pode resultar em produto de qualidade, aumentando o conteúdo total de proteína, além de contribuir também com ácidos graxos de grande poder antioxidante, fibra insolúvel, minerais e vitaminas.

Com o aumento do consumo do gergelim, a promoção do cultivo do gergelim também pode favorecer a criação de nova alternativa econômica e social para as condições semi-áridas do Nordeste Brasileiro. A planta é de fácil cultivo, sendo no Brasil de ciclo produtivo rápido (entre 90 e 130 dias), apresenta tolerância a estiagens sendo muito resistente a seca, muito comum no Nordeste.

Como o grãos de gergelim possui teor médio de óleo em torno de 50%, a torta de gergelim semi-desengordurada resultante do esmagamento dos grãos para produção de óleo (resíduo de óleo, ~11%) é considerado uma rica concentração de nutrientes tais como fibra alimentar, proteína, minerais e vitaminas. Esta torta, de mais baixo valor comercial, pode ser utilizada em formulações de extrudados expandidos (salgadinhos crocantes e aerados) e farinhas instantâneas pelo processo de extrusão.

1.1 Objetivo Geral

Aumentar o valor nutricional dos cereais extrudados de milho na formulação com *grits* de milho e aumentar o consumo de gergelim.

1.2 Objetivos Específicos

Utilizar o gergelim grãos e a torta de gergelim semi-desengordurada na elaboração de produtos extrudados expandidos, bem como na obtenção de farinha pré-gelatinizada ou instantânea. Para tal, foi avaliado o efeito das condições de extrusão sobre as propriedades físicas, funcionais e sensoriais dos snacks e das farinhas através de diversas análises dos extrudados produzidos em duas extrusoras de rosca simples, de laboratório e comercial.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Gergelim

O gergelim (*Sesamum indicum* L.) da família Pedaliaceae, é a mais antiga oleaginosa cultivada no mundo. Originária provavelmente da África tropical, é atualmente cultivada extensivamente nas mais variadas latitudes (OPLINGER et al., 1990; RAM et al., 1990; SIMON et al., 1984). Em alguns países asiáticos, esta oleaginosa tem importância econômica e social significativa. Segundo Arriel et al. (2006) a sua produção mundial é estimada em 3,16 milhões de toneladas, obtidas em 6,56 milhões de hectares, com produtividade de 481,40 kg/há. Índia e Myanmar são responsáveis por 49% da produção mundial. O Brasil é um pequeno produtor, com 15 mil toneladas produzidas em 25 mil hectares e rendimento em torno de 600,0 kg/ha (FAO, 2006).

Com um ciclo de 90-150 dias é uma planta muito tolerante as condições de secura. A deiscência (abertura espontânea de parte do vegetal ao alcançarem a maturidade para deixar cair suas grãos) das cápsulas (de onde vem a expressão «abre-te sésamo») condiciona fortemente a produção de grãos (SIMON et al., 1984).

A cultura do gergelim foi introduzida no Brasil pelos portugueses no século XVI. É plantado tradicionalmente na Região Nordeste para consumo local, e vem sendo explorado comercialmente no Centro-Oeste e Sudeste, especialmente no Estado de São Paulo há mais de 60 anos para atender ao segmento agro-industrial de óleos e de alimentos *in natura* (ARRIEL et al., 2006).

O cultivo de gergelim se desenvolve principalmente em sistemas de produção de pequena escala, que utilizam a mão-de-obra familiar e normalmente é consorciado com o milho, feijão ou feijão caupi, servindo de fonte alternativa de renda e alimento. Neste segmento, a exploração da cultura representa uma excelente opção agrícola por exigir práticas agrícolas simples e de fácil assimilação. Além de a planta ser de fácil cultivo sendo no Brasil de ciclo rápido (entre 90 a 130 dias), é muito resistente à seca do nordeste (EMBRAPA ALGODÃO, 2000; AUGSTBURGER et al. 2000).

Mantendo-se os atuais níveis de produtividade regional, pode-se expandir a área cultivada e abrir a possibilidade de se conquistar parcela do mercado externo com o excedente de produção em virtude da alta cotação dessa oleaginosa no comércio internacional, garantindo ao Nordeste e a outras regiões mais uma fonte de divisas. Além do cultivo tradicional na maioria dos Estados nordestinos, o gergelim é cultivado em São Paulo, Goiás (maior produtor), Mato Grosso e Minas Gerais.

Os grãos de gergelim contêm uma grande variedade de princípios nutritivos de alto valor biológico. Seus grãos são pequenos, achatados, de coloração variando do branco ao preto. É largamente usado em muitos países pelo seu alto teor de óleo, proteína e conteúdo de antioxidante, que tem crescido o interesse devido a sua larga aplicação na indústria de alimentos pelo seu significativo impacto sobre a saúde em prevenir doenças (LEE, 2006).

Em muitos países como a Alemanha, China, Índia e Turquia, o gergelim e seu óleo é usado para ajudar a diminuir os riscos de problemas de saúde, tais como câncer e outros (BECKSTROM-STERNBERG et al., 1994; MORRIS, 2002).

O gergelim é uma oleaginosa que contém em sua composição grande quantidade de óleos em torno de 50% sendo o oléico e linoléico que é característico por seu conteúdo de antioxidantes chamado lignanas. Seus grãos são ricos em magnésio, cobre, cálcio, cromo e

fósforo. Além disso, contém vitamina B1 e Vitamina E. A sua ação suavemente laxante se deve as mucilagens (BELTRÃO e VIEIRA, 2001). O gergelim também contém fito esterol, que bloqueia a produção de colesterol como citado em trabalhos como um redutor hipercolesterolêmico (VISAVADIYA e NARASIMHACHARYA, 2008).

A sua quantidade de proteína gira em torno de 22% sendo a sua composição de aminoácidos essenciais podendo atender as necessidades de proteínas e energia da população e ajudar em especial das crianças em idade escolar. O produto misto na forma de farinha instantânea pode elevar o padrão alimentício da merenda escolar da rede pública, melhorando a qualidade de vida dos estudantes. Pode também ser utilizada para auxiliar na recuperação de pacientes hospitalizados fazendo parte de dietas enterais, assim como o potencial uso da proteína isolada do gergelim tem sido estudado para dietas enterais por (LÓPEZ, 2003).

Seus grãos contém cerca de 50% de óleo de excelente qualidade, semelhante ao óleo de oliva (Tabela 1), muito rico em ácidos graxos insaturados, como oléico e linoléico e apresenta vários constituintes secundários que são importantíssimos na definição de suas qualidades (BELTRÃO, 1994; FIRMINO, 1996). O óleo de gergelim contém sesamina, sesamol e sesamolina em sua fração monoglicerol, a qual é conhecida por ter um importante papel na estabilidade oxidativa e atividade antioxidante segundo Xu et al., (2005). Diferentes estudos têm demonstrado que as lignanas do gergelim têm efeito na redução de danos séricos e do colesterol, aumentando a atividade da vitamina E a viabilidade do tocoferol (KATO et al., 1998; IKEDA et al., 2003). As lignanas são fitoestrógenos e sua conversão a enterolactona é muito importante na prevenção de câncer hormônio-dependente (como o de seio e da próstata) e de doenças cardiovasculares (KILKKINEN, 2004).

Tabela 1 Composição média do óleo de gergelim

Constituintes	%
Ácido oléico	45,3 – 49,4
Ácido linoleico	37,7 – 41,2
Ácido palmítico	7,8 – 9,1
Ácido esteárico	3,6 – 4,7
Ácido araquídico	0,4 – 1,1
Ácido hexadecenoico	0,0 – 0,5
Ácido Mirístico	0,1

Fonte: YERMANOS, et al. (1972)

O resíduo do gergelim, obtido a partir da extração de óleo, contém, em média, 40% de proteínas, ricas em aminoácidos sulfurados (WEISS, 1983 e FIRMINO, 1996). Este resíduo também é rico em fibras e minerais dos quais o cálcio se destaca tendo em torno de 1500mg em 100g de torta semi-desengordurada segundo Arriel et al, (2006). A sua torta semi-desengordurada pode ser considerada como fonte de fibra, pois no Brasil, por meio da Resolução Normativa nº 27 da Secretaria Nacional de Vigilância Sanitária, se estabelece, no regulamento técnico referente à informação nutricional complementar, que um alimento pode ser considerado fonte de fibra alimentar quando no produto acabado existirem 3g/100g de fibras para alimentos sólidos (ANVISA, 1998). Comparada ao padrão da FAO, a proteína do gergelim desengordurado apresenta uma composição em aminoácidos adequada, exceto em relação a uma pequena deficiência em lisina e metionina (Tabela 2), (WEISS, 1983; FIRMINO, 1996).

Tabela 2 Composição em aminoácidos da farinha desengordurada de gergelim

Aminoácidos Totais	Concentração g/100g de proteínas	FAO, 1967 (EVANS e BANDEMERS)
ESSENCIAIS		
Isoleucina	3,81	4,2
Leucina	7,42	4,8
Lisina	3,41	4,2
Fenilalanina	5,12	2,8
Metionina	1,39	2,2
Valina	4,59	4,2
Tirosina	4,01	
Treonina	3,77	
NÃO ESSENCIAIS		
Alanina	1,80	
Arginina	8,67	
Ácido aspártico	8,66	
Ácido glutâmico	23,18	
Cistina	1,80	
Glicina	5,55	
Histidina	2,56	
Prolina	4,02	
Serina	5,30	

Fonte: FIRMINO (1996)

O gergelim apresenta um fator anti-nutricional que são os seus taninos, que afetam a digestibilidade podendo limitar seu uso. No estudo de Nibedita Mukhopadhyay e Sukumar Bandyopadhyay em 2001 foi mostrado que o processo de extrusão termoplástica é muito efetivo na redução dos fatores anti-nutricionais do gergelim, encontrando uma redução de tanino de 61%. Eles trabalharam com temperatura abaixo de 97°C e com umidade de 32 a 48%, em uma extrusora mono rosca.

Subprodutos como cascas, bagaço ou torta semi-desengordurada que possuem valor nutricional agregado, podem ser aproveitados incorporando-se como ingredientes em formulações para se obter novos produtos.

Para uma eficiente utilização e aceitação do consumo dessa oleaginosa se faz necessário o importante estudo das propriedades funcionais dos produtos desenvolvidos.

2.2 Processamentos de Alimentos por Extrusão Termoplástica

A tecnologia de extrusão vem sendo amplamente utilizada na elaboração de diversos tipos de produtos devido a sua versatilidade e flexibilidade. Apesar do custo do equipamento ser consideravelmente alto é um método de cozimento que requer menor gasto de energia e devido à alta produtividade, este custo é reduzido em curto espaço de tempo. O processo de extrusão também pode inativar substâncias anti-nutricionais, matar microorganismos

patogênicos, aumentar a digestibilidade dos materiais empregados como ingredientes e ocupa menor área de trabalho e mão-de-obra além de não produzir efluente (CAMIRE, 2002; SEBIO, 1996; CARVALHO, 2000).

A extrusora de rosca única foi aplicada no processo de alimentos em 1935 para extrusão de pastas alimentícias. Desde então, o uso de extrusão na indústria de alimentos tem aumentado grandemente principalmente em processos que requeiram cozimento ou gelatinização em algum estágio como os snacks, cereais, pastas e outros produtos (ROSSEN e MILLER, 1973).

A extrusão é um processo de tratamento térmico de alta temperatura em curto tempo do tipo H.T.S.T. (High Temperature Short Time). Combinando-se calor, umidade e trabalho mecânico a matéria-prima é modificada sensivelmente promovendo novas formas e estruturas com novas características funcionais e nutricionais. Durante a extrusão poderá ocorrer a gelatinização do amido e a desnaturação de proteínas o que faz aumentar a sua digestibilidade.

Os fatores ligados à matéria-prima tais como teor de umidade, proporção de amilose e amilopectina, conteúdo de proteína, lipídios e fibra e as fontes de amido utilizadas, exercem grande influência no produto acabado segundo Faubion e Houseney, (1982), pois esses fatores serão responsáveis pela finalidade e uso do alimento criado. A umidade da matéria-prima do processamento ocupa um lugar importante em definir se o extrudado será um expandido direto ou se será um snack de terceira geração (que expande após com fritura ou calor de forno). A mistura da matéria-prima dará origem também a produtos que poderão ter diferentes texturas: duros ou crocantes.

Uma das vantagens da extrusão reside no fato de apresentar controle mais rigoroso do grau de gelatinização, onde pequenas modificações no equipamento e na matéria-prima podem levar a diferentes resultados finais da qualidade conforme descreve (EL-DASH, 1982). Ela também menciona que a pré-gelatinização de farinhas de cereais pode ser obtida em escala industrial por utilização de secagem por aspersão, secagem em rolos ou por extrusão, sendo que este último apresenta-se como o mais vantajoso por substituir processos convencionais na produção de farinhas pré-gelatinizadas

Como é conhecido, o amido nativo quase não absorve água à temperatura ambiente, sendo sua viscosidade em meio aquoso praticamente nula. Entretanto, o amido extrudado, submetido aos parâmetros de extrusão para expandidos direto, absorve água rapidamente, formando uma pasta à temperatura ambiente, a qual é formada por macromoléculas solubilizadas, incluindo também partículas intumescidas por água (gel), (MERCIERE e FEILLET, 1975; CHINNASWAMY e HANNA, 1988; GOMEZ et al., 1988; ONWULATA et al., 1992; ASCHERI, et al. 1995).

No processo de cozimento por extrusão são vários os parâmetros devem ser considerados como temperatura, pressão, velocidade do parafuso, umidade do material a ser processado, teor de material adicionado. A fim de monitorar o processo de extrusão algumas determinações se fazem necessárias no produto final como, por exemplo, a expansão do produto. No produto ao sair da matriz sob alta pressão ocorre formação de bolhas de ar e conseqüentemente expansão destas bolhas provocando expansão da estrutura interna que confere crocância ao produto (OZCAN e JACKSON, 2005).

Alves et al., (2002) trabalhou com farinha de cará em uma mono-rosca, para manufatura de *snack*, avaliando os efeitos da umidade (16, 20 e 24%), da temperatura (120, 150 e 180°C) e diâmetro da matriz (3, 4 e 5 mm) nas características dos extrudados. No estudo feito através de volume específico, comprimento específico, fraturabilidade e outros, foi observado que a temperatura foi o parâmetro mais importante que influenciou todas as propriedades estudadas. Os parâmetros que possibilitaram obter *snacks* com propriedades

desejáveis (alto volume específico e baixa fraturabilidade) apontaram para o de teor de umidade de 17%, a 170°C com matriz de 4 mm de abertura.

Já Ascheri et al., (2006) trabalhando com bagaço de jabuticaba e farinha de arroz estudaram as propriedades funcionais (índice de expansão e índice de solubilidade) dos extrudados em proporções de 11,59 a 25% (bagaço/arroz). Utilizaram uma extrusora monorosca e variaram a temperatura da última zona de aquecimento de 99,54 e 200,46 °C e a rotação de parafuso de 65,90 a 234,10 rpm. Foi observado que a expansão dos extrudados aumentou com o aumento da rotação do parafuso e diminuiu com o aumento da adição de farinha de bagaço de jabuticaba. O índice de solubilidade aumentou com o aumento da rotação de parafuso e com a diminuição da temperatura.

A técnica de extrusão viabiliza a utilização de várias misturas de diferentes matérias-primas ricas em proteínas e amidos, podendo ser incorporada na composição. Minerais e vitaminas podem enriquecer o produto além de possibilitar baixo custo e alto valor nutritivo com uma longa vida de prateleira (ANDERSON e HEDLUND, 1990; GUZMEN et al., 1992; SILVA, 1990).

O método de cozimento por extrusão é usado beneficemente para inativar enzimas, destruir fatores anti-nutricionais os quais são apresentados em várias espécies de grãos de gergelim. Entre as mudanças físico-químicas que ocorrem a desnaturação protéica tem um lugar importante quanto ao potencial alergênico do gergelim.

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

A fim de analisar os acontecimentos durante a extrusão e os resultados das propriedades físicas, químicas e funcionais são feitas análises de índice de expansão radial, textura, cor, microscopia ótica, densidade das farinhas obtidas, índice de absorção de água, índice de solubilidade em água, viscosidade de pasta, análise sensorial e análise de composição centesimal.

2.3 Milho

O milho (*Zea mays*) é um dos principais cereais cultivados no mundo, fornecendo produtos para a alimentação humana e animal e matéria-prima para a indústria. No Brasil, a cultura ocupa posição significativa na economia, em decorrência do valor da produção agropecuária, da área cultivada e do volume produzido, especialmente nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste.

O uso do milho em grão como alimentação animal representa a maior parte do consumo desse cereal: cerca de 70% no mundo (DUARTE, 2000). Apesar do restrito uso do milho em grão na alimentação humana, a utilização de seus derivados constitui fator importante no consumo desse cereal em regiões com baixa renda. Em algumas situações, o milho constitui o alimento principal como, por exemplo, no Nordeste do Brasil, onde o milho é a fonte de energia para muitas pessoas que vivem no semi-árido; outro exemplo está na população mexicana, que tem no milho o ingrediente básico para sua culinária (MARÇALLO, 2006).

O milho é, dentre os cereais cultivados no Brasil, o mais expressivo, com cerca de 57,481 milhões de toneladas de grãos produzidos, em uma área de aproximadamente 14,748 milhões de hectares (CONAB, 2008), referente a duas safras, normal e safrinha.

Na área de alimentos, o amido consiste na principal matéria-prima para a fabricação de produtos extrudados, (SILVA, 2004). O amido confere ao produto final características típicas como alta expansão e crocância.

Para a indústria, os componentes do grão de milho são: amido 60%, casca 6,5%, glúten 10%, óleo 3,5%, torta 5%, água 15%. O amido é composto basicamente por duas moléculas que são a amilose e a amilopectina. A amilose com cerca de 250-300 unidades de glicose em ligações alfa 1, 4 em cadeia linear (Figura 1). Possui uma conformação helicoidal que possibilita a formação de um complexo de cor azul, quando o iodo é colocado em contato com o amido. Essa reação é usada como método para caracterizar um amido. A amilopectina contém em torno de 1000 unidades de glicose em ligações alfa 1,6 com cadeia ramificada (Figura 2).

O tipo de milho difere de acordo com a composição percentual de amilose e de amilopectina. O milho comum (também conhecido como milho híbrido) possui um teor de amilose de 27% e de amilopectina de 73%, enquanto o milho ceroso (também conhecido como milho *waxy*) possui 0% a 6% de amilose e 94% a 100% de amilopectina (MIZUKAMI, 1999).

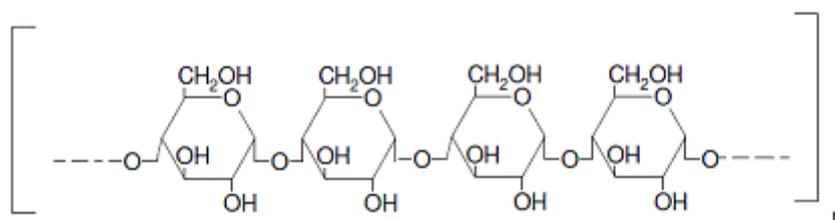


Figura 1 Estrutura química da amilose

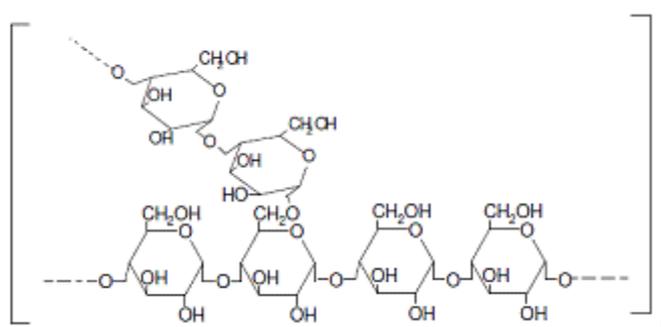
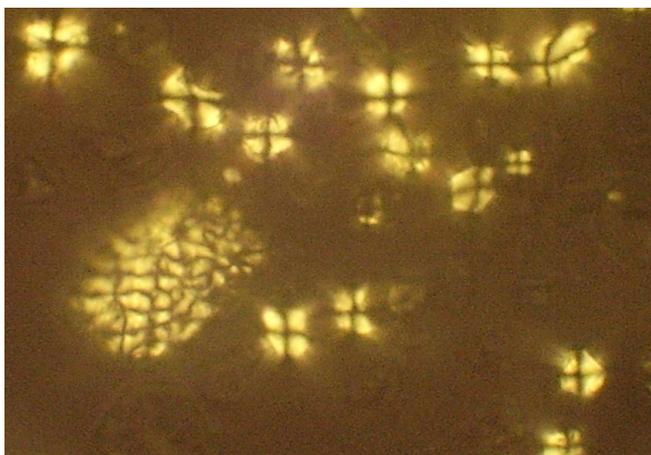


Figura 2 Estrutura química da amilopectina

O grão de milho é constituído de carboidratos, proteínas, vitaminas (complexo B), sais minerais (ferro, fósforo potássio, cálcio) óleo e grandes quantidades de açúcares, gorduras, celulose, calorias e fibra.

Dentro da classificação botânica, o milho pertence à ordem *Gramineae*, família *Poaceae*, sub-família *Panicoideae*, tribu *Maydeae*, gênero *Zea*, espécie *mays*. O milho passou a ser *Zea mays* L. spp. *mays*, já que no México possui um parente selvagem de espécie chamado *teosinte*, com nome científico *Zea mays*, com suas subespécies diferenciadas do milho, como por exemplo: *Zea mays* spp. *mexicana*, *Zea mays perennis* entre outros. Quando se refere ao milho é essencial e obrigatório que se mencione o nome do cientista (*Zea mays* Linné), caso contrário irá fazer um equívoco de espécies e de produtos (PATERNIANI e CAMPOS, 1999).

Os grânulos de amido nativo apresentam birrefringência (onde o índice de refração é máximo perpendicular à superfície do grânulo) quando observados em microscópio óptico sob luz polarizada, o que indica certo grau de organização molecular (Figura 3). A parte linear das moléculas de amilopectina formam 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 (SOEST et al., 1996)



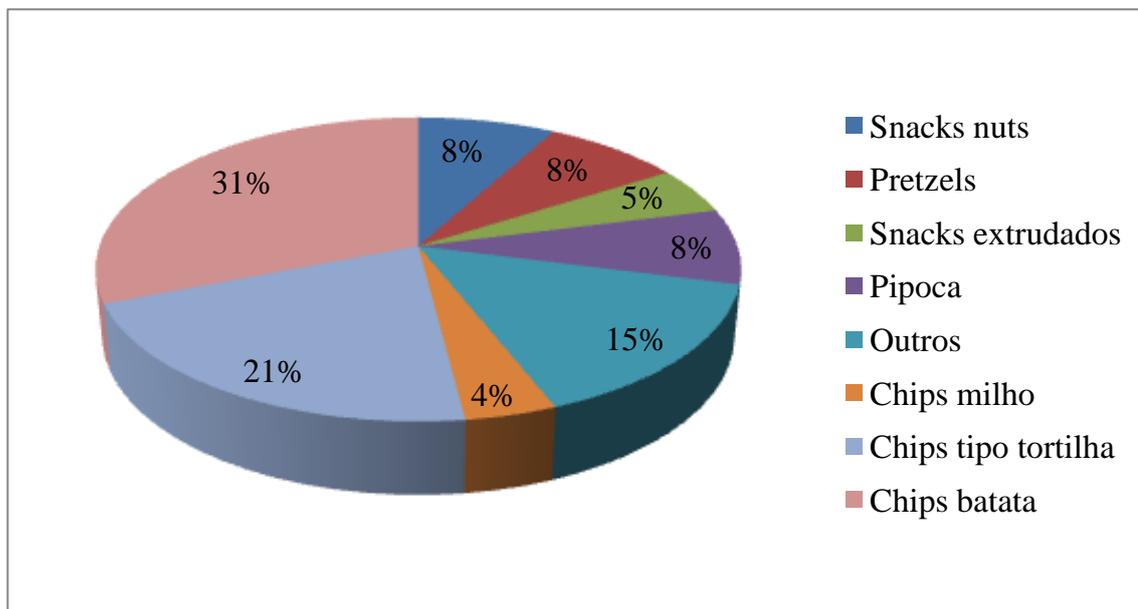
Fonte: Nascimento, 2010.

Figura 3 Amido de milho observado em microscópio óptico sob luz polarizada.

A gelatinização, que é o processo de transformação do amido granular em pasta viscoelástica, afeta sensivelmente a propriedade estrutural cristalina dos grânulos. Durante o aquecimento do amido disperso em excesso de água, ocorre inicialmente inchamento dos grânulos e rompimento com destruição da ordem molecular e mudanças irreversíveis nas suas propriedades. A temperatura na qual ocorre este tipo de transformação é chamada de temperatura de gelatinização é um processo contínuo de perda da cristalinidade dos grânulos de amido (THIEWES et al., 1997), a qual tem seu início a aproximadamente a 62°C, pico a 66°C e término a 70°C, determinada em calorímetro diferencial de varredura (DSC).

Maior que as qualidades nutricionais do milho, é sua versatilidade para o aproveitamento na alimentação humana. Atualmente somente cerca de 15% de produção nacional se destina ao consumo humano e, mesmo assim, de maneira indireta na composição de outros produtos. Muito utilizado na produção de *snacks* ou salgadinhos, o amido de milho tem desempenhado um importante papel para estabelecer a promoção de uma imagem de saúde através da nova geração de *snacks* tais como: (Figura 4) tortilhas, *pretzels*, *chips* e

outros totalizando nos EUA a venda no atacado de US\$14,7 bilhões segundo ZELAYA, (2000).



Fonte: Zelaya, (2000).

Figura 4 Mercado Norte-Americano de *Snacks*.

Quanto a composição em aminoácidos do milho, é bem conhecido que os cereais são boa fonte de metionina sendo deficientes em lisina. A Tabela 3 mostra a composição de aminoácidos do *grits* de milho. Associando-se o gergelim ou sua torta semi-desengordurada ao milho através da extrusão, pode-se obter um produto de melhor qualidade nutricional aumentando essas fontes limitantes.

Tabela 3 Composição em aminoácidos do *grits* de milho

Aminoácidos Totais	<i>Grits</i> de milho Concentração g/100g de proteínas	FAO/WHO 1991 (g/100g ptn)	
		Pré-escolares	Adultos
ESSENCIAIS			
Isoleucina	1,82	2,8	1,3
Leucina	7,73	6,6	1,9
Lisina	0,61	5,8	1,6
Fenilalanina	3,41	6,3	1,9
Metionina	*		
Valina	2,58	3,5	1,3
Tirosina	2,58		
Treonina	1,44	3,4	0,9
NÃO ESSENCIAIS			
Alanina	4,39		
Arginina	1,82		
Ácido aspártico	2,95		
Ácido glutâmico	11,51		
Cistina	*		
Glicina	1,51		
Histidina	3,33	1,9	1,6
Prolina	6,06		
Serina	2,88		

* Não estudado

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Ensaio preliminares usando-se duas formas de gergelim: grãos e torta semi-desengordurada levaram a montagem de dois delineamentos experimentais do tipo central composto rotacional de 2ª ordem, de forma a reduzir o número de parcelas experimentais. Pensou-se em adicionar o nível máximo de gergelim grãos a fim de enriquecer o produto com mais fibras, proteína, óleos essenciais e cálcio. Dois tipos de extrusores foram usados: um de laboratório e um comercial. Quando as formulações ricas de grãos de gergelim eram processadas na extrusora comercial, não era possível obter material emergindo das mesmas. Seu alto cisalhamento e a viscosidade muito reduzida pela presença de óleo bloqueavam a saída do material da extrusora, e assim, estas formulações foram processadas em uma extrusora de laboratório de mais baixo cisalhamento. Como resultado, dois delineamentos experimentais foram criados: um no qual as misturas de milho e grãos de gergelim eram processadas na extrusora de laboratório e outro em que as misturas de milho e torta semi-desengordurada de gergelim eram processadas em uma extrusora comercial. As duas variáveis independentes foram selecionadas de acordo com a sua importância considerando as diferenças entre as duas extrusoras.

Os seguintes processos de experimentação foram realizados nos laboratórios da Embrapa Agroindústria de Alimentos do Rio de Janeiro: no laboratório de cromatografia foram feitas as análises de aminoácidos; no laboratório de reologia foram feitas as análises de viscosidade, de densidade e volume total de poros, microscopia ótica, umidade em estufa, moagem e granulometria. Na Planta 4 foram feitas, além da extrusão, as análises de índice de absorção de água e índice de solubilidade em água. Na Planta 1 foi feita a secagem dos extrudados. No laboratório de análise sensorial foram feitas as análises de textura instrumental, cor e análise sensorial.

No laboratório da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (Seropédica) foi feita a quantificação de proteína de duas amostras.

No laboratório da Universidade Federal do Rio de Janeiro (Ilha do Fundão) foi obtida a torta semi-desengordurada de gergelim. O processamento e as análises ocorreram entre o mês de agosto de 2008 e janeiro de 2010.

3.1 Matéria-Prima

- A fonte de milho utilizada foi o *grits* de milho doado pela Granfino Indústria de Alimentos (Nova Iguaçu, RJ), denominado de GM.
- Os grãos de gergelim da variedade “BRS SEDA” foram fornecidas pela Embrapa Algodão (Campina Grade – PB), denominada GI.
- Os grãos de gergelim foram desengorduradas no laboratório da Escola de Química da UFRJ, por prensagem a temperatura ambiente em uma extrusora do tipo Expeller CA59G OEKOTEC (IBG Monforts, Alemanha) utilizando uma matriz circular com 5 mm de diâmetro obtendo-se uma torta semi desengordurada denominada de TSDG, a qual foi moída em um moinho de disco Perten Instruments modelo 3600 (Huddinge, Suíça) para rompimento dos aglomerados e em seguida o material foi moído em um

moinho de martelo Perten Instruments modelo 3100 (Huddinge, Suíça) resultando em uma farinha, cuja distribuição granulométrica foi determinada.

3.1.1 Caracterização química da matéria-prima

A matéria-prima foi caracterizada quanto a sua composição centesimal:

- Proteínas - nitrogênio total (AACC, 1995, método 46-13), pelo método tradicional Kjeldahl, modificado, utilizando mistura de catalisador Na₂SO₄, CuSO₄ e Se. Como titulante foi utilizado H₂SO₄, na concentração de 0,1N;
- Lipídeos - extrato etéreo (AOAC, 2005, método 945.38), utilizando éter de petróleo e extrator Soxhlet;
- Cinzas - (AOAC, 2005, método 923.03), com incineração em mufla;
- Fibra bruta, conforme Silva e Queiroz (2005)
- Carboidratos por diferença.

Quanto ao seu perfil de aminoácidos foram realizadas as determinações de ácido aspártico, ácido glutâmico, serina, histidina, glicina, treonina, alanina, arginina, tirosina, valina, fenilalanina, isoleucina, leucina, lisina e prolina, de acordo com a metodologia da AOAC (2005), método 994.12, sendo a quantificação dos aminoácidos realizada em cromatógrafo líquido de alta eficiência (CLAE), modelo Alliance, marca Waters 2695, com detector de fluorescência modelo Alliance, Waters 2475.

3.1.2 Determinação da distribuição granulométrica da matéria prima

A distribuição granulométrica dos grãos de gergelim, da torta semi-desengordurada de gergelim (TSDG) moída e do *grits* de milho foi determinada usando-se um conjunto de peneiras adequado para cada tipo de material em um agitador de peneiras ROTAP modelo RX-29-10, W. S. Tyler (Mentor, EUA).

3.2 Delineamento experimental I

Um delineamento experimental central composto rotacional de 2^a ordem conforme Box et al. (1978) e o modelo matemático de superfície de resposta foram empregados para o estudo das variáveis independentes, teor de gergelim (%) adicionado ao *grits* de milho e temperatura da última zona de aquecimento (alta pressão) da extrusora Brabender, modelo DSE 20DN, acoplado ao torque DSE 330, equipado com resistências elétricas nas três zonas ao longo do cilindro, sistema de alimentação e velocidade de rosca controlada em rpm (Duisburg, Alemanha). O efeito combinado das variáveis foi analisado a fim de observar a sua incidência nos fatores determinantes das propriedades físicas, funcionais e parâmetros da extrusão. Este delineamento foi escolhido com o objetivo de reduzir as combinações e

otimizar o processo de coleta e análise de dados. O ponto central foi repetido cinco vezes. Os parâmetros do processo foram codificados (-1, 0, +1) de acordo com a Equação (1):

$$xi = (Xi - Z)/\Delta xi \quad (1)$$

onde:

xi = valor codificado da variável Xi;

Xi = valor real da variável;

Z = valor real da variável no ponto central;

ΔXi = valor do intervalo de variação do xi.

O delineamento apresentou dois níveis de variáveis axiais $-\alpha$ e $+\alpha$. O valor depende do número fatorial ($F = 2^k$) do delineamento e do número de variáveis independentes ($K = 2$) sendo o valor definido pela Equação (2):

$$\alpha = (F)^{1/4} = (2^k)^{1/4} = 1.41 \quad (2)$$

O número de ensaios neste tipo de metodologia para o delineamento (fatorial completo) é $n = 2^k + 2k + m$, onde:

2^k é o N^o. de pontos fatoriais

$2k$ é o N^o. de pontos axiais

m é o N^o. de replicatas do ponto central

Desta forma as unidades experimentais estudadas ficaram distribuídas da seguinte forma:

$2^k = 2^2$	=	4 pontos fatoriais
$2k = 2 \times 2$	=	4 pontos axiais
M	=	5 replicações do ponto central
		13 unidades experimentais

Valores máximos e mínimos foram estabelecidos. As análises dos resultados da metodologia proposta descrevem o comportamento de um sistema que combina as variáveis independentes X_k e a variável de resposta Y_i . Na Equação (3) se definiu a resposta conforme Box e Draper (1967) que diz ser a resposta uma função dos níveis nos quais estes fatores foram combinados:

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

Uma análise de regressão ajustou um polinômio de segunda ordem com as variáveis explicativas (X_k) para cada resposta (Y). Equação (4):

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \varepsilon \quad (4)$$

onde:

Y_i = função de resposta;

X_1, X_2 = valores das variáveis independentes;
 β_0 = coeficiente relativo à interpretação do plano com o eixo resposta;
 β_1, β_2 = coeficientes lineares estimados pelo método dos mínimos quadrados;
 β_{11}, β_{22} = coeficientes das variáveis quadráticas;
 β_{12} = coeficientes de interação entre as variáveis independentes;
 ε = erro experimental.

Foi feita a análise de variância (ANOVA) pelo uso do teste “F” a 5% de probabilidade para testar o ajuste dos dados experimentais ao modelo utilizado. O modelo de regressão é significativo quando o valor do teste “F” calculado é maior ou igual ao do teste “F” tabelado. O modelo será preditivo a medida que o “F” calculado for maior que o tabelado (BOX e WITZ, 1973). O programa *Statistica* 6.0 foi utilizado para o processamento e análise estatística dos dados

A Tabela 4 apresenta os níveis codificados (-1, 0, +1) e os axiais ($-\alpha, +\alpha$) e a Tabela 5 a combinação dos níveis codificados e os valores reais.

Tabela 4 Níveis codificados das variáveis independentes do experimento I

Variáveis	Níveis				
	$-\alpha = -1,41$	-1	0	+1	$+\alpha = 1,41$
X_1 *	0,06	1,50	5,00	8,50	9,93
X_2 **	100,39	109,00	130,00	151,00	159,61

*Teor de grãos de gergelim (baseado no peso do *grits* de milho, %).

** Temperatura (°C) da última zona de aquecimento da extrusora Brabender;

Tabela 5 Delineamento completo do desenho experimental I

Tratamentos	Níveis codificados das variáveis		Níveis reais das variáveis	
	X ₁	X ₂	Gergelim (%)	Temperatura (°C)
1	1	-1	9	109,00
2	-1	-1	2	109,00
3	1	1	9	151,00
4	-1	1	2	151,00
5	0	- α^*	5	100,39
6	0	α^*	5	159,61
7	- α^*	0	0	130,00
8	α^*	0	10	130,00
9	0	0	5	130,00
10	0	0	5	130,00
11	0	0	5	130,00
12	0	0	5	130,00
13	0	0	5	130,00

$-\alpha = -1,41$; $+\alpha = 1,41$

3.2.1 Parâmetros constantes para extrusão em máquina Brabender

Velocidade de rotação do parafuso: 150 rpm

Umidade pre-extrusão de 15% (9m/m)

Temperatura fixada em 50°C na primeira zona do parafuso (alimentação); temperatura fixada em 100°C na segunda zona do parafuso (transição).

Parafuso taxa de compressão de 4:1

Matriz circular de 3 mm de diâmetro

Taxa de alimentação: 17 rpm

3.3 Delineamento experimental II

Neste delineamento, que também foi o mesmo utilizado no delineamento I (central composto rotacional de 2ª ordem e o modelo matemático com superfície de resposta) foram analisadas as variáveis independentes: velocidade de rotação do parafuso da extrusora Imbramaq RX 50 (Ribeirão Preto, Brasil), e teor de torta semi-desengordurada de gergelim (TSDG) cuja variação foi de 0 a 20% do peso do *grits* de milho.

A Tabela 6 apresenta as variáveis independentes (percentual de torta de gergelim X₁ e velocidade do motor X₂) e seus correspondentes valores codificados. A combinação dos níveis codificados e os valores reais (Tabela 7) estão relacionados logo abaixo.

Tabela 6 Níveis codificados das variáveis independentes do experimento II

Variáveis	Níveis				
	$-\alpha=1,41$	-1	0	+1	$+\alpha=1,41$
X_1^*	0,003	2,930	10,000	17,070	19,997
X_2^{**}	324,131	333,333	355,555	377,777	386,969

*Teor de TSDG (%) em relação ao peso do *grits* de milho.

**Velocidade da rotação do parafuso (rpm)

Tabela 7 Delineamento completo do desenho experimental II

Experimentos	Níveis codificados das variáveis		Níveis reais das variáveis	
	X_1	X_2	TSDG (%) X_1	Velocidade do parafuso (rpm) X_2
1	1	-1	17,07	333,33
2	-1	-1	2,93	333,33
3	1	1	17,07	377,77
4	-1	1	2,93	377,77
5	0	$-\alpha^*$	10,00	324,13
6	0	α^*	10,00	386,97
7	$-\alpha^*$	0	0,00	355,55
8	α^*	0	20,00	355,55
9	0	0	10,00	355,55
10	0	0	10,00	355,55
11	0	0	10,00	355,55
12	0	0	10,00	355,55
13	0	0	10,00	355,55

$-\alpha= -1,41$; $+\alpha=1,41$

3.3.1. Parâmetros constantes de extrusão em máquina Inbramaq

Umidade pre-extrusão de 15% (m/m)

Parafuso taxa de compressão de rosca sem fim com espaçamento na área inicial (alimentação)

Matriz circular de 3 mm

Velocidade da faca de corte: 29 rpm

3.4 Extrusão

A matéria-prima foi misturada e acondicionada com um dia de antecedência para distribuição equitativa da umidade. A extrusão para os dois delineamentos procedeu conforme o fluxograma (Figura 5).

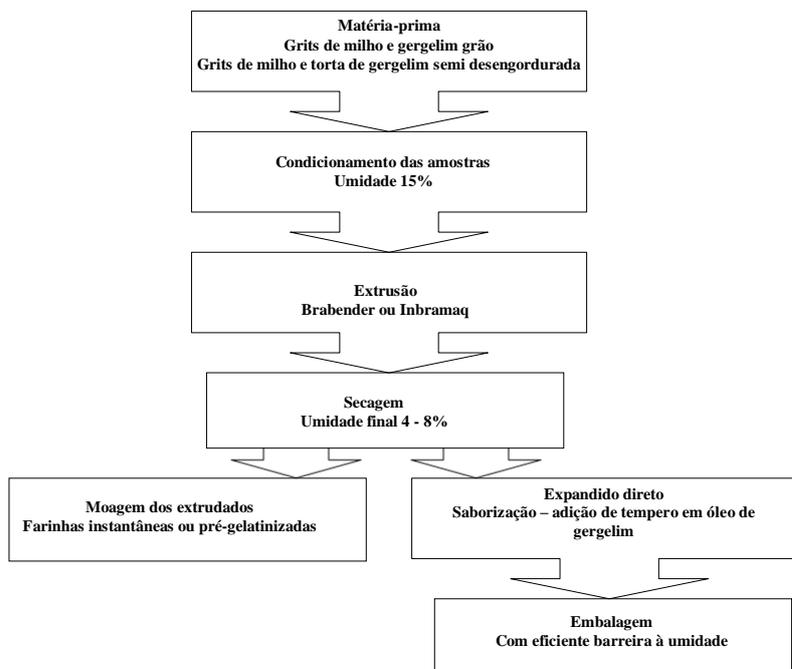


Figura 5 Fluxograma de produção de snacks de expansão direta e farinha instantânea em extrusora Brabender ou Inbramaq.

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

A secagem dos *snacks* foi feita em secadora de macarrão com circulação de ar que foi adaptada. Os extrudados ficaram por 12 horas secando a uma temperatura de 50°C.

A umidade final dos produtos foi aferida por método gravimétrico em estufa Brabender de umidade de (Duisburg, Alemanha) com circulação de ar. A estufa é acoplada a uma balança mecânica, com a qual se faz a determinação da perda de peso, da amostra, sem a necessidade de se retirar as placas de dentro da mesma. A leitura obtida indica diretamente o resultado, ou seja, o percentual de umidade presente inicialmente na amostra. As placas de alumínio com peso de $11,5 \pm 0,01\text{g}$ foram preenchidas com $10 \pm 0,0001\text{g}$ da amostra após uma hora de permanência na temperatura de 130°C de acordo com o método da (AACC, 1995).

Parte dos *snacks* foi moído em moinho de martelo *Instruments* modelo 3100 (Huddinge, Suíça) para análises posteriores.

A saborização dos *snacks* foi feita manualmente colocando-se os tratamentos em um recipiente plástico com tampa da marca Sanremo com capacidade de 56,1L. Foi adicionado sal e, com o auxílio de um borrifador, foi adicionado óleo para fixação do sal. Com a tampa fechada, os *snacks* foram homogeneizados através de várias sacudidas do recipiente.

Os *snacks* foram armazenados em embalagens de plástico, lacrados com auxílio de uma seladora e codificados.

O objetivo foi a obtenção de expandidos diretos com os maiores teores possíveis de adição de gergelim grãos e de TSDG, com uma expansão e crocância aceitável; e para as farinhas pré-gelatinizadas o objetivo foi alcançar um bom índice de absorção e solubilidade com viscosidade alta à temperatura ambiente.

Dois produtos comerciais, feitos de *grits* de milho do tipo expandidos direto (pronto para o consumo), foram testados (teste de punctura) para serem comparados com as amostras dos dois delineamentos. Eles foram denominados de produto “comercial A” e produto “comercial B”. Através da informação nutricional contido no rótulo do produto foi feita a conversão dos valores dos nutrientes apresentados em 25g por porção para porcentagem em 100g.

3.5 Caracterização dos Expandidos Diretos (Extrudados)

3.5.1 Índice de expansão radial

O índice de expansão radial (IER) dos extrudados é calculado pela relação entre o diâmetro da amostra e o diâmetro da matriz, conforme a metodologia proposta por Alvarez-Martinez et al. (1988). Serão tomadas as medidas de 6 diferentes extrudados dentro de cada tratamento, com o auxílio de um paquímetro. A Equação (5) foi usada para descrever o IER

$$\text{Índice de Expansão Radial (IER)} = \left[\frac{D}{D_0} \right]^2 \quad (5)$$

Onde D é igual ao diâmetro do extrudado ao atingir a temperatura ambiente e D_0 é o diâmetro da matriz.

3.5.2 Densidade Aparente

A densidade foi medida seguindo a metodologia descrita por Fane et al. (1996), de acordo com a Equação (6):

$$\text{Densidade} = \frac{4 \times m}{\pi \times D^2 \times L} \quad (6)$$

Onde m é a massa de um comprimento L do extrudado com o diâmetro D. Seis replicatas de extrudados foram selecionadas ao acaso e medidas.

3.5.3 Análise de Textura Instrumental

A textura dos expandidos foi determinada de acordo com a metodologia descrita por Bouvier et al. (1997), a qual permite avaliar o grau de crocância de um produto expandido extrudado usando um texturômetro (Texture Analyser TA HDi stable Micro Systems, Surrey, GB) conectado com um computador PC, onde se pode avaliar as curvas obtidas. Ele propôs o teste de punctura como um método instrumental para determinar as características mecânicas dos extrudados. Para um tempo T, o sinal de punctura é caracterizado pelo n.º. de picos (N_o) e a força associada a cada pico (delta F) expressa em N; enquanto a área da curva (S) expressa em N.mm, reflete a resistência mecânica da estrutura celular total. S é calculada entre zero e T.

São quatro os critérios para investigar a crocância e as fórmulas que interpretam os resultados dos gráficos de crocância estão descritos através das Equações (7), (8), (9) e (10):

$$\text{Frequência de rupturas (mm}^{-1}\text{)} : \quad N_{sr} = \frac{N_o}{d} \quad (7)$$

$$\text{Medida da força específica das rupturas (N)} : \quad F_{sr} = \sum \frac{\Delta F}{N} \quad (8)$$

$$\text{Média da força de compressão (N)} : \quad F = \frac{A}{d} \quad (9)$$

$$\text{Trabalho de Crocância (N.mm)} : \quad W_c = \frac{F}{N_{sr}} \quad (10)$$

Produtos alimentícios expandidos diretos quando mordidos mostram características de crocância. Essa característica é descrita pela fragilidade e quebra da estrutura celular à força após a fratura e isso ocorre com muito baixa força e trabalho pela mastigação. A quebra das várias estruturas das bolhas gera efeitos de som.

A propriedade estrutural dos extrudados expandidos depende principalmente da distribuição, do tamanho das células e organização das mesmas.

Testes de punctura são feitos para determinar fisicamente a textura de produtos alimentícios, quando simulados o impacto dos dentes na mastigação do alimento. O método permite contar através da resistência mecânica da parede da célula o comportamento mecânico de toda a matriz celular.

A característica da textura dos extrudados foi medida usando um Stable Micro System TA-XT2 texture analyser (Surrey, UK) ajustado com um probe cilíndrico de alumínio de 36 mm. O instrumento foi ajustado com um padrão de 10 kg carregado de uma célula flexível do

analisador de textura. A velocidade do cruzamento da cabeça foi de 2,00 mm/s. As amostras foram perfuradas pelo probe a uma distância de 13,00 mm, correspondendo a aproximadamente 40 – 60% do diâmetro dos extrudados. Todos os tamanhos das amostras de gergelim grãos foram de 30 mm de comprimento e diâmetros entre 9,4mm a 13,1 mm e os tamanhos das amostras adicionados de torta de gergelim foram de 15 mm de comprimento e diâmetros entre 7,6 mm a 15,0 mm. Uma curva de tempo-força foi registrada e analisada pelo Texture Exponent 32 (Surrey, UK) para calcular a força do pico e a área. A força do pico foi definida como a altura do primeiro pico. A força do pico representa a resistência do extrusado à penetração inicial e acredita-se ser a dureza do extrusado; ao passo que a área inferior à curva é a energia requerida para o deslocamento dado. Dez amostras coletadas ao acaso de cada extrudado foram medidas e tomada sua média.

Uma curva típica de um expandido direto é mostrada abaixo (Figura 6).

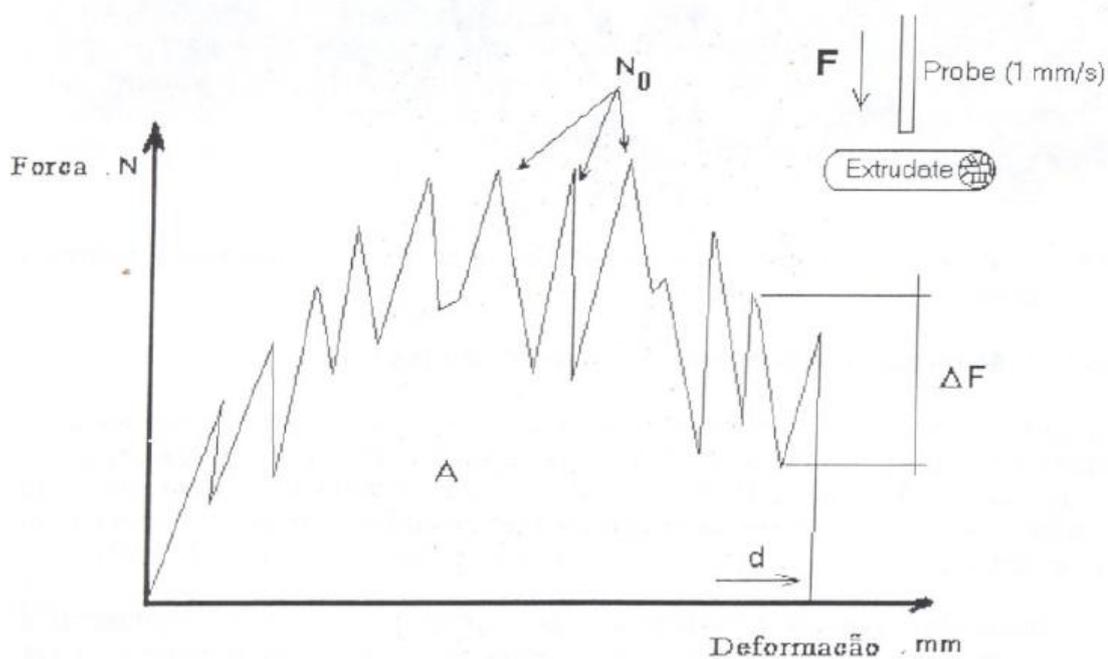


Figura 6 Representação gráfica do resultado típico da força de compressão aplicada sobre extrudado expandido (adaptado de Bouvier et al., 1997).

Onde N_0 é o número total de picos, d é a distância que o produto foi comprimido (mm), ΔF é a força de queda aplicada gerada para cada pico (N), A é a área sob a curva da força que provocou a deformação (mm^2).

Dois produtos comerciais, feitos de *grits* de milho do tipo expandidos direto, foram testados (teste de punctura) para serem comparados com as amostras dos delineamentos. Eles foram denominados de produto “comercial A” e produto “comercial B”.

3.5.4 Análise macroscópica

As amostras do delineamento I foram obtidas através de uma câmera digital da marca Epson (TX 200, Filipinas) com resolução de 654 dpi e as amostras do delineamento II foram seccionadas transversalmente e escaneadas por um Scanner de mesa HP Scanjet 3500 C.

A análise da estrutura interna dos extrudados foi feita através da metodologia descrita por Smolarz et al, (1989).

3.5.5 Análise microscópica eletrônica de varredura

A análise da microestrutura do material obtido foi realizada em microscópio eletrônico de varredura, marca *LEICA Electron Microscopy Ltda.*, modelo *LEO 440i*. As amostras analisadas foram previamente secas em estufa à vácuo *TECNAL*, modelo *TE – 395*, a uma temperatura de 70 °C e vácuo de 30 polHg por 48 horas. Posteriormente, as amostras foram colocadas em suporte metálico apropriado para a análise no MEV e preparadas por metalização com uma liga de ouro/paládio no *POLARON SC7620 Sputter Coater*, a uma taxa de recobrimento de 0,51 Å/s, por 180 segundos, à 3 mA, 1 Volt e 2×10^{-2} Pa. A aquisição das imagens foi realizada pelo *LEO software*, versão 3.01.

3.5.6 Análise Sensorial

Para a avaliação sensorial foi feito o teste de aceitação utilizando-se a escala hedônica segundo Macfie e Bratchell, (1998) e para o teste de intenção de compra utilizou-se uma escala estruturada de 7 pontos. Estas análises foram realizadas no Laboratório de Análise Sensorial da Embrapa Agroindústria do Rio de Janeiro.

Os tratamentos de maior adição (axiais) e um tratamento central foram submetidos ao teste (snack de milho adicionado de 10% de gergelim grãos, snack de milho adicionado de 5% de gergelim grãos, snack de milho adicionado de 20% de TSDG e snack de milho adicionado de 10% de TSDG). A escala hedônica foi de 9 pontos para aceitação, variando de 1 (desgostei extremamente) a 9 (gostei extremamente), e a escala estruturada de 7 pontos para intenção de compra, variando de 1 (certamente não compraria) e 7 (certamente compraria). Os indivíduos (120) que participaram do teste foram divididos em dois grupos: sendo a segunda metade (60) informada sobre as propriedades nutricionais das amostras antes da avaliação sensorial, e a primeira (60) sem informação sobre o produto. A informação nutricional dos benefícios do consumo do gergelim foi apresentada em um encarte tamanho A5 (Figura 7). Provedores de ambos os sexos participaram do teste.

O teste procedeu em cabines individuais, sob iluminação branca, sendo as amostras servidas em pires codificados com números de 3 dígitos. Entre as amostras foi servida água mineral para limpeza do palato. A ordem de apresentação das amostras seguiu o delineamento segundo MacFie e Bratchell (1989).

Você vai receber duas amostras de biscoito salgadinho adicionado de gergelim e mais duas amostras com adição de gergelim semi-desengordurado.

O gergelim é rico em óleo oléico e linolênico característico por seu conteúdo de antioxidantes contendo também fito esterol que bloqueia a produção de colesterol sendo usado como um redutor no aumento do colesterol sanguíneo.

Na extração de parte do óleo de suas sementes os nutrientes do gergelim ficam concentrados podendo contribuir com uma quantidade significativa de cálcio e proteínas ao ser adicionados aos biscoitinhos.

Gergelim
(*Sesamum indicum* L.)



Figura 7 Ficha de informação para teste de análise sensorial

Uma Análise de cluster foi realizada a fim de identificar grupos de consumidores diferentes em relação a aceitação do produto dentro de cada grupo: sem informação e com informação. Distâncias Euclidiana e método de agregação de Ward foram utilizados.

3.5.7 Análise de cor

Análise de cor foi realizada utilizando-se o sistema proposto pela *Commission International de L'Eclairage* (CIEL*a*b*) utilizando colorímetro (marca *HunterLab*, modelo *ColorTest II*, *Reston, USA*), com iluminante D₆₅, ângulo de visão 10°, com modo de calibração reflectância incluída. A amostra seca triturada foi colocada em cubeta de vidro oticamente polida de 10 mm e compactada de modo a obterem-se as leituras em duplicatas. O ΔE , que foi calculado através da Equação (11) indica o quanto a amostra se aproxima do padrão, e quanto menor for o seu valor mais a amostra se aproxima do padrão.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (11)$$

$$\Delta L = L^* \text{ amostra} - L^* \text{ padrão}$$

$$\Delta a^* = a^* \text{ amostra} - a^* \text{ padrão}$$

$$\Delta b^* = b^* \text{ amostra} - b^* \text{ padrão}$$

Onde: L é a luminosidade e representa o quanto a amostra é mais clara ou mais escura que o padrão; a^* representa a coordenada vermelho-verde e b^* a coordenada amarelo-azul.

A amostra padrão escolhida para o delineamento I foi o tratamento 7 que foi apenas elaborado com *grits* de milho feitos em extrusora Brabender, e para a amostra padrão do delineamento II foi escolhido o tratamento 7 feito em extrusora Inbramaq.

3.6 Caracterização das Farinhas dos Extrudados.

As farinhas foram obtidas por meio da moagem dos extrudados previamente secos de ambas extrusoras usando-se dois moinhos (disco Perten Instruments modelo 3600 (Huddinge, Suíça) para rompimento dos fragmentos maiores e em seguida um moinho de martelo Perten Instruments modelo 3100 (Huddinge, Suíça) para obtenção de uma farinha fina. Após a obtenção das farinhas estas foram peneiradas e a fração retida entre as peneiras 106 e 212 μm foi usada nas análises de densidade absoluta, nos índices de absorção e solubilidade em água e na determinação de viscosidade de pasta no analisador rápido de viscosidade.

3.6.1 Densidade absoluta e volume total de poros.

O equipamento utilizado para determinação da densidade absoluta de sólidos foi o picnômetro a gás Hélio da MICROMERITICS®, modelo Accupyc 1330 (EUA). A metodologia utilizada foi de deslocamento de gás hélio. O picnômetro de gás determina o volume verdadeiro de um sólido, mesmo que poroso, por variação da pressão de gás numa câmara de volume conhecido (WEBB e ORR, 1997). Normalmente utiliza-se hélio porque este gás, além de inerte, penetra facilmente nos poros (acessíveis) da amostra, devido ao pequeno tamanho dos seus átomos, permitindo, assim, determinar o volume do sólido com mais rigor.

O Picnômetro de hélio é constituído por duas câmaras de volumes conhecidos (por calibração prévia): a câmara onde se coloca a amostra e a câmara de expansão, ligadas por uma válvula (válvula de expansão).

Antes de iniciar a análise propriamente dita, a amostra, colocada na respectiva câmara, é sujeita a um processo de degaseificação que consiste em repetidas purgas com hélio, para remoção de impurezas e umidade que eventualmente possa conter.

A principal vantagem deste método reside na sua capacidade para medir apenas o volume da substância, ou seja, descontar ao volume total da amostra todos os poros (a menos que estes sejam inacessíveis ao gás). Por outro lado, permite, ainda, em princípio, medir volumes de sólidos com qualquer teor de umidade. Como desvantagem, aponta-se o fato de as dimensões da amostra serem limitadas pelo reduzido tamanho do porta-amostra, cuja capacidade máxima é de 10 cm^3 .

O material foi pesado, colocado na câmara para realização das purgas e iniciadas as leituras. A precisão adotada para os resultados foi de 0,01%.

A densidade absoluta é uma medida fundamental que poderá ser utilizada no dimensionamento e operacionalização de equipamentos envolvidos no processamento, embalagem, transporte, bem como no controle de qualidade e na determinação da sua vida-de-prateleira, e por isso, estudou-se o efeito da rotação do parafuso do extrusor, da temperatura e da formulação, no valor da densidade absoluta das farinhas obtidas.

3.6.2 Viscosidade das farinhas obtidos dos snacks

A viscosidade de pasta foi determinada num viscoanalisador rápido (RVA) Newport Scientific, seguindo-se basicamente metodologia para materiais extrudados. A diferença no tamanho das partículas entre as amostras pode acarretar em uma interpretação errônea dos resultados (BECKER et al., 2001). Recomenda-se que o material das amostras seja peneirado ficando com granulometria entre 125 e 250 μm .

As amostras tiveram sua umidade corrigida para 14% (em base úmida) adicionando-se água destilada. Foi pesado 3g de cada tratamento em duplicata e adicionado água até peso final de 28g.

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

A determinação do ISA e IAA foi realizada conforme os princípios básicos do método descrito por Anderson et al. (1969), modificada. Análises em quadruplicatas foram realizadas de cada ensaio a fim de verificar a absorção e a solubilidade em água do produto extrudado. Para estas análises foram pesados cerca de 1 g de amostra em base seca, de cada tratamento (com granulometria entre 106 μm e 212 μm), em tubos de centrífuga previamente tarados. Assim, foi adicionado 5 mL de água destilada, homogeneizada e em seguida adicionado mais 5mL (pipeta volumétrica) e os tubos foram agitados em agitador mecânico tipo Vortex que permite a homogeneização completa das amostras. Em seguida, as amostras foram colocadas em um agitador horizontal mecânico, da marca Eberback 625 do tipo Shaker Bath, por 30 minutos. Logo após, os tubos foram colocados em uma centrífuga (marca Hermle modelo Z383) durante 15 minutos a 3000 rpm. Após a centrifugação das amostras, os líquidos sobrenadantes foram invertidos em placas de petri, previamente taradas. As placas com o sobrenadante foram submetidas ao processo de secagem em estufa com circulação de ar durante 4 horas a 105 °C. As placas foram colocadas em dessecador por 30 minutos até temperatura ambiente e logo após, pesadas. Logo após a retirada do líquido sobrenadante, os tubos retirados da centrífuga que continham amostra que absorveu água foram pesados. Foi calculado o IAA pela razão entre o tubo com o material absorvido e a matéria inicial Equação (12):

$$IAA = \frac{\text{Peso.do.precipitado.retido.no.fundo.do.tubo.da.centrifuga}}{\text{peso.seco.da.amostra}} \quad (12)$$

O cálculo para índice de absorção em água é realizado de acordo com a Equação (13) adaptada por Hashimoto e Grossmann (2003), como segue:

$$ISA = \left(\frac{\text{Peso.do.desidratado.presente.no.sobrenadante}}{\text{peso.original.da.amostra}} \right) * 100 \quad (13)$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização dos Expandidos Diretos (extrudados)

4.1.1 Classificação granulométrica da matéria-prima

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

Segundo apostila de Ascheri e colaboradores (2008), a granulometria própria para *snacks* com textura crocante e células maiores estão na Tabela 8.

Tabela 8. Distribuição granulométrica de *grits* de milho degerminado próprio para *snacks* com textura crocante e células maiores.

Abertura da peneira (μm)	Retenção (%)
1180	16,1
850	50,5
710	22,4
600	8,1
425	2,1
300	0,4
FUNDO	0,4

Fonte: Ascheri (2008)

A distribuição granulométrica do tamanho das partículas dos *grits* de milho comercial, dos grãos de gergelim e da torta semi-desengordurada de gergelim (TSDG) estão apresentados nas Tabelas 9-11.

Tabela 9. Tamanho dos grãos de gergelim.

Abertura da peneira (μm)	Retenção (%)
3360	0,0
2380	0,2
1680	24,1
840	75,6
FUNDO	0,1

Tabela 10. Tamanho das partículas dos *grits* de milho.

Abertura da peneira (μm)	Retenção (%)
1400	13,8
1180	29,6
850	44,4
710	9,7
500	1,8
425	0,4
300	0,2
FUNDO	0,1

Tabela 11. Tamanho da torta semi-desengordurada de gergelim moído.

Abertura da peneira (μm)	Retenção (%)
1700	9,01
1400	12,15
1180	8,18
1000	10,07
850	2,91
600	10,84
500	6,21
425	6,47
355	5,04
300	3,48
212	6,19
149	7,76
106	8,74
FUNDO	2,95

Quanto à distribuição granulométrica das partículas de *grits* de milho, o maior percentual de retenção de partículas de *grits* de milho usado neste trabalho ocorre na distribuição granulométrica sugerida por Ascheri et al. (2008), ou seja na faixa de 850 µm. Menor percentual das partículas encontram-se retidas na abertura igual ou maior que 1180 µm, sendo então considerado um *grits* de granulometria “grosseira”. É importante notar que a distribuição granulométrica mais adequada a um sistema de extrusão para produção de extrudados expandidos diretos varia de acordo com o tipo de extrusora usada.

Os grãos de gergelim tiveram o maior percentual de retenção no tamanho de 840 µm, indicando que o tamanho dos grãos foi similar ao tamanho do *grits* de milho usado. A compatibilidade de tamanho dos grãos e *grits* de milho pode ter favorecido o fluxo de alimentação da extrusora, pois segundo Pordesimo et al. (2009), as partículas maiores favoreceram a melhoria do fluxo de alimentação (maior vazão), o que pode levar ao aumento da taxa de enchimento da extrusora com conseqüente aumento do cisalhamento e expansão radial dos extrudados.

A TSDG apresentou grande variação de tamanho de partículas, sendo que o maior percentual (57,68%) de retenção ocorreu entre as peneiras 106 e 600 µm, o que justificou o uso do parafuso de rosca sem fim com espaçamento na área inicial (alimentação). Para processar grãos mais finos que o *grits* é utilizado essa configuração de rosca, pois a outra rosca sem espaçamento causa impactação do material impedindo o fluxo.

4.1.2. Composição centesimal e perfil de aminoácidos dos *snacks* e da matéria-prima e dos produtos comerciais.

O gergelim é uma importante oleaginosa cultivada em todo o mundo pelos benefícios do seu óleo na promoção da saúde humana. Seus grãos contêm ainda uma considerável quantidade de proteínas, fibras, minerais e vitaminas. Estudos epidemiológicos têm mostrado que o consumo de frutos oleaginosos é benéfico à saúde e contribuindo para a diminuição do risco de processos degenerativos, conseqüentemente, contribuindo para uma menor incidência e a taxa de mortalidade por câncer e doenças cardíaco e cerebrovasculares (HALLIWELL, 1997).

A torta de gergelim semi-desengordurada possui os mesmos nutrientes que eu grão sendo que eles se concentram devido à retirada do seu óleo. Tanto o gergelim quanto a sua torta desengordurada são alimentos considerados fonte de fibras, pois de acordo com a Portaria 27/98 da ANVISA (1998) as denominações fonte de fibra são para produtos que contêm no mínimo 3g de fibras /100g de sólidos, e alimentos considerados com alto teor de fibras são os que possuem 6g de fibras/100g de sólidos.

O milho é um alimento essencialmente energético, pois seus grãos são constituídos na maior parte de carboidratos. Apesar de ter uma quantidade de proteína relativamente elevada, o milho, como os alimentos de origem vegetal, apresenta limitações em seu valor nutricional relacionado às proteínas. A composição centesimal das matérias-primas utilizadas na extrusão (TSDG, gergelim e *grits* de milho) está elucidada na Tabela 12.

A adição de gergelim permite um incremento em fibras, cálcio e principalmente óleos essenciais aos *snacks* de milho e a adição de TSDG permite um incremento de vários nutrientes de forma concentrada, principalmente proteínas, fibras e cálcio.

Tabela 12 Composição centesimal da torta semi-desengordurada de gergelim (TSDG), do *grits* de milho e dos grãos de gergelim.

	TSDG (g/100g)	Gergelim grão (g/100g)	<i>Grits</i> de milho (g/100g)
Umidade	8,6	5,3	13,2
Proteínas	30,8	18,8	5,4
Lipídios	7,7	47,5	0,6
Cinzas	8,7	5,4	0,5
Fibra	10,9	18,1	3,4
Cálcio	2,6	1,1	0,0
Valor calórico	325,2 kcal/100g	522,6 kcal/100g	336,7kcal/100g

Fonte: Borges, (2009)

Dois produtos comerciais, feitos de *grits* de milho do tipo expandidos direto (pronto para o consumo), foram testados (teste de punctura) para serem comparados com as amostras dos delineamentos. Eles foram denominados de produto “comercial A” e produto “comercial B”. Através da informação nutricional contido no rótulo do produto foi feita a conversão dos valores dos nutrientes apresentados em 25g por porção para porcentagem em 100g. A Tabela 13 apresenta a composição dos produtos Comerciais A e B utilizados para comparação com os elaborados.

Tabela 13 Conversão dos valores do rótulo dos produtos comerciais A e B para porcentagem em 100g.

	Comercial A (g/100g)	Comercial B (g/100g)
Proteínas	6,4	4,0
Lipídios	20,8	18,8
Fibra	0,0	0,0
Carboidratos	68,0	64,0
Cálcio	*	*
Sódio	824,0	1016,0

*Desconhecido

Algumas dificuldades e acidentes aconteceram durante as análises de composição centesimal. Portanto, não foi possível ter todos os resultados como, por exemplo, fibras. Na Tabela 14 estão os resultados incompletos de centesimal para alguns tratamentos.

Tabela 14 Composição centesimal dos tratamentos axiais e centrais.

	T7 GG	T8 GG	T9 GG	T7 TSDG	T8 TSDG	T9 TSDG
Umidade	6,97	8,15	6,15	5,00	5,68	5,75
Proteínas	8,91	13,33	12,47	12,75	16,44	13,85
Lipídios	0,37	3,42	5,18	0,39	0,02	3,07
Cinzas	0,18	0,13	0,82	0,89	1,48	1,52
Fibra	*	*	*	*	*	*
Carboidratos	83,75	74,97	75,38	80,97	76,38	75,81

T7 GG = 0% gergelim grão em máquina Brabender segundo delineamento I

T8 GG = 10% de gergelim grão em máquina Brabender segundo delineamento I

T9 GG = 5% de gergelim grão em máquina Brabender segundo delineamento I

T7 TSDG = 0% de TSDG em máquina Inbramaq segundo delineamento II

T8 TSDG = 20 % de TSDG em máquina Inbramaq segundo delineamento II

T9 TSDG = 10 % de TSDG em máquina Inbramaq segundo delineamento II

*não calculado

Para o tratamento adicionado de 20% de TSDG processados em máquina comercial a quantidade de proteínas aferida em Laboratório da UFRRJ foi de 16,44g/100 g de amostra. Ao se comparar a quantidade de proteínas com o produto Comercial A, vemos que o produto desenvolvido tem 2,6 vezes mais proteínas, e ao comparar com o produto Comercial B a quantidade de proteína excede em 4,1 vezes. A quantidade de cálcio em 20 % de TSDG é de 300 mg o que pode contribuir também para o incremento de minerais do novo produto. Segundo Shils et al. (2003) o homem primitivo obtinha cálcio de nozes, feijões e oleaginosas em quantidades que se acredita excediam a 1500 g por dia. Depois da domesticação dos cereais, as ingestões de cálcio diminuíram substancialmente porque os alimentos básicos tornaram-se os grãos, as partes das plantas que acumulam menos cálcio.

Apesar de maior quantidade protéica ser incorporada aos snacks de milho através da adição de gergelim ou TSDG, eles ainda apresentaram aminoácidos essenciais limitante (lisina). Durante a extrusão ocorre a reação de Maillard favorecido por condições de alto cisalhamento e baixa umidade acarretando também menor disponibilidade de lisina, que possui seu grupamento amino livre para reações desse tipo. Por outro lado, a principal modificação físico-química que acontece em decorrência da extrusão é a melhor digestibilidade da proteína, devido à sua desnaturação (CAMIRE et al., 1990).

A composição de aminoácidos das matérias utilizadas no processamento está na Tabela 16 e na Tabela 15 estão os tratamentos de maior adição de gergelim e torta.

Tabela 15 Composição em aminoácidos da torta semi-desengordurada de gergelim, do *grits* de milho.

Aminoácidos essenciais	Concentração TSDG	<i>Grits</i> de Milho	Proteína padrão FAO (1985)
Treonina	48,65	30,36	28
Sulfurados *	30,88	22,21	22
Valina	48,49	27,34	25
Isoleucina	42,89	23,35	28
Leucina	68,49	134,78	44
Fenilalanina	46,89	98,92	22
Lisina	26,08	25,96	44
Histidina	24,64	31,83	19
Triptofano	**	**	9

Fonte: Fernandes (2002) e Maia (1999)

* Metionina + cistina

** Não quantificado

Tabela 16 Composição em aminoácidos dos tratamentos de maiores teores de adição de TSDG e de gergelim.

	Adição 20% TSDG	Adição 10% Gergelim	FAO/WHO 1991 (g/100g ptn)	
	g/100g ptn	g/100g ptn	Pré-escolares	Adultos
Treonina	1,3	0,8	3,4	0,9
Valina	2,1	1,5	3,5	1,3
Isoleucina	1,6	1,1	2,8	1,3
Leucina	4,2	3,4	6,6	1,9
Fenilalanina	2,6	1,9	6,3	1,9
Lisina	0,7	0,5	5,8	1,6
Histidina	1	0,7	1,9	1,6

De acordo com os padrões da FAO (1991) para crianças na idade pré-escolar, em cada 100g de *snacks* acrescentados de (10% de Gergelim) ou de (20% de TSDG) existe uma quantidade muito aproximada desses aminoácidos essenciais, enquanto que para os padrões de adultos os aminoácidos Treonina, Valina, Isoleucina, Leucina e Fenilalanina superam os padrões.

4.1.3 Índice de expansão radial

A expansão radial é a variável resposta mais evidente de avaliação de um processamento por extrusão e, praticamente a totalidade dos artigos publicados a consideram em sua discussão. Além disso, é notório que a simples observação visual dos extrudados que emergem da extrusora indica variações ocorridas no processo e na formulação. O índice de expansão radial (IER) expressa o quanto o produto expandiu considerando a área da matriz e a seção radial do extrudado. Valores altos de IER indicam que a expansão do material extrudado foi maior que o orifício da matriz utilizada.

Segundo Alvarez-Martinez et al. (1988), o IER está relacionado com a capacidade da estrutura do expandido em manter a integridade das bolhas no material fundido ao sair da matriz da extrusora sendo relacionado com a viscosidade do material fundido no interior da extrusora.

Para o processo de extrusão, a substituição parcial do amido com adição de açúcar, sal, fibras, etc., ou parâmetros como velocidade de rotação do parafuso e perfil de temperatura de aquecimento da extrusora, podem afetar as variáveis do sistema de extrusão e as características do produto como, por exemplo, a expansão (MENDONÇA et al., 2000).

O IER deverá sempre ser um número maior que 1 revelando que houve aumento da expansão do produto em relação a matriz utilizada.

Os resultados das análises de IER para os extrudados adicionados de gergelim grãos processados na extrusora de laboratório estão apresentados na Tabela 17 e a Tabela 18 representa os valores da análise de variância (ANOVA).

Tabela 17 Índice de Expansão Radial dos extrudados adicionados de gergelim grãos

Tratamentos	Teor de Gergelim (%)	Temperatura (°C)	IER Índice de Expansão Radial
1	8,5	109	14,49
2	1,5	109	18,27
3	8,5	151	11,16
4	1,5	151	18,71
5	5,0	100	14,81
6	5,0	160	18,73
7	0,0	130	15,03
8	10,0	130	10,14
9	5,0	130	14,30
10	5,0	130	15,88
11	5,0	130	14,58
12	5,0	130	15,80
13	5,0	130	17,56

Tabela 18 Teste F, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrático aplicado ao Índice de Expansão Radial dos extrudados de grits de milho adicionados de gergelim grãos processados em máquina Brabender.

Fator	Teste F	P	Coeficiente de Regressão	Estimativa dos efeitos
Intercepto	....	1,10E-05 ***	1,53E+01	1,35E-01
X ₁	9,14E+01	7,53E-03 **	-2,28E+00	5,54E-02
X ₁ ²	7,68E+01	6,02E-02 ns	-1,28E+00	5,47E-02
X ₂	1,69E+00	5,11E-01 ns	3,30E-01	-7,53E-03
X ₂ ²	1,03E+01	1,69E-01 ns	8,24E-01	-2,00E-02
X ₁ X ₂	8,68E+00	2,19E-01 ns	-9,42E-01	2,41E-02
Falta de ajuste	1,39E+01	1,85E-01 ns		
R ² : 0,76301				

X₁: teor de gergelim grãos (%)

X₂: temperatura da última zona de aquecimento em (°C)

ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade

*: significativo ao nível de 5% de probabilidade.

**: significativo ao nível de 1% de probabilidade.

***: significativo ao nível de 0,1% de probabilidade.

Os valores IER dos extrudados obtidos no processamento das formulações de gergelim grãos e *grits* de milho, ocorrido na extrusora de laboratório Brabender variaram de 10,14 a 18,73. O menor valor de IER ocorreu para o teor máximo de gergelim grãos (10%) e na temperatura intermediária a 130°C, sendo que maior valor de IER foi observado na formulação com 5% de gergelim na maior temperatura a 160°C. A Equação 14 é a que compõe o modelo.

$$\text{IER} = 15,3443 - 2,2844 X_1 \quad (14)$$

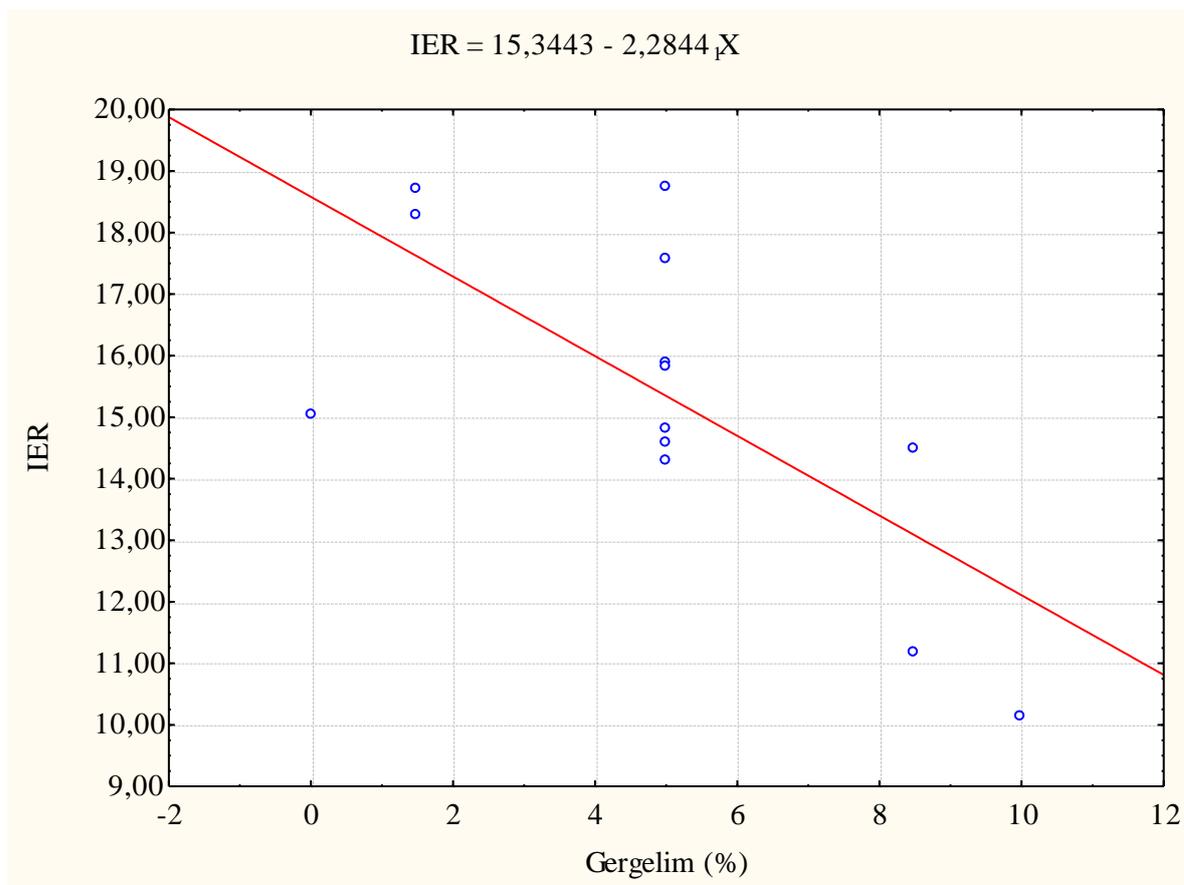


Figura 8 Influência do teor de gergelim sobre o IER

Como se pode observar na Figura 8, a adição de gergelim ao *grits* de milho reduziu a expansão radial dos extrudados linearmente. Esta redução pode ser atribuída a adição do considerável teor de óleo (~50%) e fibra presentes nos grãos de gergelim ocasionando redução da viscosidade do fundido, uma vez que o óleo presente na mistura atua como eficiente agente lubrificante e redutor da viscosidade. O efeito de redução de viscosidade por substituição gradual da fração amilácea presente na mistura com milho processada por extrusão foi estudada por Fan et al. (1996). Em seu trabalho, o milho adicionado de vários tipos e teores de açúcares reduziram a expansão e atribuiu-se esta redução de expansão, a queda da massa molar da mistura em presença de açúcares de tamanho reduzido em relação ao amido presente no milho.

Duarte et al. (2009) estudando os efeitos da adição de casca de soja a expandidos de milho observou que o IER diminui com o aumento da casca de soja e da temperatura. Sendo a casca de soja fonte de fibra insolúvel, causou um colapso nas paredes das células durante a formação das bolhas impedindo a habilidade de expandir-se em toda sua plenitude.

Os efeitos da velocidade de rotação do parafuso e do teor de TSDG na mistura com milho em uma extrusora comercial de rosca simples sobre o IER estão apresentados na Tabela 19 e a Tabela 20 representa os valores da análise de variância (ANOVA). Os valores de IER variaram de 6,52 a 25,46, sendo que o menor valor de IER encontrado foi para a formulação com maior teor de TSDG e o maior valor de IER para 0% de TSDG.

Tabela 19. Índice de Expansão Radial dos extrudados adicionados de TSDG.

Tratamentos	Teor de TSDG (%)	Velocidade do parafuso (rpm)	IER Índice de Expansão Radial
1	17,07	333,33	12,92
2	2,93	333,33	20,01
3	17,07	377,77	13,01
4	2,93	377,77	23,15
5	10,00	324,13	16,51
6	10,00	386,97	19,03
7	0,00	355,55	25,46
8	20,00	355,55	6,52
9	10,00	355,55	16,05
10	10,00	355,55	15,83
11	10,00	355,55	15,52
12	10,00	355,55	14,54
13	10,00	355,55	14,34

Tabela 20 Teste F, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrático aplicado ao Índice de Expansão Radial dos extrudados de grãos de milho adicionados de TSDG processados em máquina Inbramaq.

Fator	Teste F	P	Coeficiente de Regressão	Estimativa dos efeitos
Intercepto	***	2,00E-06 ***	1,53E+01	1,53E+01
X ₁	4,07E+02	3,60E-05 ***	-5,51E+00	-1,10E+01
X ₁ ²	2,52E+00	1,88E-01 ns	4,66E-01	9,32E-01
X ₂	9,69E+00	3,58E-02 *	8,50E-01	1,70E+00
X ₂ ²	2,15E+01	9,78E-03 **	1,36E+00	2,72E+00
X ₁ X ₂	3,91E+00	1,19E-01 ns	-7,63E-01	-1,53E+00
Falta de ajuste	6,65E+00	4,93E-02 *		
R ² : 0,94867				

X₁: teor de TSDG (%)X₂: velocidade do parafuso (rpm)

ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade

*: significativo ao nível de 5%, p ≤ 0,05.

***: significativo ao nível de 1% de probabilidade.

****: significativo ao nível de 0,1% de probabilidade.

A equação 15 compõe o modelo matemático para IER dos extrudados adicionados de TSDG:

$$\text{IER de TSDG} = 15,255 - 5,508X_1 + 0,8504X_2 + 1,3612X_{22} \quad (15)$$

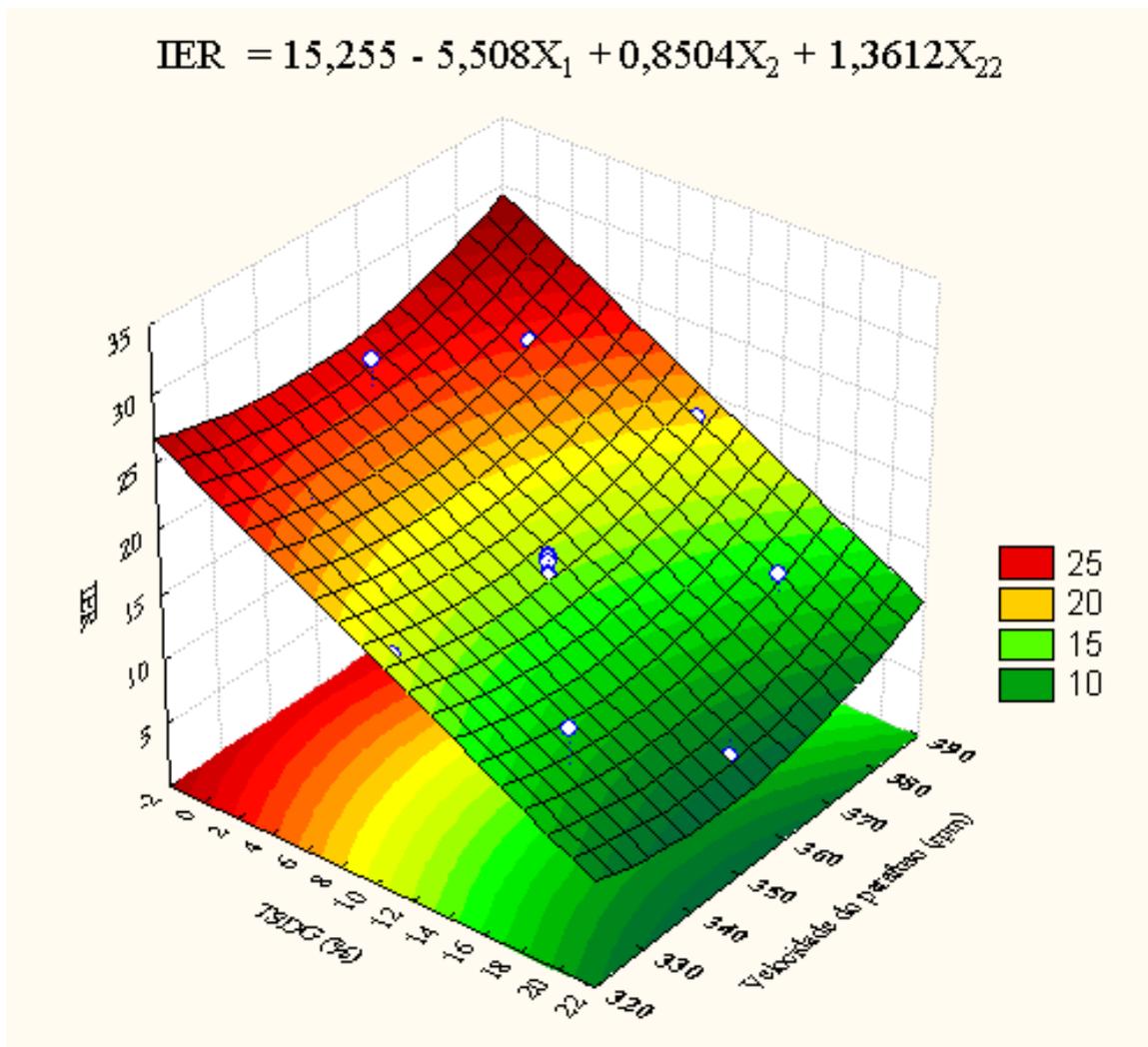


Figura 9 Influência do teor TSDG e da velocidade de rotação do parafuso sobre o IER

Sob baixos teores de TSDG, os extrudados apresentam maiores IER e a velocidade média do parafuso apresentou efeito negativo sobre a expansão (Figura 9).

O aumento do teor TSDG resultou na redução da expansão dos extrudados. Similar observação foi relatada por Fernandes et al. (2002), que estudaram o efeito da adição de farinha de soja integral na elaboração de extrudados expandidos de milho e atribuíram ao aumento do teor de farinha de soja, ou seja, do conteúdo de proteína, de lipídios na formulação a redução da expansão dos produtos extrudados, pelo efeito de diluição da fração amilácea na formulação.

Os achados nesse trabalho estão de acordo com o proposto por Berglund et al. (1994), que avaliando extrudados de cevada contendo altos teores de fibras, encontraram que a expansão dos mesmos foi inibida, resultando em aumento na densidade. Com um aumento no conteúdo de fibra alimentar, os autores apontaram que ocorreu uma redução no teor de amido, interferindo na expansão do produto. Qualquer material que ocupe o lugar do amido afetará negativamente na expansão, pois o amido é o principal material responsável pela expansão.

4.1.4 Densidade aparente dos extrudados

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

Segundo Ascheri e Carvalho (2008), o ar ocupa 85 a 92% do volume total do produto extrudado expandido e a densidade dos extrudados variam de 0,04 a 0,38 g/cm³.

A Tabela 21 mostra os resultados dos expandidos de milho e gergelim grãos elaborados na extrusora Brabender e a Tabela 22 a análise de variância (ANOVA).

Tabela 21 Densidade aparente dos extrudados expandidos de milho e gergelim grãos produzidos na extrusora de laboratório (Brabender).

Tratamentos	Teor de Gergelim (%)	Temperatura (°C)	Densidade aparente (g/cm ³)
1	8,5	109	0,141
2	1,5	109	0,119
3	8,5	151	0,182
4	1,5	151	0,111
5	5,0	100	0,151
6	5,0	160	0,106
7	0,0	130	0,158
8	10,0	130	0,248
9	5,0	130	0,142
10	5,0	130	0,132
11	5,0	130	0,143
12	5,0	130	0,131
13	5,0	130	0,124

Tabela 22 Teste F, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrático aplicado a Densidade aparente dos extrudados de grits de milho adicionados de gergelim grãos processados em máquina Brabender.

Fator	Teste F	P	Coeficiente de Regressão	Estimativa dos efeitos
Intercepto	-	3,00E-06 ***	1,35E-01	1,35E-01
X ₁	9,14E+01	6,69E-04 ***	2,77E-02	5,54E-02
X ₁ ²	7,68E+01	9,34E-04 ***	2,73E-02	5,47E-02
X ₂	1,69E+00	2,64E-01 ns	-3,77E-03	-7,53E-03
X ₂ ²	1,03E+01	3,26E-02 *	-1,00E-02	-2,00E-02
X ₁ X ₂	8,68E+00	4,21E-02 *	1,21E-02	2,41E-02
Falta de ajuste	1,39E+01	1,39E-02 *		
R ² : 0,81184				

X₁: teor de gergelim grãos (%)

X₂: temperatura da última zona de aquecimento (°C)

ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade

*: significativo ao nível de 5%, p ≤ 0,05.

**: significativo ao nível de 1% de probabilidade.

***: significativo ao nível de 0,1% de probabilidade.

A densidade aparente nos produtos extrudados em extrusora Brabender variou de 0,106 g/cm³ a 0,248 g/cm³. A Equação 16 contém o modelo matemático para densidade aparente em extrudados adicionados de gergelim grãos.

$$\text{Densidade aparente} = 3,5544 + 0,6840X_1 - 0,7769X_{11} - 0,0100X_{22} - 0,0120X_{12} \quad (16)$$

$$\text{Densidade aparente} = 0,1346 + 0,0277X_1 + 0,0273X_{11} - 0,0100X_{22} + 0,0121X_{12}$$

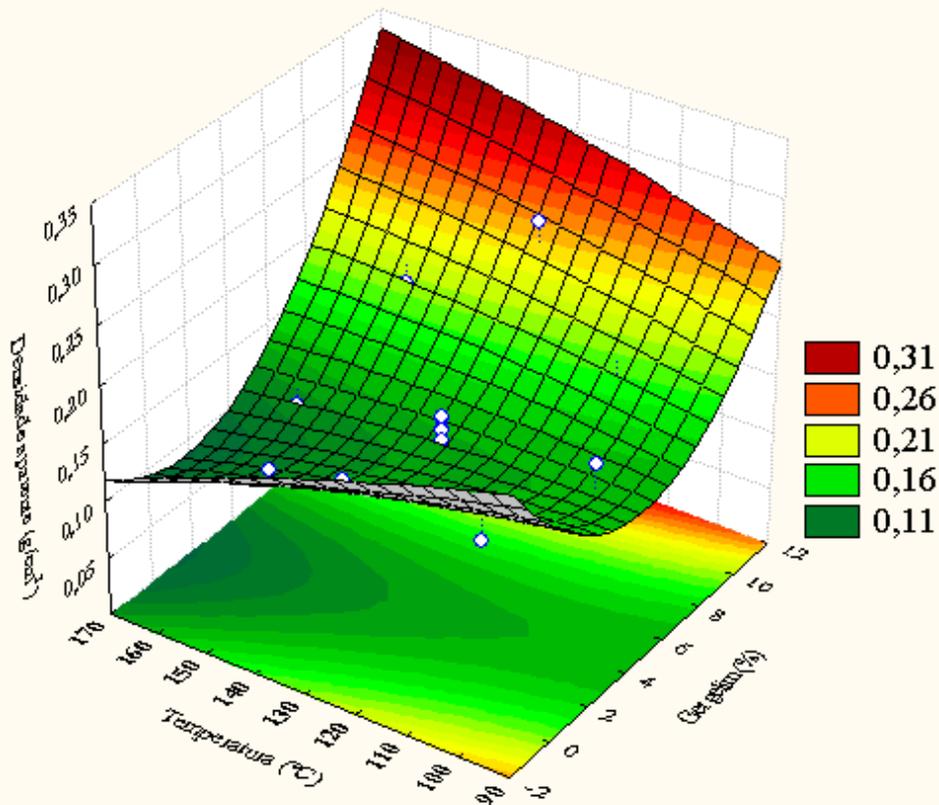


Figura 10 Efeito da temperatura e do teor de gergelim sobre a densidade aparente dos extrudados produzidos na extrusora de laboratório (Brabender).

Alta temperatura com baixos níveis de gergelim obteve densidade baixa (Figura 10). À medida que se aumentou o teor de gergelim a densidade aumentou. Os grãos de gergelim possuem em média 70% entre óleo e proteína e isso se torna um dos principais responsáveis pelo aumento da densidade dos extrudados. Apesar do aumento da temperatura favorecer a gelatinização do amido, um acréscimo acima de 5% de gergelim dobra a densidade dos extrudados.

Ruiz-Ruiz (2008) observou que produtos que incluem alto teor de proteína comparado a produtos feitos apenas com milho tem uma influência negativa sobre a densidade, pois a fricção e o cisalhamento durante a extrusão causam um intenso entrelaçado entre a proteína que leva a texturização e assim, alto conteúdo de proteína faz um extrudado mais denso.

A densidade dos extrudados em extrusora Inbramaq variou de 0,096 g/cm³ a 0,231 g/cm³ e o seu coeficiente de regressão foi muito baixo, R² = 0,44, sendo o modelo capaz de explicar apenas 44% da variação. Sendo assim, a representação matemática gráfica deste modelo não foi apresentada. Apesar disso, observa-se que os valores encontrados apesar da não significância ao nível de confiança de 5%, os valores indicam uma baixa densidade aparente ao ser comparado com os resultados encontrados nos extrudados produzidos com grãos de gergelim na extrusora de laboratório. Este resultado é esperado, uma vez que o alto cisalhamento da Inbramaq associado ao baixo teor de óleo relativo TSDG resultaram em uma estrutura dos extrudados mais aerada e, portanto menos densa (o maior valor de densidade

encontrado nestes extrudados equivale ao menor valor de densidade dos extrudados obtidos na extrusora de laboratório).

4.1.5 Análise de textura instrumentl

A textura é um fator de grande importância na comercialização de extrudados e é influenciada pelas condições do processo de extrusão e da embalagem.

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

Essas propriedades podem ser medidas objetivamente por meio de métodos instrumentais. Quatro critérios foram descritos por Bouvier (1997) para analisar a crocância dos extrudados usando-se um analisador instrumental de textura: Força de Compressão (FC), Força Específica das Rupturas (FER), Frequência das Rupturas (FR) e Trabalho de Crocância (TC). A FC descreve a área total ocupada pela curva registrada decorrente da perfuração do extrudado pelo probe sobre a distância percorrida. Essa força deverá ser baixa, pois extrudados duros são os que a força capaz de atravessá-los é alta. A FER mostra a energia gasta para a quebra de cada bolhinha de ar do *snack* e quanto a FR, quanto maior, melhor, pois a FR mostra indiretamente a quantidade de células contidas em certa parte do expandido. Ela descreve o número de picos pela distância percorrida pelo probe. Para uma boa crocância são necessárias numerosas células com FC baixa. O TC reúne informações sobre a relação entre a FC e a FR.

A fim de se fazer uma comparação dos produtos obtidos com os que já estão no mercado, foram analisados dois produtos diferentes denominados de produto “Comercial A” e produto “Comercial B”. Um teste de punctura foi feito nesses produtos seguindo-se os mesmos parâmetros utilizados para os tratamentos do delineamento I e II. Os resultados estão incluídos na tabela 23 que apresenta os resultados de determinação dos atributos da textura instrumental dos expandidos adicionados de gergelim grãos produzidos na extrusora de laboratório (Brabender) e as Tabelas 24 e 25 representam os valores da análise de variância (ANOVA) da variável resposta FR e TC.

Tabela 23 Textura dos extrudados adicionados de gergelim grãos feitos na extrusora de laboratório Brabender.

Tratamentos	Teor de Gergelim (%)	Temperatura (°C)	Força de compressão (N)	Frequência de Rupturas (mm ⁻¹)	Força específica das rupturas (N)	Trabalho de crocância (N. mm ⁻¹)
1	8,5	109	0,299	0,129	0,1410	2,313
2	1,5	109	0,246	0,146	0,1384	1,688
3	8,5	151	0,307	0,141	0,1483	2,173
4	1,5	151	0,139	0,184	0,0708	0,756
5	5,0	100	0,135	0,186	0,0597	0,726
6	5,0	160	0,388	0,141	0,1758	2,755
7	0,0	130	0,132	0,149	0,0988	0,888
8	10,0	130	0,379	0,115	0,1661	3,309
9 *	5,0	130	0,145	0,183	0,0707	0,796
10 *	5,0	130	0,133	0,172	0,0784	0,774
11	5,0	130	0,337	0,107	0,2525	3,139
12	5,0	130	0,404	0,111	0,1944	3,625
13	5,0	130	0,435	0,112	0,2060	3,897
Produto “Comercial A”			0,100	0,250	0,0600	0,400
Produto “Comercial B”			0,140	0,220	0,1000	0,640

*Os tratamentos 9 e 10 não foram utilizados para a análise estatística, pois apresentaram muita discrepância em relação aos outros pontos centrais

Tabela 24 Teste F, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrático aplicado a Frequência de Rupturas (FR) dos extrudados de grits de milho adicionados de gergelim grãos processados em máquina Brabender.

Fator	Teste F	P	Coeficiente de Regressão	Estimativa dos efeitos
Intercepto	***	1,93E-04 ***	1,10E-01	1,10E-01
X ₁	2,09E+02	4,76E-03 **	-1,35E-02	-2,71E-02
X ₁ ²	1,07E+02	9,19E-03 **	1,16E-02	2,32E-02
X ₂	3,24E+00	2,14E-01 ns	-1,69E-03	-3,37E-03
X ₂ ²	6,02E+02	1,66E-03 **	2,74E-02	5,48E-02
X ₁ X ₂	2,41E+01	3,90E-02 *	-6,50E-03	-1,30E-02
Falta de ajuste	7,81E+01	1,27E-02 *		
R ² : 0,78229				

X₁: teor de gergelim grãos (%)

X₂: temperatura da última zona de aquecimento (°C)

ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade

*: significativo ao nível de 5%, p ≤ 0,05.

**: significativo ao nível de 1% de probabilidade.

***: significativo ao nível de 0,1% de probabilidade.

Tabela 25 Teste F, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrático aplicado a Trabalho de Crocância (TC) dos extrudados de grits de milho adicionados de gergelim grãos processados em máquina Brabender.

Fator	Teste F	P	Coeficiente de Regressão	Estimativa dos efeitos
Intercepto	-	3,87E-03 **	3,55E+00	3,55E+00
X ₁	2,53E+01	3,73E-02 *	6,84E-01	1,37E+00
X ₁ ²	2,29E+01	4,10E-02 *	-7,77E-01	-1,55E+00
X ₂	2,72E+00	2,41E-01 ns	2,24E-01	4,49E-01
X ₂ ²	3,48E+01	2,76E-02 *	-9,57E-01	-1,91E+00
X ₁ X ₂	1,06E+00	4,11E-01 ns	1,98E-01	3,96E-01
Falta de ajuste	5,08E+00	1,69E-01 ns		
R ² : 0,81134				

X₁: teor de gergelim grãos (%)

X₂: temperatura da última zona de aquecimento (°C)

ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade

*: significativo ao nível de 5%, p ≤ 0,05.

**: significativo ao nível de 1% de probabilidade.

***: significativo ao nível de 0,1% de probabilidade.

As Figuras 11 e 12 revelam os efeitos da Temperatura da última zona de aquecimento e da adição de gergelim sobre a textura dos expandidos e as Equações 17 e 18 descrevem o modelo matemático do estudo.

$$\text{FR Brabender} = 0,1100 - 0,0135X_1 + 0,0116X_{11} + 0,0274X_{22} - 0,0065X_{12} \quad (17)$$

$$\text{TC Brabender} = 3,5543 + 0,6840X_1 - 0,7768X_{11} - 0,9569X_{22} \quad (18)$$

$$FR = 0,1100 - 0,0135X_1 + 0,0116X_{11} + 0,0274X_{22} - 0,0065X_{12}$$

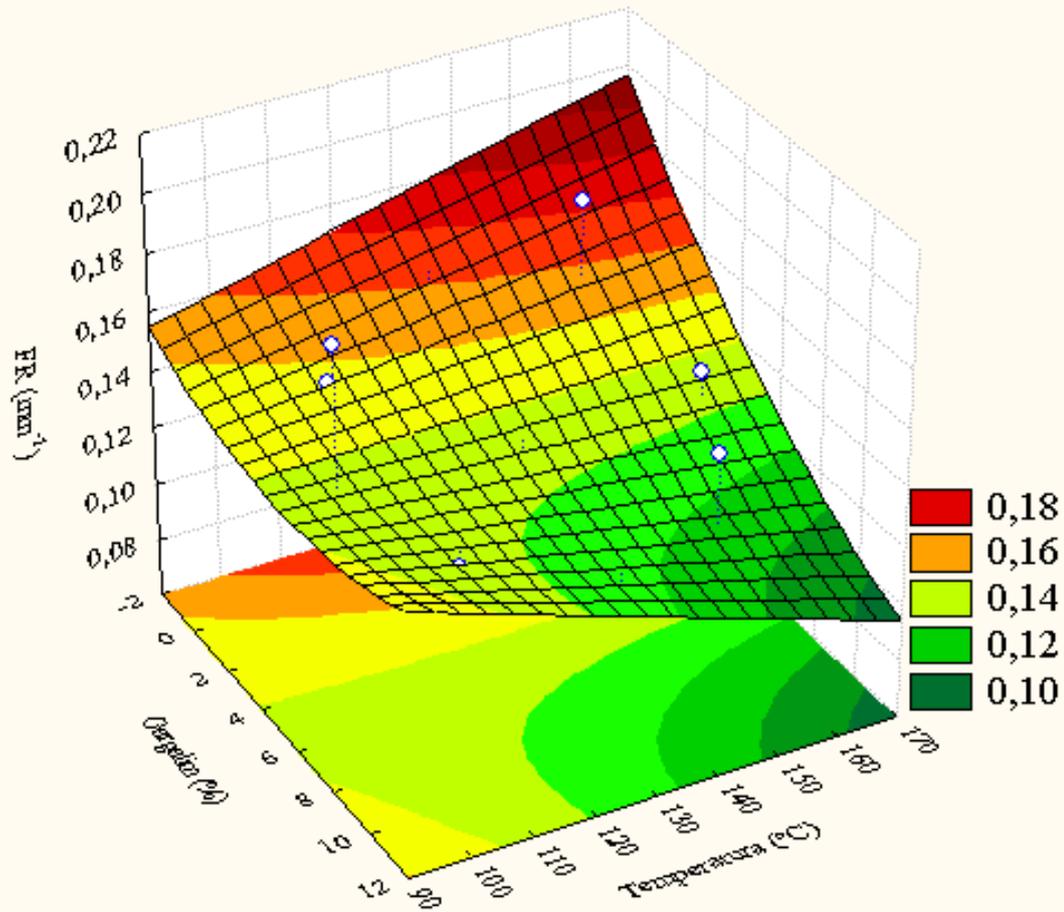


Figura 11 Efeito da temperatura e teor de gergelim sobre a FR (mm⁻¹) produzidos na extrusora de laboratório Brabender.

Como pode ser observado na Figura 11, o aumento do teor de gergelim e da temperatura levou a redução dos valores de FR. Por outro lado, na ausência de gergelim máximo valor de FR foi obtido, sendo que até 4% de gergelim grãos a 160°C pode-se inferir que os extrudados de milho apresentam-se crocantes, uma vez que FR está relacionado com o número de células ou bolhas de ar perfuradas durante o teste de textura instrumental.

A FR revela indiretamente o número de células internas por milímetros dos extrudados. Para os produtos comerciais, de acordo com a Tabela 23, os resultados de FR foram de 0,25 e 0,22/ mm. Os tratamentos adicionados de gergelim variaram de 0,11 a 0,19 mm⁻¹, revelando que existe uma menor quantidade de células internas nesses extrudados. Mais uma vez é visto que o teor de fibras contidas nos grãos de gergelim causou ruptura prematura nas células durante a expansão.

$$TC = 3,5543 + 0,6840X_1 - 0,7768X_{11} - 0,9569X_{22}$$

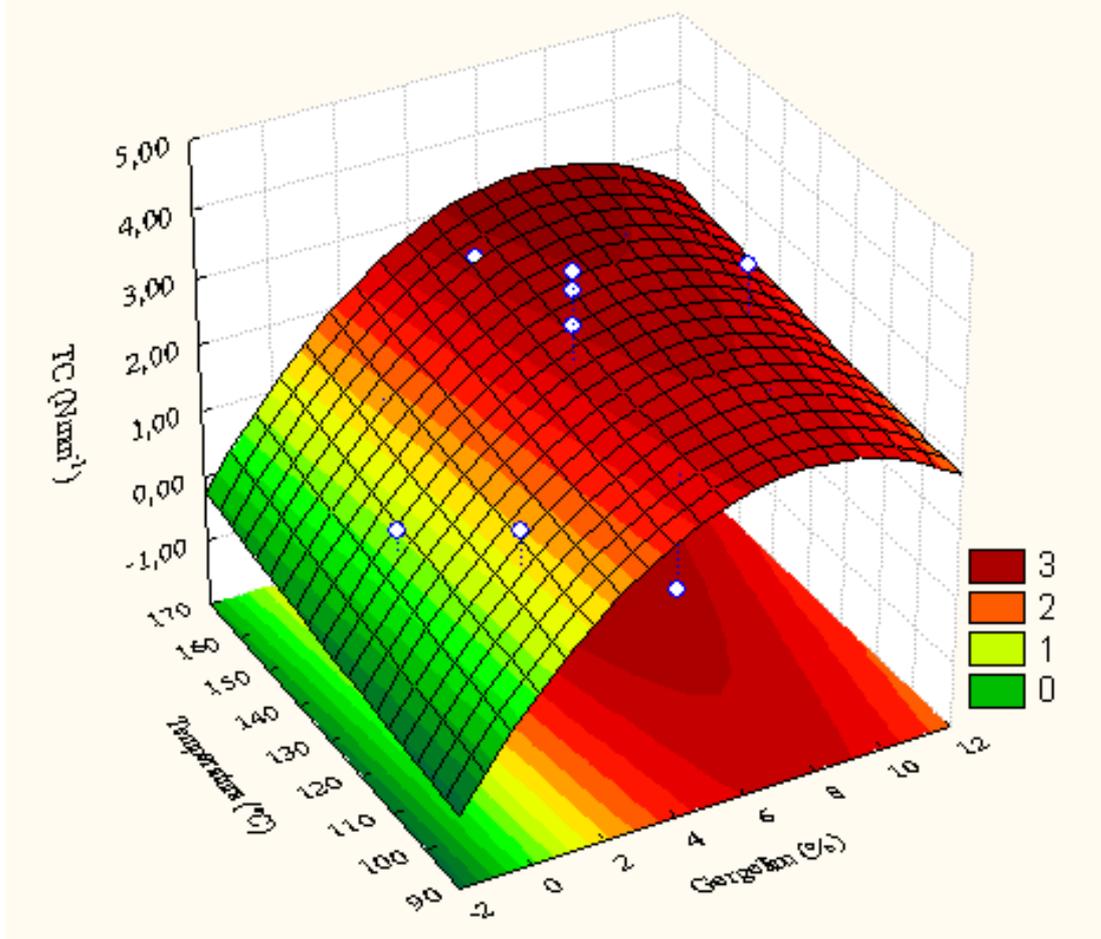


Figura 12 Efeito da temperatura e do teor de gergelim sobre o trabalho de crocância, TC (N.mm) dos extrudados produzidos na extrusora de laboratório Brabender.

O efeito do aumento da temperatura isoladamente diminui o trabalho de crocância (TC) (Figura 12), ou seja, colabora positivamente para a crocância. É esperado que um aumento na temperatura reduza a viscosidade do material fundido, o que favorece o crescimento das bolhas e produz extrudados de baixa densidade, com grande número de células com paredes finas resultando em maior crocância (DING et al., 2005).

Altos níveis de gergelim grãos resultam em maior TC, mesmo em temperaturas altas. Isso indica que a crocância diminui ao se adicionar gergelim acima de 6% na composição do produto a base de *grits* de milho. O TC dos extrudados variou de 0,73 a 3,90 N/mm e os produtos comerciais variaram de 0,40 a 0,64 N/mm.

Na Tabela 26 estão apresentados os resultados dos atributos da determinação da textura instrumental dos expandidos de milho adicionados de TSDG produzidos na extrusora comercial Inbramaq. A Tabela 27 representa a análise de variância (ANOVA) para os resultados de FC, a Tabela 28 para os resultados de FER e a Tabela 29 para os resultados de TC dos extrudados.

Tabela 26 Textura dos extrudados adicionados de TSDG feitos em extrusora Inbramaq.

Tratamentos	Teor de TSDG (%)	Velocidade do parafuso (rpm)	Força de compressão (N)	Frequência de Rupturas (mm^{-1})	Força específica das rupturas (N)	Trabalho de crocância ($\text{N}\cdot\text{mm}^{-1}$)
1	17,07	333,33	0,1516	0,2475	0,0536	0,6368
2	2,93	333,33	0,1202	0,2329	0,0635	0,5248
3	17,07	377,77	0,1823	0,2214	0,0823	0,8758
4	2,93	377,77	0,1121	0,2364	0,0581	0,4795
5	10,00	324,13	0,1580	0,2197	0,0534	0,7343
6	10,00	386,97	0,1373	0,2486	0,0554	0,5548
7	0,00	355,55	0,0916	0,1901	0,0840	0,3753
8	20,00	355,55	0,1721	0,2464	0,0639	0,7358
9	10,00	355,55	0,1508	0,2547	0,0515	0,6006
10	10,00	355,55	0,1516	0,2475	0,0536	0,6368
11*	10,00	355,55	0,1603	0,2313	0,0658	0,7019
12	10,00	355,55	0,1502	0,2583	0,0565	0,6093
13*	10,00	355,55	0,1764	0,2469	0,0627	0,7232
Produto “Comercial A”			0,1000	0,2500	0,0600	0,4000
Produto “Comercial B”			0,1400	0,2200	0,1000	0,6400

*Os tratamentos 11 e 13 não foram utilizados para a análise estatística, pois apresentaram muita discrepância em relação aos outros pontos centrais.

Tabela 27 Teste F, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrático aplicado a (FC) dos extrudados de grits de milho adicionados de TSDG processados em máquina Inbramaq.

Fator	Teste F	P	Coeficiente de Regressão	Estimativa dos efeitos
Intercepto	-	7,00E-06 ***	1,51E-01	1,51E-01
X ₁	1,18E+04	8,50E-05 ***	2,70E-02	5,39E-02
X ₁ ²	9,39E+02	1,06E-03 **	-9,09E-03	-1,82E-02
X ₂	1,10E+01	8,00E-02 ns	-8,26E-04	-1,65E-03
X ₂ ²	1,49E+01	6,11E-02 ns	-1,15E-03	-2,29E-03
X ₁ X ₂	7,63E+02	1,31E-03 **	9,70E-03	1,94E-02
Falta de ajuste	2,45E+02	4,06E-03 **		
R ² : 0,94816				

X₁: teor de TSDG (%)

X₂: velocidade do parafuso (rpm)

ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade

*: significativo ao nível de 5%, $p \leq 0,05$.

**: significativo ao nível de 1% de probabilidade.

***: significativo ao nível de 0,1% de probabilidade.

Tabela 28 Teste F, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrático aplicado a (FER) dos extrudados de grits de milho adicionados de TSDG processados em máquina Inbramaq.

Fator	Teste F	P	Coeficiente de Regressão	Estimativa dos efeitos
Intercepto	....	7,23E-04 ***	5,39E-02	5,39E-02
X ₁	3,92E+00	1,86E-01 ns	-1,76E-03	-3,52E-03
X ₁ ²	9,13E+01	1,08E-02 *	1,01E-02	2,03E-02
X ₂	1,36E+01	6,64E-02 ns	3,28E-03	6,55E-03
X ₂ ²	8,18E-02	8,02E-01 ns	3,03E-04	6,07E-04
X ₁ X ₂	4,61E+01	2,10E-02 *	8,53E-03	1,71E-02
Falta de ajuste	1,48E+01	6,38E-02 ns		

R²: 0,77663

X₁: teor de TSDG (%)

X₂: velocidade do parafuso (rpm)

ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade

*: significativo ao nível de 5%, p ≤ 0,05.

**: significativo ao nível de 1% de probabilidade.

***: significativo ao nível de 0,1% de probabilidade.

Tabela 29 Teste F, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrático aplicado a (TC) dos extrudados de grits de milho adicionados de TSDG processados em máquina Inbramaq.

Fator	Teste F	P	Coeficiente de Regressão	Estimativa dos efeitos
Intercepto	....	3,14E-04 ***	6,15E-01	6,15E-01
X ₁	3,63E+02	2,74E-03 **	1,27E-01	2,55E-01
X ₁ ²	8,13E+00	1,04E-01 ns	-2,28E-02	-4,55E-02
X ₂	1,24E+00	3,82E-01 ns	-7,45E-03	-1,49E-02
X ₂ ²	7,59E+00	1,10E-01 ns	2,20E-02	4,40E-02
X ₁ X ₂	5,66E+01	1,72E-02 *	7,11E-02	1,42E-01
Falta de ajuste	2,50E+01	3,87E-02 *		

R²: 0,85202

X₁: teor de TSDG (%)

X₂: velocidade do parafuso (rpm)

ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade

*: significativo ao nível de 5%, p ≤ 0,05.

**: significativo ao nível de 1% de probabilidade.

***: significativo ao nível de 0,1% de probabilidade.

A Equação 19 descreve o modelo matemático para FC e a Figura 13 a superfície de resposta do modelo.

$$FC_{Inbramaq} = 0,1509 + 0,0270 X_1 - 0,0091 X_{11} + 0,0097 X_{12} \quad (19)$$

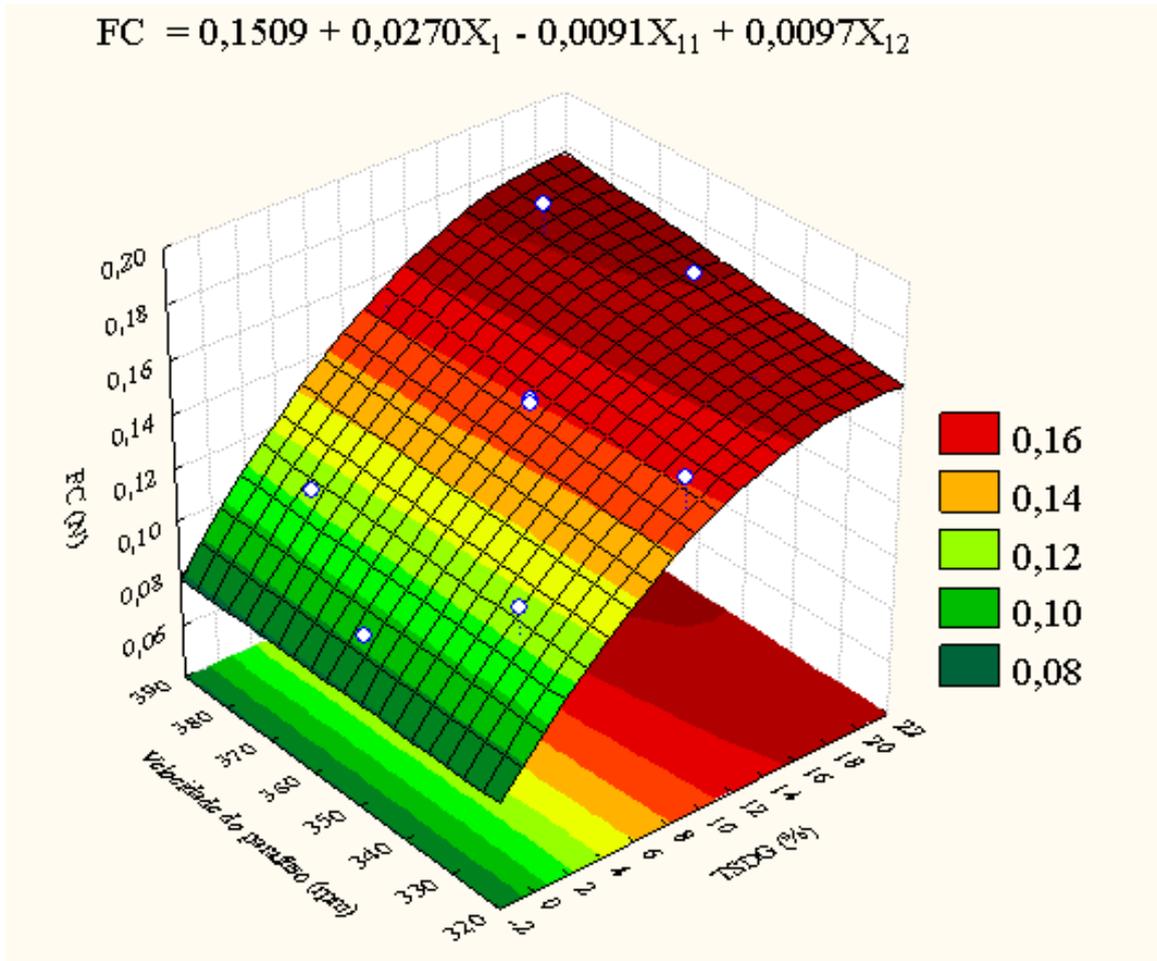


Figura 13 Efeito da velocidade do parafuso e do teor de torta de gergelim semi-desengordurada sobre a variável dependente Força de Compressão (N) em extrusora Inbramaq.

A FC relata a força total percorrida pelo *probe* para atravessar completamente o *snack*. Essa força deve ser baixa, pois, ela demonstra o quanto o produto é duro. A variação da FC visto através do (Figura 17) sobre o produto adicionado de TSDG em extrusora Inbramaq foi muito pequena (0,09N a 0,18N), portanto muito baixa e muito próxima às dos produtos comerciais como pode ser visto através da Tabela 26 que mostram uma FC de 0,10 e 0,14 N. Isso revela que a adição de TSDG tem pouca interferência na crocância dos extrudados mesmo contendo altos níveis de fibra. O alto nível de proteína parece dar maior viscosidade e estabilidade à formação das estruturas internas quando expandidas.

A Equação 20 descreve o modelo matemático para FER e a Figura 14 a superfície de resposta do modelo.

$$\text{FER Inbramaq} = 0,0539 + 0,0101X_{11} + 0,0085X_{12} \quad (20)$$

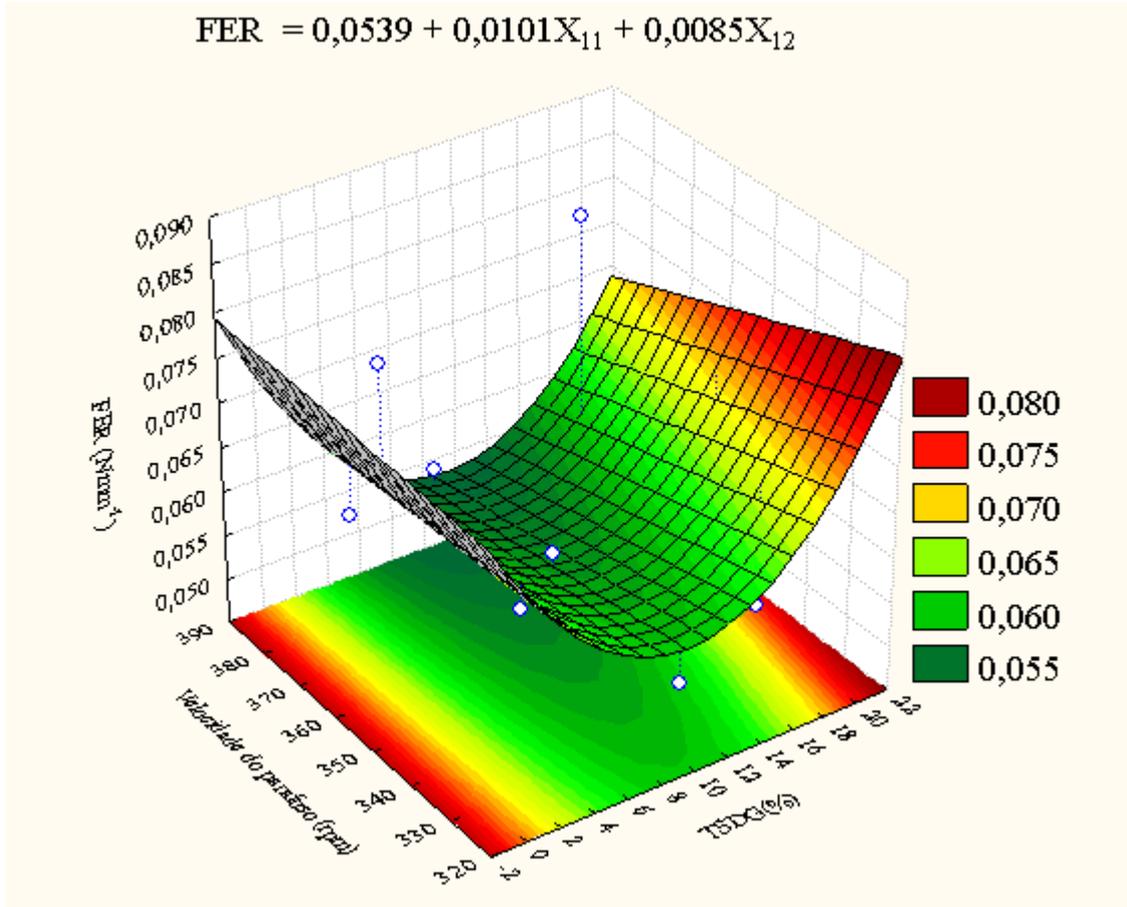


Figura 14 Efeito da velocidade do parafuso e do TSDG sobre a variável resposta Força Específica das Rupturas, FER (N) na extrusora Inbramaq.

Em teores médios de adição de TSDG e em mais altas velocidades de parafuso a FER é mais baixa, porém ao aumentar os níveis de TSDG e diminuir a velocidade de parafuso a FER aumenta diminuindo assim a crocância. Porém a adição máxima (20% de TSDG) não foi capaz de interferir na crocância de forma negativa, pois ainda denota valores iguais aos produtos comerciais que variaram de 0,06 a 0,10 N conforme Tabela 26.

A Equação 21 descreve o modelo matemático para TC e a Figura 15 a superfície de resposta do modelo.

$$TC_{Inbramaq} = 0,6155 + 0,1275X_1 + 0,0711X_{12} \quad (21)$$

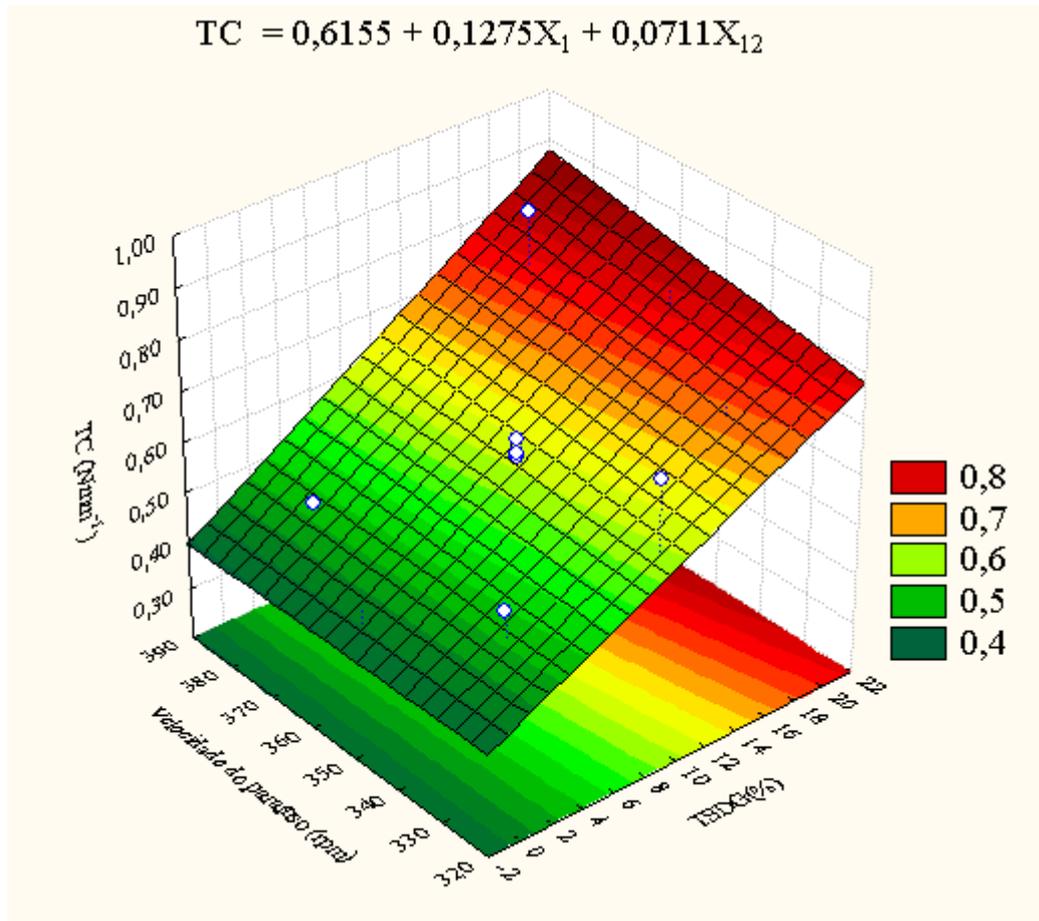


Figura 15 Efeito da velocidade do parafuso e do teor de TSDG sobre a variável dependente Trabalho de Crocância, TC (Nmm⁻¹) na extrusora Inbramaq.

Segundo Riaz (2002) os produtos extrudados com baixa expansão são frequentemente mais duros e densos. No presente trabalho, apesar da baixa expansão ao se aumentar o teor de TSDG, o aumento da dureza não foi tão expressivo (Figura 15) quando comparado aos expandidos de milho encontrados no mercado. A Tabela 30 contém um resumo dos valores máximos de adição para os dois delineamentos e para os produtos comerciais.

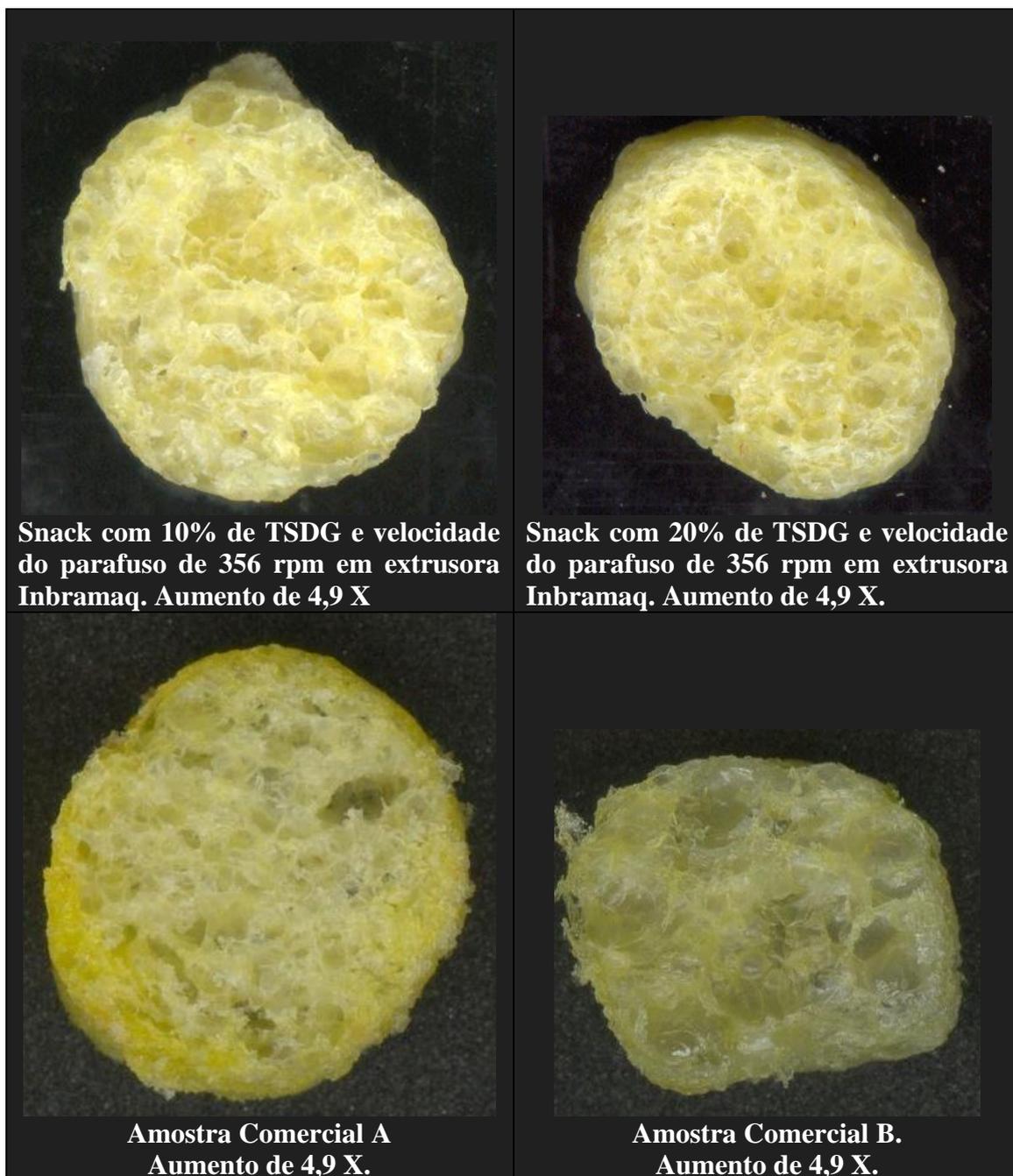
Tabela 30 Teste de punctura em snacks comerciais marca A e B em comparação com resultados de tratamentos com maior adição de Gergelim Grãos (GG) e Torta semi-desengordurada de gergelim (TSDG).

Tratamentos	Força de compressão (N)	Frequência de Rupturas (mm^{-1})	Força Específica das rupturas (N)	Trabalho de Crocância (N.mm)
Comercial A	0,10	0,25	0,06	0,40
Comercial B	0,14	0,22	0,10	0,64
T3 (17% TSDG)	0,18	0,22	0,08	0,88
T8 (20% TSDG)	0,17	0,25	0,06	0,68
T9 (10% TSDG)	0,15	0,25	0,05	0,60
T3 (8,5% GG)	0,31	0,14	0,15	2,17
T8 (10% GG)	0,38	0,12	0,17	3,31
T9 (5% GG)	0,34	0,11	0,25	3,14

Como pode ser visto a Força de Compressão dos produtos comerciais é mais semelhante aos extrudados adicionados de TSDG. A Força de Rupturas do produto “Comercial A” é igual ao do tratamento T8 e T9 com adição de 20% e de 10% de TSDG respectivamente, enquanto que a do produto comercial B é igual ao extrudado adicionado de 17% de TSDG. A Força Específica das Rupturas do produto “Comercial A” é igual para o extrudado T8 de maior adição de TSDG e muito semelhante à força do T9 com adição de 10% de TSDG. O produto “Comercial B” tem Força Específica das Rupturas semelhante ao extrudado adicionado de 17% de TSDG. Quanto ao Trabalho de Crocância do produto “Comercial A” e “Comercial B” estão mais parecidos com os resultados para os extrudados adicionados de TSDG. Os extrudados adicionados de gergelim grãos (GI) tiveram forças maiores (FC), (FER) e (TC) e menor número de células (FR) que os produtos comerciais.

4.1.6 Imagem macroscópica estrutural dos snacks

A visualização da estrutura interna dos extrudados expandidos foi realizada utilizando-se um meio prático e acessível: o escaner de escritório (SMOLARZ et al., 1989). Para esse experimento a amostra foi digitalizada com resolução de 600 pixels como uma imagem digital colorida onde se observou a estrutura a qual reflete a organização interna da célula (Figura 16).



Fonte: Nascimento, 2009.

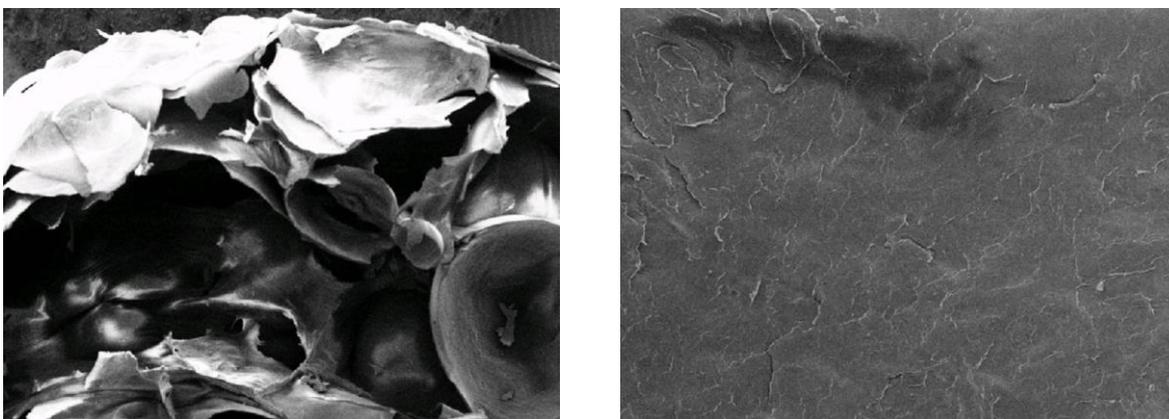
Figura 16 Imagens de expandidos feitas em *scanner* de escritório. Ao lado esquerdo acima um tratamento central e ao lado direito acima o tratamento axial máximo.

Através das imagens pode-se observar a similaridade das estruturas internas dos snacks desenvolvidos adicionados de TSDG, com as estruturas de snacks comerciais. O tamanho e a distribuição das células internas dos expandidos adicionados de 10 e 20% de TSDG são bem semelhantes às do produto Comercial A. O produto Comercial B, apesar de conter células maiores, mostra o quanto a parede de suas células são finas. Ao ser avaliado pelo texturômetro, as paredes das células do produto comercial B tiveram uma Força Espacial das Rupturas maior que a do tratamento adicionado de 20% de TSDG. Isso mostra que o

produto com 20% de TSDG é suavemente mais crocante que o produto comercial B do mercado.

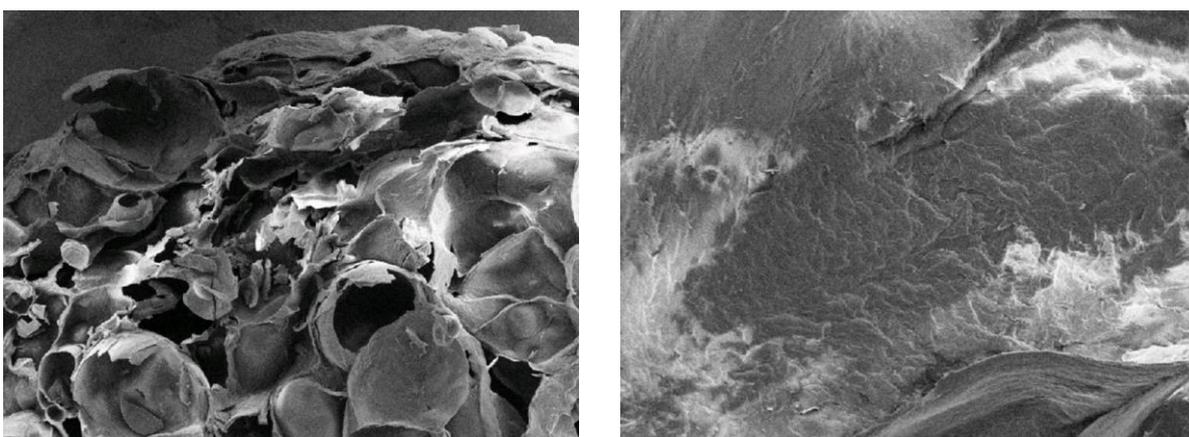
4.1.7 Imagens de microscopia eletrônica de varredura dos extrudados adicionados de TSDG em extrusora Inbramaq.

A estrutura interna dos extrudados estudados foi observada utilizando-se imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV). As Figuras 24, 25 e 26 mostram em dois aumentos diferentes (40 X e 500 X) para melhor caracterizar as estruturas. As diferentes condições de processamento nos diferentes tratamentos causaram uma profunda mudança nas células internas dos extrudados.



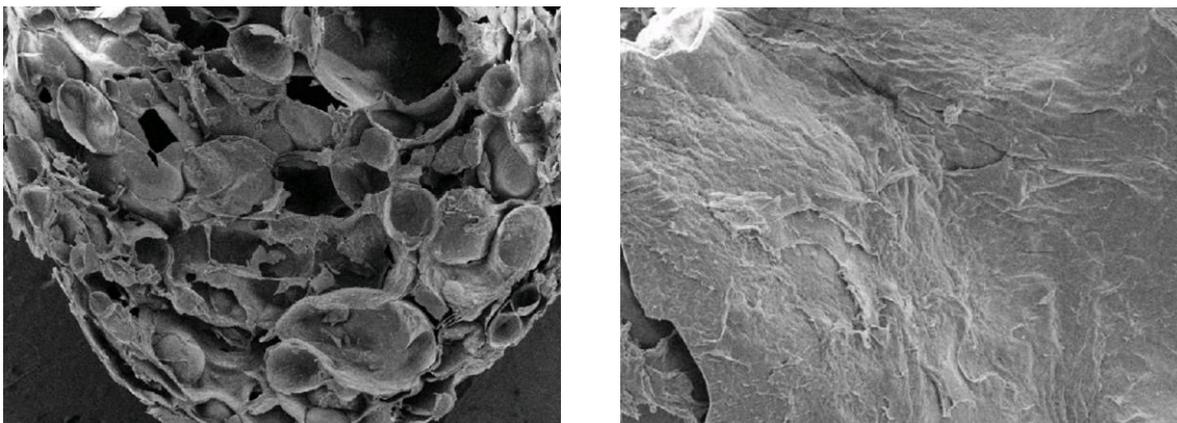
Fonte: Takeiti, 2009.

Figura 17 Snack com 100% *grits* de milho feito em extrusora Inbramaq com velocidade de parafuso de 355,55 rpm. Imagem esquerda com aumento de 40X e imagem direita com aumento de 500X da parede da célula do snack.



Fonte: Takeiti, 2009.

Figura 18 Snack com 10% de adição de TSDG e 90% *grits* de milho feito em extrusora Inbramaq com velocidade de parafuso de 355,55 rpm. Imagem esquerda com aumento de 40X e imagem direita com aumento de 500X da parede da célula do snack.



Fonte: Takeiti, 2009.

Figura 19 Snack com 20% de adição de TSDG e 80% *grits* de milho feito em extrusora Inbramaq com velocidade de parafuso de 355,55 rpm. Imagem esquerda com aumento de 40X e imagem direita com aumento de 500X da parede da célula do snack.

É possível observar que o aumento do teor de TSDG contribuiu para aumentar o número de células de ar no interior da estrutura dos extrudados de milho produzidos na extrusora comercial Inbramaq. Este aumento em número de células poderia ser atribuído ao efeito combinado da presença de fibras e óleo presentes na torta. Embora é sabido que óleo age reduzindo a expansão de extrudados de amido, bem como a fibra insolúvel por interrupção da matriz amilácea fundida no interior da extrusora, a concentração relativamente baixa deste componentes atuaram de forma a criar pequenos núcleos que no momento da expansão participaram da formação das paredes finas. É interessante notar que a distribuição granulométrica da farinha de TSDG, por ser menor que a do *grits* de milho, pode ter facilitado sua distribuição ao em torno no *grits* quando este se fundiu no interior da extrusora favorecendo o aparecimento das pequenas bolhas/células de ar.

4.1.8 Análise Sensorial

Os sentidos da visão, olfato, gosto, tato e audição são os responsáveis por medir e analisar reações características dos alimentos como definido de acordo com o Institute of Food Technologists (IFT, 1975).

Dentre os 120 provadores, 57% eram do sexo feminino e 43% do sexo masculino. O maior percentual dos provadores (40%) tinha renda familiar entre 5 e 10 salários, seguidos dos (25%) que tinham renda familiar abaixo de 5 salários; (23%) possuía renda familiar entre 10 e 20 salários; (9%) possuíam de 20 a 30 salários e apenas (3%) tinham renda familiar acima de 30 salários.

Quanto a idade dos provadores, (37 %) possuíam entre 25 e 35 anos, (29 %) tinham idade entre 18 e 24 anos; (18 %) tem idade entre 36 e 45 anos; (16 %) tem entre 46 e 60 anos, não houve provador acima de 60 anos e nenhum provador tinha idade abaixo de 18 anos.

Os resultados da avaliação sensorial estão descritos na (Tabela 31 e 32).

Tabela 31. Resultados do teste de aceitação dos extrudados adicionados de gergelim e TSDG em extrusora Inbramaq.

	Aceitação			
	5% Gergelim	10% Gergelim	10% TSDG	20% TSDG
Sem informação	6,77 a A	5,10 c A	6,05 b A	5,80 b B
Com informação	6,93 a A	5,42 b A	6,45 a A	6,67 a A

Letras minúsculas – análise das diferenças entre as amostras com intervalo de 95% de confiança (Fisher LSD)
 Letras maiúsculas – análise das diferenças entre os grupos (sem e com informação) com um intervalo de confiança de 95% (Fisher LSD)

Valores médios obtidos em escala variando de 1 (desgostei extremamente) a 9 (gostei extremamente)

Tabela 32. Resultados do teste de intenção de compra

	Intenção de compra			
	5% Gergelim	10% Gergelim	10% TSDG	20% TSDG
Sem informação	5,37 c	3,83 a	4,67 b	4,33 b
Com informação	5,22 a	4,02 c	4,67 b	5,07 ab

Letras minúsculas – análise das diferenças entre as amostras com intervalo de 95% de confiança (Fisher LSD)
 Valores médios obtidos em escala variando de 1 (certamente não compraria) a 7 (certamente compraria)

A média da amostra que obteve melhor aceitação pelo grupo de provadores que não receberam informação dos benefícios nutricionais do produto foi o *snack* adicionado de 5% de gergelim grãos, seguido dos *snacks* com adição de 10 e 20% de TSDG que não possuíram diferença significativa a nível de 5% entre si. A amostra menos aceita foi a adicionada de 10% de gergelim grãos. Com relação à intenção de compra, a amostra de 5% de gergelim grãos obteve da parte dos provadores um certo desejo de compra, com nota média de 5,37, entre “talvez comprasse; talvez não comprasse” e “definitivamente compraria”.

Quando observados os resultados dos provadores que receberam informação nutricional do produto, a média das amostras adicionadas de 5% de gergelim, as adicionadas de 20% de TSDG e as adicionadas de 10% de TSDG tiveram melhor aceitação sem diferença significativa entre elas a nível de 5% de probabilidade, diferindo apenas da amostra adicionada de 10% de gergelim grãos com menor aceitação. Pôde-se notar então que, ao receberem a informação, a aceitação da amostra de 20% de TSDG aumentou significativamente ($p < 0,05$) para 6,67, indicando uma influência positiva do conhecimento na avaliação do produto.

Com relação a variável intenção de compra, as amostras adicionadas de 5% de gergelim e 20% de adição de TSDG não apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) entre si e tiveram alguma intenção de compra). A amostra adicionada de 10% de TSDG não diferiu ($p < 0,05$) da amostra adicionada de 20% de TSDG, porém foi diferente da amostra adicionada de 5% de gergelim, sendo ela a de maior média. Apenas a amostra adicionada de 10% de gergelim teve uma intenção de compra indiferente (“talvez comprasse, talvez não comprasse”).

Como se pode ver através do gráfico de frequência das notas dos provadores (Figura 20) a informação influenciou na aceitação dos provadores.

É possível notar que todas as amostras receberam maior frequência de notas de aceitação (notas entre 6 e 9) dos provadores que receberam informação dos benefícios do produto. Pode-se observar também que a de maior adição de TSDG (a qual contém maior quantidade de nutrientes) é a que ganha um maior aumento em relação a todas as outras.

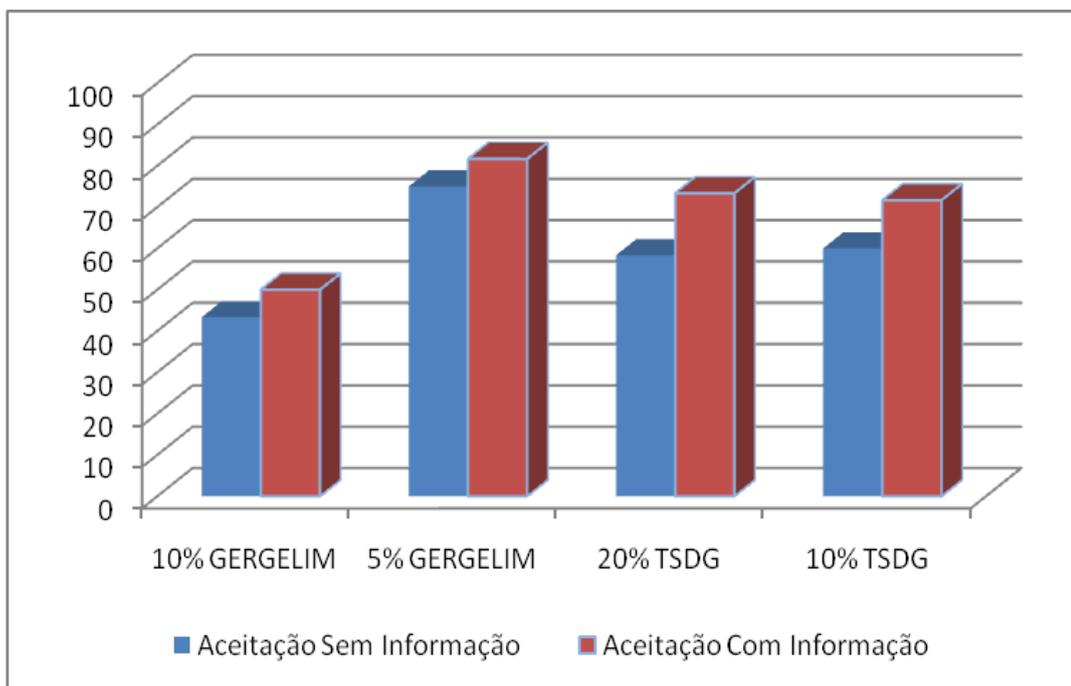


Figura 20 Notas de 6 a 9 do teste de aceitação.

O gráfico de frequência das notas de intenção de compra (Figura 21) mostra que a informação influenciou a escolha da intenção de compra dos provadores. A intenção de compra foi positiva e maior para os snacks adicionados de TSDG, principalmente para a amostra de 20% de adição de TSDG.

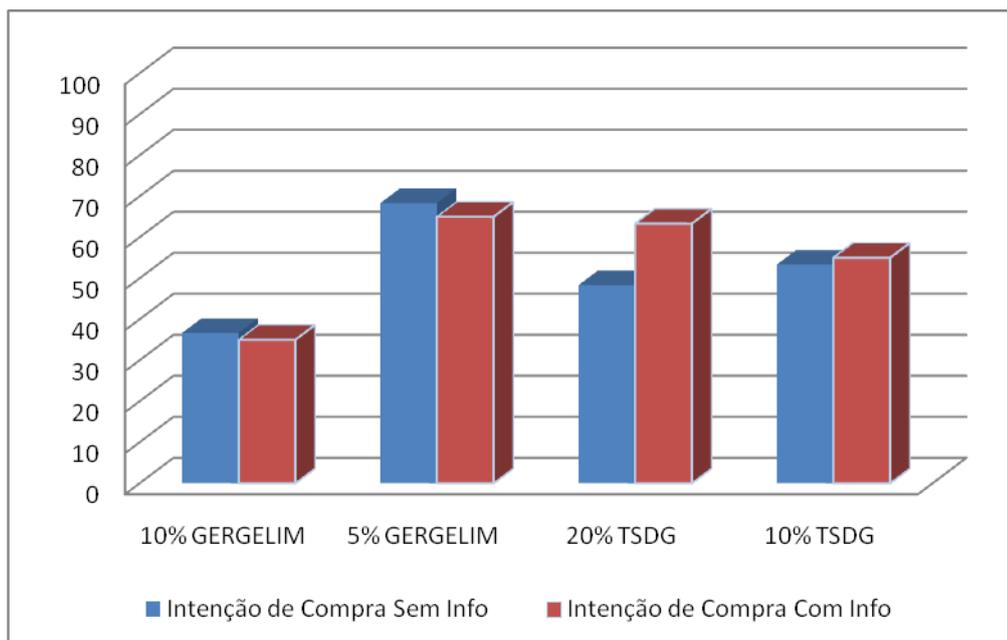


Figura 21 Notas de 5 a 7 do teste intenção de compra

Uma análise de agrupamentos foi realizada a fim de organizar melhor os dados observados em diferentes classes. Esses dados são observados dessa forma segundo características comuns que ocorrem neles. É usado o software XL STAT para descobrir quais as regularidades são interessantes no conjunto dos dados. Grande número de provadores, quando segmentados, avaliou muito melhor as amostras, com notas maiores que a média total.

Dos 60 provadores que não obtiveram informação nutricional dos produtos, 12 deram notas baixas para todas as amostras (segmento 3). Os provadores do segmento 2 (24 indivíduos) deram notas acima de 5 para todas as amostras, destacando a preferência pela amostra de maior nível de TSDG. Os provadores do segmento 1 (24 indivíduos) deram notas mais altas para as amostras adicionadas de 5% gergelim grãos e para a adicionada de 10% de TSDG, como se pode observar através da Tabela 33.

Tabela 33 . Análise de dados em clusters dos provadores sem informação

Segmento	10% Gergelim	5% Gergelim	20% TSDG	10% TSDG	Soma dos pesos
1	6,500	8,208	6,250	7,833	24,000
2	5,000	6,333	6,750	5,292	24,000
3	2,500	4,750	3,000	4,000	12,000

Este grupo se diferenciou do segmento 2 principalmente porque preferiu os *snacks* de menor adição de gergelim grãos e TSDG, possivelmente pela coloração destes produtos. A (Figura 22) mostra as diferenças de cor entre as amostras. A cor dos *snacks* adicionados de 5 % de gergelim são mais claros e mais amarelos, sendo mais semelhantes aos vendidos no mercado.



Fonte: Nascimento, 2009.

Figura 22 Snacks adicionados de Gergelim e TSDG para análise sensorial. Amostras axiais máximas e ponto central.

Dentre os provadores que receberam informação sobre os benefícios nutricionais do produto, o segmento 3 (20 provadores) preferiu a amostra adicionada de 20% de TSDG dentre todas as outras, rejeitando os snacks de gergelim grãos. O segmento 2 (22 provadores) deu notas altas para todas as amostras e preferiu a adicionada de 5% de gergelim e a de 20% de TSDG. O segmento 1, com 18 provadores, preferiu as amostras com menores teores de adição (adicionadas de 5% de gergelim e 10% de TSDG), como se observa na Tabela 34.

Tabela 34. Análise de dados em clusters dos provadores com informação

Segmento	10% Gergelim	5% Gergelim	20% TSDG	10% TSDG	Soma dos pesos
1	4,389	7,778	5,333	6,944	18,000
2	7,091	8,182	8,000	7,318	22,000
3	4,500	4,800	6,400	5,050	20,000

No trabalho de Ferreira (2006) que adicionou farelo de trigo a *snacks* de milho, foi comentado na avaliação sensorial que pelo seu produto não apresentar outros ingredientes como aromatizantes, saborizantes, utilizados normalmente pelas indústrias na fabricação de *snacks*, houve certa indecisão na intenção de compra da parte dos provadores. Ele também acrescenta pelos provadores apresentarem idade na faixa entre 20 e 40 anos as suas escolhas influenciaram negativamente, pois os maiores consumidores desse produto são indivíduos com idade abaixo de 20 anos.

Apesar de muitos fatores negativos, como citado por Ferreira, contribuírem na não aceitação de boa parte de produtos adicionados e enriquecidos com outros ingredientes, pode-se notar que a informação sobre as qualidades nutricionais pode pesar significativamente de forma positiva como foi visto no presente trabalho.

4.1.9 Análise de cor dos extrudados expandidos

A cor é uma questão de percepção visual e sua interpretação verbal torna-se muito subjetiva. Para denominar a mesma cor, diferentes pessoas podem basear-se em referências diferentes e a sua expressão através das palavras se torna complicada e inexata. A medição objetiva da cor pode ser feita mediante a utilização de radiação visível (400 – 700nm) que é a mais diretamente relacionada com a percepção humana. Geralmente em trabalhos de pesquisa, o emprego de colorímetros permite avaliar a cor de forma simples e reprodutível, e os aparelhos mais usados são os de triestímulos (HERNÁNDEZ et al., 1996).

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

Em produtos alimentícios a cor é um atributo visual muito importante. Em produtos extrudados a cor é influenciada pela temperatura, composição da matéria-prima, tempo de residência, pressão e cisalhamento segundo (MERCIER et al., 2001).

As condições de processamento utilizadas na extrusão (alta temperatura e/ou baixa umidade) são reconhecidas por favorecer a reação entre açúcares redutores e aminoácidos, o que resulta na formação de compostos coloridos e na redução do aminoácido lisina. Se o escurecimento é muito intenso, cores e sabores indesejáveis podem aparecer. A mudança de cor durante o processo de extrusão pode ser um indicador para avaliar a intensidade do processo em relação às mudanças químicas e nutricionais.

Os resultados da análise de cor estão dispostos na Tabela 35.

Tabela 35. Resultados da L*, a*, b* e ΔE das amostras dos extrudados processadas em extrusora de laboratório.

Tratamentos	Teor de Gergelim (%)	Temperatura (°C)	L*	a*	b*	ΔE
1	8,5	109,0	78,27	1,60	21,16	8,598
2	1,5	109,0	79,96	2,23	30,72	7,219
3	8,5	151,0	80,04	1,31	19,95	8,068
4	1,5	151,0	83,54	0,94	24,91	2,149
5	5,0	100,0	80,90	1,17	21,98	6,018
6	5,0	160,0	81,31	0,97	20,62	6,751
7	0,0	130,0	85,35	1,27	26,02	0,000
8	10,0	130,0	78,90	1,69	19,14	9,447
9	5,0	130,0	82,95	0,61	17,67	8,713
10	5,0	130,0	81,05	0,85	18,97	8,273
11	5,0	130,0	80,56	0,87	19,50	8,107
12	5,0	130,0	80,53	0,96	19,03	8,499
13	5,0	130,0	80,55	0,86	19,33	8,251

A Tabela 36 representa os valores da análise de variância (ANOVA) da variável resposta (ΔE).

Tabela 36. Teste F, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrático aplicado a Delta E (ΔE) dos extrudados de grits de milho adicionados de gergelim grãos processados em máquina Brabender.

Fator	Teste F	P	Coeficiente de Regressão	Estimativa dos efeitos
Intercepto	***	0,00E+00 ***	8,37E+00	8,37E+00
X ₁	9,38E+02	7,00E-06 ***	2,59E+00	5,17E+00
X ₁ ²	2,97E+02	6,70E-05 ***	-1,56E+00	-3,13E+00
X ₂	5,74E+01	1,63E-03 **	-6,39E-01	-1,28E+00
X ₂ ²	8,24E+01	8,17E-04 ***	-8,24E-01	-1,65E+00
X ₁ X ₂	9,07E+01	6,79E-04 ***	1,14E+00	2,27E+00
Falta de ajuste	6,77E+01	6,95E-04 ***		
R ² : 0,8736	***			

X₁: teor de gergelim grãos (%)

X₂: temperatura da última zona de aquecimento (°C)

ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade

*: significativo ao nível de 5%, $p \leq 0,05$.

**: significativo ao nível de 1% de probabilidade.

***: significativo ao nível de 0,1% de probabilidade.

Para os tratamentos com adição de Gergelim o ΔE variou de 2,149 a 8,713. A Equação (22) descreve o modelo:

$$\Delta E = 8,366 + 2,585 X_1 - 1,588 X_1^2 - 0,572 X_2 - 0,753 X_2^2 + 1,135 X_{12} \quad (22)$$

$$\Delta E = 8,366 + 2,585 X_1 - 1,588 X_{11} - 0,572 X_2 - 0,753 X_{22} + 1,135 X_{12}$$

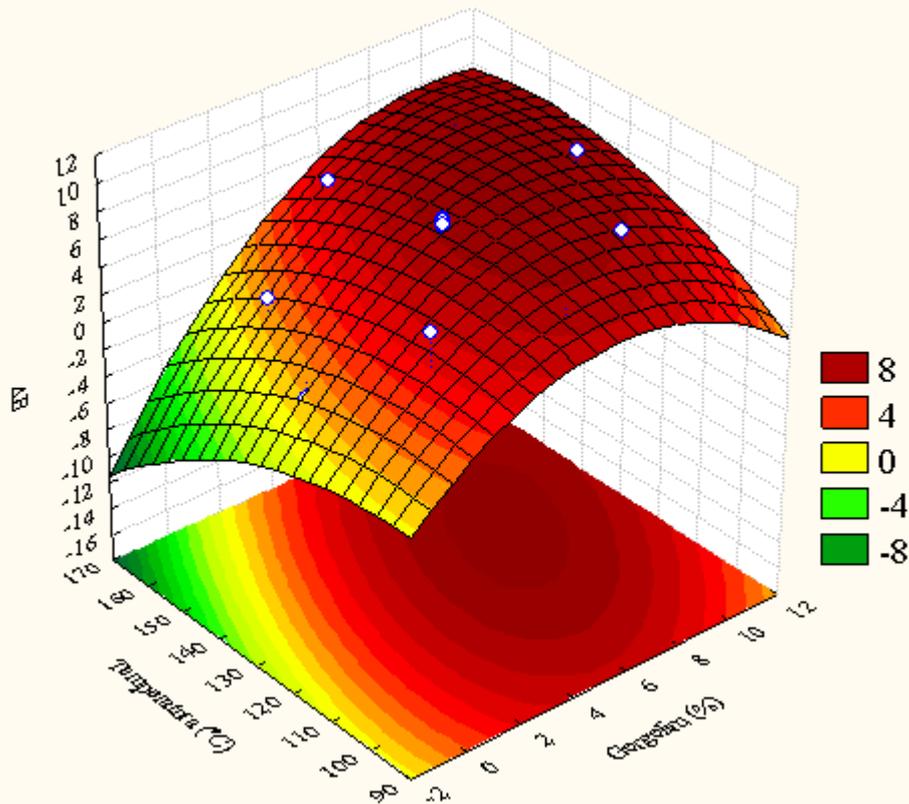


Figura 23 Superfície de resposta para ΔE dos extrudados elaborados na extrusora de laboratório (Brabender).

Como pode ser observado na Figura 23 a diferença de cor (ΔE) foi influenciada pela alta temperatura e maior teor de gergelim nas farinhas. Além da reação de Maillard, a qual ocorre pela ação da temperatura associada à presença de aminoácidos e carboidratos redutores (WANG et al., 1999), a qualidade do gergelim utilizado na extrusão era de grãos bem heterogêneos que também contribuíram para aumentar o escurecimento das amostras. Visualmente constatou-se que havia grãos de cor mais escura e mais clara como ilustra a Figura 24. A medida que o teor de grãos aumentou na mistura, esta se tornava mais escura resultando em amostras processadas também escurecidas. As maiores diferenças de cor foram obtidas na região de 6 a 10 % de gergelim e temperatura entre 130 e 150°C.



Fonte: Nascimento, 2009.

Figura 24 Grão de gergelim batizados de “BRS SEDA”, da Embrapa Algodão (Campina Grade – PB) cujo grão mede 3,8 mm, sendo na figura aumentado de 7,63 X.

L é a luminosidade e representa o quanto a amostra é mais clara (acima do padrão) ou mais escura (abaixo do padrão). A amostra padrão (apenas *grits* de milho) teve $L^* = 85,35$. O tratamento adicionado de 10 % de gergelim (maior teor) é a amostra de maior delta E=9, 447, ou seja, ela é mais distante do padrão na cor. Possui $L^* = 78,90$ (abaixo do padrão) sendo assim, a mais escura como pode ser visto através da Figura 25 que correspondente ao tratamento número 1 processadas em extrusora de laboratório.

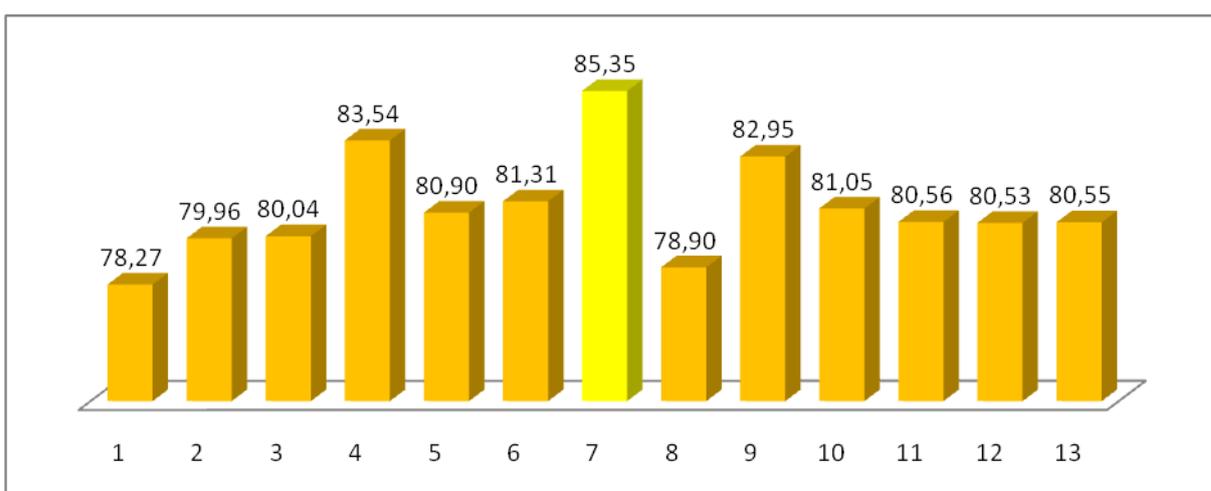


Figura 25 Luminosidade (L^*) processadas em extrusora de laboratório

A amostra mais semelhante à amostra padrão é a adicionada de 1,5 % gergelim e

Temperatura de 151°C. Com (ΔE) = 2,149 com $L^* = 83,54$, ou seja, menor (ΔE) diferença da amostra padrão, um pouco mais escurecida.

Os resultados da análise de cor para as amostras processadas em extrusora de laboratório estão descritos na Tabela 37 e a análise de variância (ANOVA) está na Tabela 38.

Tabela 37. Resultados da L^* , a^* , b^* e ΔE das amostras dos extrudados processados em extrusora comercial.

Tratamentos	Teor de TSDG (%)	Velocidade do parafuso (rpm)	L^*	a^*	b^*	ΔE
1	17,07	333,33	76,28	3,33	21,69	6,769
2	2,93	333,33	84,43	0,49	20,95	4,183
3	17,07	377,77	76,88	1,58	20,07	6,812
4	2,93	377,77	80,16	1,56	27,24	3,518
5	10,00	324,13	77,63	1,49	23,94	4,553
6	10,00	386,97	78,23	1,57	23,93	3,967
7	0,00	355,55	82,16	1,31	24,36	0,000
8	20,00	355,55	74,09	2,66	22,71	8,348
9	10,00	355,55	78,11	1,76	25,16	4,151
10	10,00	355,55	78,39	1,52	24,04	3,794
11	10,00	355,55	78,66	1,28	22,92	3,789
12	10,00	355,55	77,75	1,67	23,65	4,482
13	10,00	355,55	78,29	1,45	22,68	4,221

Tabela 38. Teste F, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrático aplicado a (ΔE) dos extrudados de grits de milho adicionados de TSDG processados em máquina Inbramaq.

Fator	Teste F	P	Coeficiente de Regressão	Estimativa dos efeitos
Intercepto	....	7,00E-06 ***	4,09E+00	4,09E+00
X_1	4,43E+02	3,00E-05 ***	2,21E+00	4,43E+00
X_1^2	8,12E+00	4,64E-02 *	3,22E-01	6,44E-01
X_2	2,98E+00	1,59E-01 ns	-1,82E-01	-3,63E-01
X_2^2	1,05E+01	3,19E-02 *	3,65E-01	7,31E-01
X_1X_2	1,42E+00	2,99E-01 ns	1,77E-01	3,54E-01
Falta de ajuste	2,59E+01	4,42E-03 **		
$R^2: 0,85027$				

X_1 : teor de TSDG (%)

X_2 : velocidade do parafuso (rpm)

ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade

*: significativo ao nível de 5%, $p \leq 0,05$.

**: significativo ao nível de 1% de probabilidade.

***: significativo ao nível de 0,1% de probabilidade.

Para os tratamentos com adição de TSDG o ΔE variou de 3,518 a 8,348. A Equação (23) descreve o modelo:

$$\Delta E = 4,085 + 2,213 X_1 + 0,322 X_{11} + 0,365 X_{22} \quad (33)$$

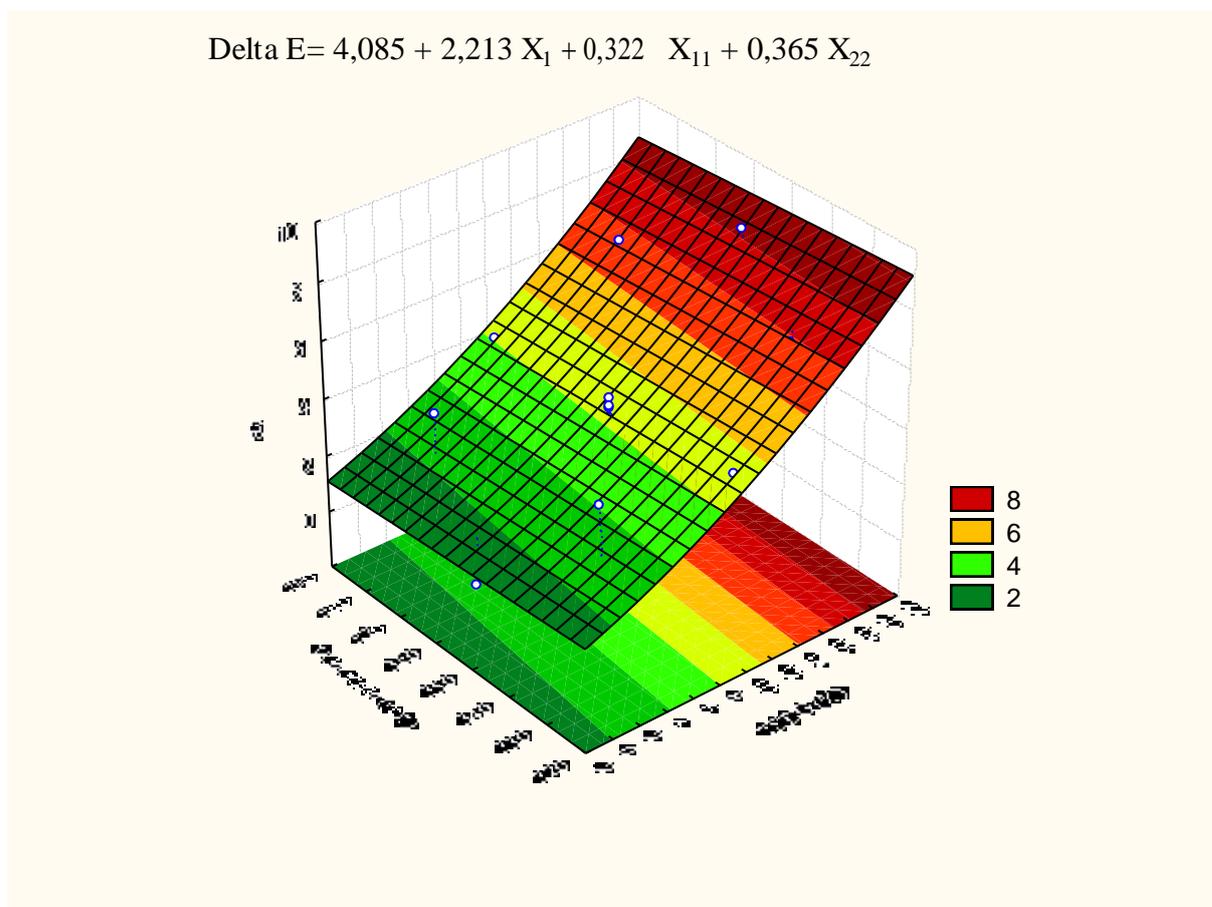


Figura 26 Superfície de resposta para ΔE dos extrudados elaborados na extrusora comercial Inbramaq.

Como pode ser observada na Figura 26 a diferença de cor (ΔE) foi levemente influenciada pela velocidade do parafuso e muito influenciada pelo teor de TSDG. À medida que se adiciona TSDG as amostras vão se distanciando mais do padrão, ou seja, o ΔE vai aumentando. A TSDG é um material muito escuro e teve grande participação na diferenciação da cor das amostras com relação ao padrão dos extrudados obtidos na extrusora Inbramaq. A Figura 27 de Luminosidade revela que as amostras processadas em extrusora comercial têm valores inferiores (difere mais do padrão) que as processadas em extrusora de laboratório.

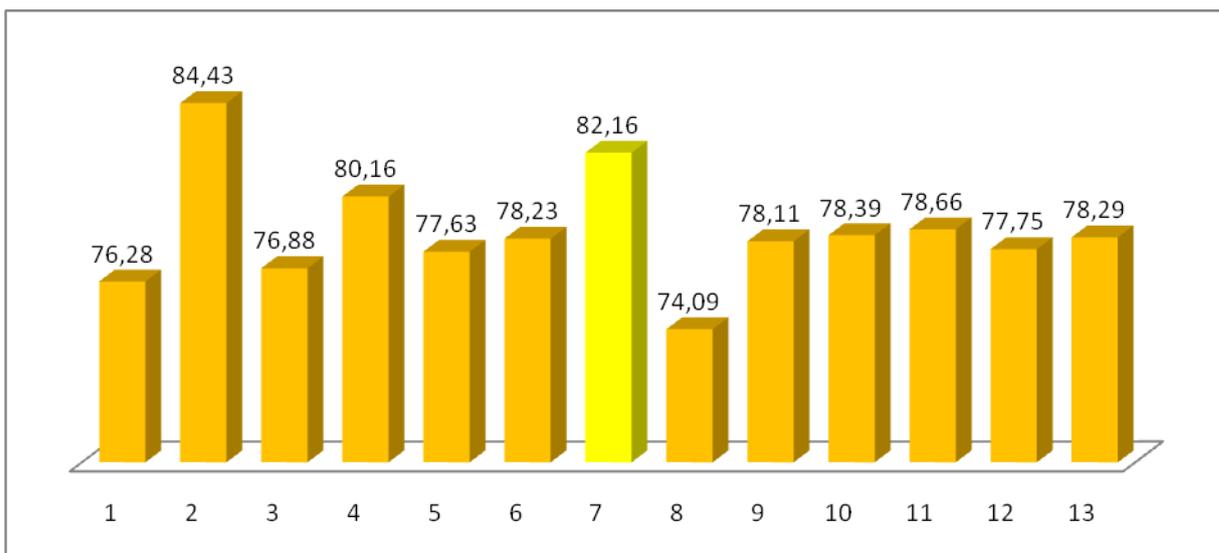


Figura 27 Luminosidade (L^*) das amostras processadas em extrusora comercial.

A amostra padrão (apenas *grits* de milho) teve $L^* = 82$. O tratamento adicionado de 20 % de TSDG (maior teor) é a amostra de maior $\Delta E = 8,348$, ou seja, ela é mais distante do padrão na cor. Possui $L^* = 74,09$ (abaixo do padrão) sendo assim, mais escura. A amostra mais semelhante a amostra padrão é a adicionada de 3 % TSDG e velocidade do parafuso de 378 rpm, com $\Delta E = 3,518$ com $L^* = 80,16$ (abaixo do padrão), ou seja, menor ΔE (diferença da padrão), um pouco mais escura que o padrão.

Os Gráficos das análises de cor com todas as amostras sendo comparadas com o padrão, tanto para as processadas em extrusora de laboratório quanto para as processadas em extrusora comercial estão no anexo C e anexo D.

4.2 Análise das Farinhas Obtidas da Moagem dos Extrudados Expandidos

4.2.1 Densidade Absoluta (DAb) e volume total de poros (VTP) obtidos das farinhas dos extrudados.

Finas partículas desempenham papel essencial na determinação de características de considerável influência sobre processos de dissolução e absorção. Na maioria dos casos, estes efeitos são em função de tamanho, área ou porosidade das partículas individuais ou aglutinação de partículas que devem ser controladas a fim de aperfeiçoar o efeito desejado de controle eficiente requerido (WEBB e ORR, 1997).

Um método para determinação da medição da densidade e porosidade de pós é por picnometria a gás. O gás pode penetrar nos poros mais finos e com isso serão obtidos valores com maior precisão. O gás hélio é mais adequado, uma vez que as pequenas dimensões atômicas asseguram uma penetração entre as cavidades e poros com aproximadamente de 1 Angstrom (MOURA, 2002).

Os resultados da picnometria das farinhas adicionadas de gergelim estão abaixo relacionados (Tabela 39) e a análise de variância (ANOVA) para DAb na Tabela 40.

Tabela 39 Resultados para DAb e VTP das farinhas dos snacks de milho e gergelim grãos na extrusora Brabender.

Tratamentos	Teor de Gergelim (%)	Temperatura (°C)	DAb (g/cm ³)	VTP (cm ³)
1	8,5	109,0	1,4601	0,3151
2	1,5	109,0	1,4855	0,3268
3	8,5	151,0	1,4642	0,3171
4	1,5	151,0	1,4892	0,3285
5	5,0	100,0	1,4763	0,3226
6	5,0	160,0	1,4770	0,3230
7	0,0	130,0	1,4964	0,3318
8	10,0	130,0	1,4589	0,3146
9	5,0	130,0	1,4791	0,3239
10	5,0	130,0	1,4790	0,3239
11	5,0	130,0	1,4762	0,3226
12	5,0	130,0	1,4761	0,3225
13	5,0	130,0	1,4721	0,3207

Tabela 40. Teste F, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrático aplicado a DAb dos extrudados de *grits* de milho adicionados de gergelim grãos processados em máquina Brabender.

Fator	Teste F	P	Coeficiente de Regressão	Estimativa dos efeitos
Intercepto	***	0,00E+00 ***	1,48E+00	1,48E+00
X ₁	1,64E+02	2,14E-04 ***	-1,30E-02	-2,59E-02
X ₁ ²	0,00E+00	9,97E-01 ns	-4,00E-06	-8,00E-06
X ₂	1,18E+00	3,38E-01 ns	1,10E-03	2,20E-03
X ₂ ²	2,28E-01	6,58E-01 ns	-5,19E-04	-1,04E-03
X ₁ X ₂	6,20E-03	9,41E-01 ns	1,12E-04	2,25E-04
Falta de ajuste	7,53E-01	5,76E-01 ns		
R ² : 0,96358				

X₁: teor de gergelim grãos (%)

X₂: temperatura da última zona de aquecimento em (°C)

ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade

*: significativo ao nível de 5%, p ≤ 0,05.

**: significativo ao nível de 1% de probabilidade.

***: significativo ao nível de 0,1% de probabilidade.

Para as farinhas obtidas pela moagem dos extrudados adicionados de gergelim a DAb variou de 1,4589 a 1,4964 g/cm³. A Equação (34) descreve o modelo:

$$DAb = 1,4765 - 0,0129X_1$$

(34)

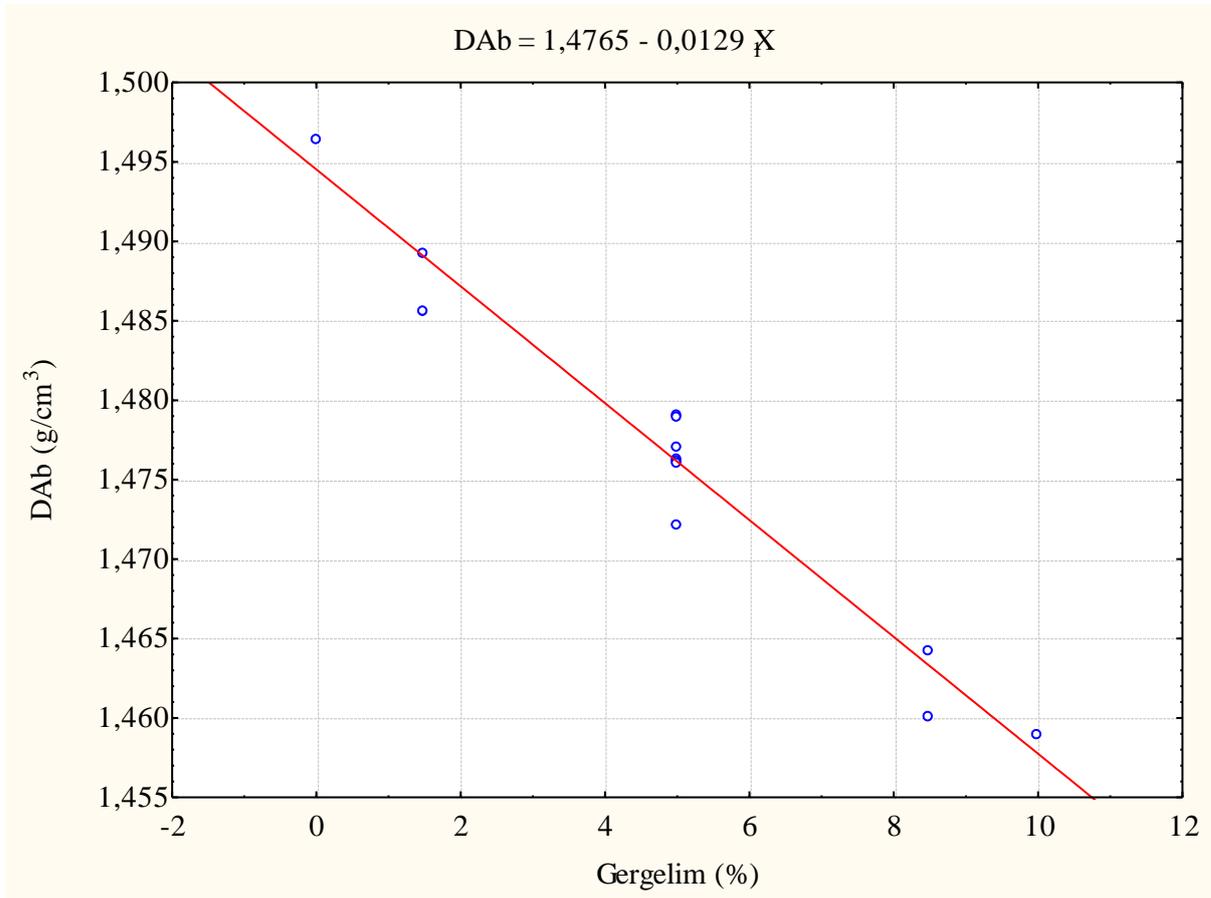


Figura 28 Influência do teor de gergelim sobre a DAb das farinhas obtidas dos extrudados em máquina Brabender.

Como se pode observar na Figura 28, a crescente adição de gergelim grãos reduziu a DAb das farinhas obtidas da moagem dos extrudados expandidos produzidos na extrusora de laboratório Brabender. Esta redução da densidade pode ser atribuída ao aumento em sua composição da fração oleosa, de menor densidade do que a fração amilácea. Esta redução se torna expressiva a medida que o teor de gergelim, o qual tem aproximadamente 50% de fração oleosa na formulação processada. Além do teor de amido, porém em menor grau, a fibra presente nos grãos de gergelim (6,3%) também pode ter contribuído para reduzir a densidade absoluta da farinha.

A relação entre os espaços vazios no interior do recipiente que contém a amostra com o VTP abertos do material é o VTP da amostra em pó. O resultado da análise de variância (ANOVA) está descrito na Tabela 41.

Tabela 41. Teste F, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrático aplicado a VTP dos extrudados de *grits* de milho adicionados de TSDG processados em máquina Brabender.

Fator	Teste F	P	Coeficiente de Regressão	Estimativa dos efeitos
Intercepto	***	0,00E+00 ***	3,23E-01	3,23E-01
X ₁	1,63E+02	2,17E-04 ***	-5,94E-03	-1,19E-02
X ₁ ²	7,00E-03	9,37E-01 ns	-4,20E-05	-8,40E-05
X ₂	1,25E+00	3,27E-01 ns	5,19E-04	1,04E-03
X ₂ ²	2,12E-01	6,69E-01 ns	-2,31E-04	-4,61E-04
X ₁ X ₂	9,00E-03	9,29E-01 ns	6,20E-05	1,25E-04
Falta de ajuste	7,42E-01	5,80E-01 ns		
R ² : 0,96354				

X₁: teor de gergelim grãos (%)

X₂: temperatura da última zona de aquecimento em (°C)

ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade

*: significativo ao nível de 5%, $p \leq 0,05$.

**: significativo ao nível de 1% de probabilidade.

***: significativo ao nível de 0,1% de probabilidade.

O VTP das farinhas adicionadas de gergelim variaram de 0,3146 a 0,3318 g/cm³ e a Equação 35 descreve o modelo:

$$\text{VTP} = 0,322723 - 0,005937X_1 \quad (35)$$

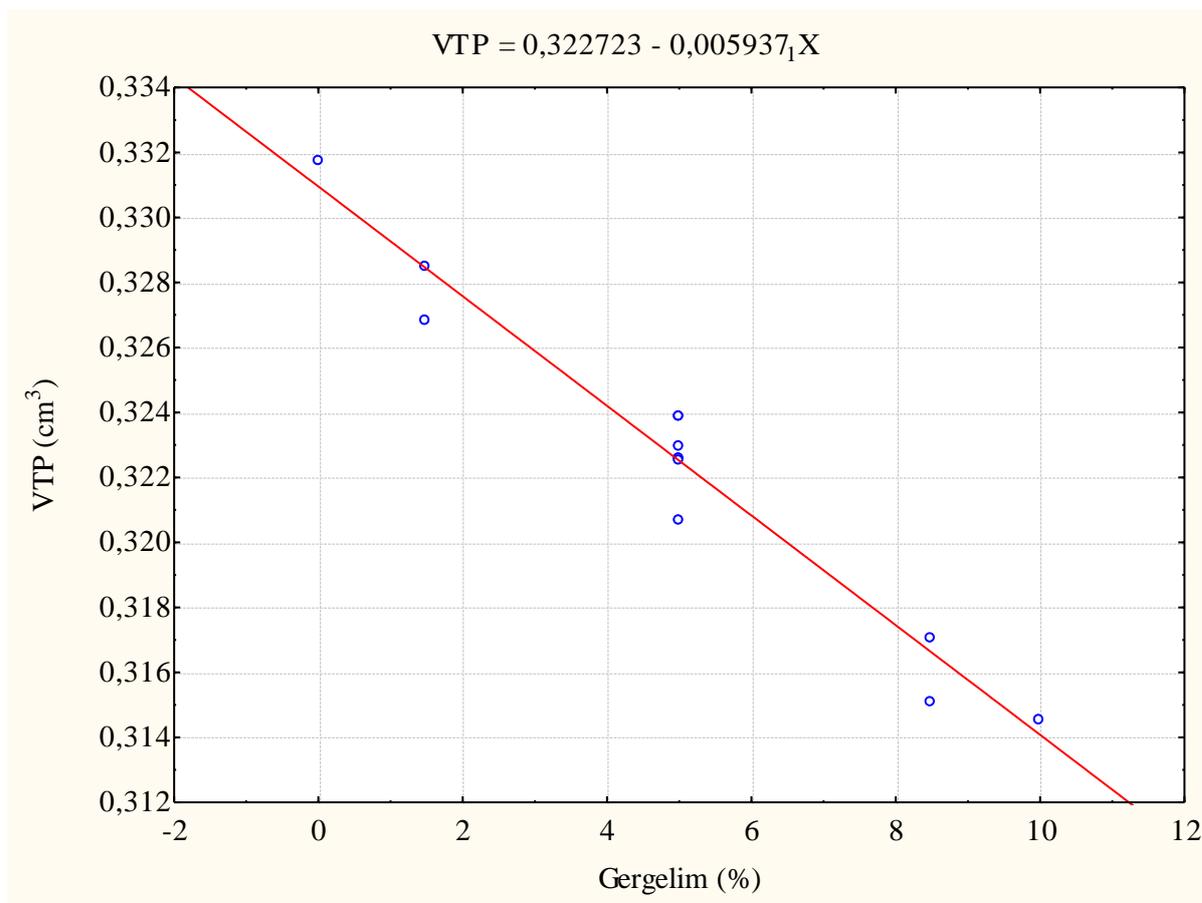


Figura 29 Influência da adição de gergelim sobre o VTP das farinhas obtidas dos extrudados em máquina Brabender.

A adição de gergelim diminuiu o VTP conforme se observa através da Figura 29. O gergelim contém muita fibra e conforme o estudo de Yanniotis (2006) observando os efeitos da adição de fibra e pectina sobre a porosidade dos extrudados, concluiu que a fibra decresceu a porosidade e a pectina aumentou. Ele diz que a fibra provavelmente causou ruptura prematura das células internas dos extrudados e reduziu a expansão e a porosidade. Por outro lado, observou que a pectina reduz a fratura da parede celular aumentando seu poder de extensibilidade.

No trabalho de Thymi, (2004) a porosidade diminui à medida que é incorporado material na matéria-prima.

Ao trabalhar adicionando TSDG, as farinhas dos snacks tiveram o mesmo comportamento com relação a DAb e VTP das farinhas adicionadas de gergelim. Na (Tabela 42) se encontram os resultados para DAb e VTP.

Tabela 42 Densidade Absoluta e Volume Total de Poros das farinhas dos snacks de milho e TSDG na extrusora Inbramaq .

Tratamentos	Teor de TSDG (%)	Rotação do parafuso (rpm)	Densidade Absoluta (g/cm ³)	Volume Total de Poros (cm ³)
1	17,07	333,33	1,4576	0,3140
2	2,93	333,33	1,4934	0,3304
3	17,07	377,77	1,4582	0,3143
4	2,93	377,77	1,4819	0,3252
5	10,00	324,13	1,4741	0,3216
6	10,00	386,97	1,4692	0,3194
7	0,00	355,55	1,4831	0,3258
8	20,00	355,55	1,4490	0,3099
9	10,00	355,55	1,4723	0,3208
10	10,00	355,55	1,4689	0,3192
11	10,00	355,55	1,4701	0,3198
12	10,00	355,55	1,4654	0,3176
13	10,00	355,55	1,4705	0,3200

A densidade absoluta das farinhas adicionadas de TSDG variaram de 1,4490 a 1,4934 g/cm³ e a análise de variância (ANOVA) para os resultados (Tabela 43).

Tabela 43. Teste F, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrático aplicado a DAb dos extrudados de grits de milho adicionados de gergelim grãos processados em máquina Inbramaq.

Fator	Teste F	P	Coeficiente de Regressão	Estimativa dos efeitos
Intercepto	****	0,00E+00 ***	1,47E+00	1,47E+00
X ₁	2,20E+02	1,20E-04 ***	-1,35E-02	-2,70E-02
X ₁ ²	5,31E-01	5,06E-01 ns	-7,12E-04	-1,43E-03
X ₂	6,04E+00	6,99E-02 ns	-2,23E-03	-4,47E-03
X ₂ ²	4,64E+00	9,76E-02 ns	2,10E-03	4,21E-03
X ₁ X ₂	5,56E+00	7,79E-02 ns	3,03E-03	6,05E-03
Falta de ajuste	2,43E+00	2,05E-01 ns		
R ² : 0,95592				

X₁: teor de TSDG (%)

X₂: velocidade do parafuso (rpm)

ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade

*: significativo ao nível de 5%, p ≤ 0,05.

**: significativo ao nível de 1% de probabilidade.

***: significativo ao nível de 0,1% de probabilidade.

O DAb das farinhas adicionadas de TSDG variaram de 1,4490 a 1,4934 g/cm³ e a Equação 36 descreve o modelo:

$$DAb = 1,4694 - 0,0134X_1 \quad (36)$$

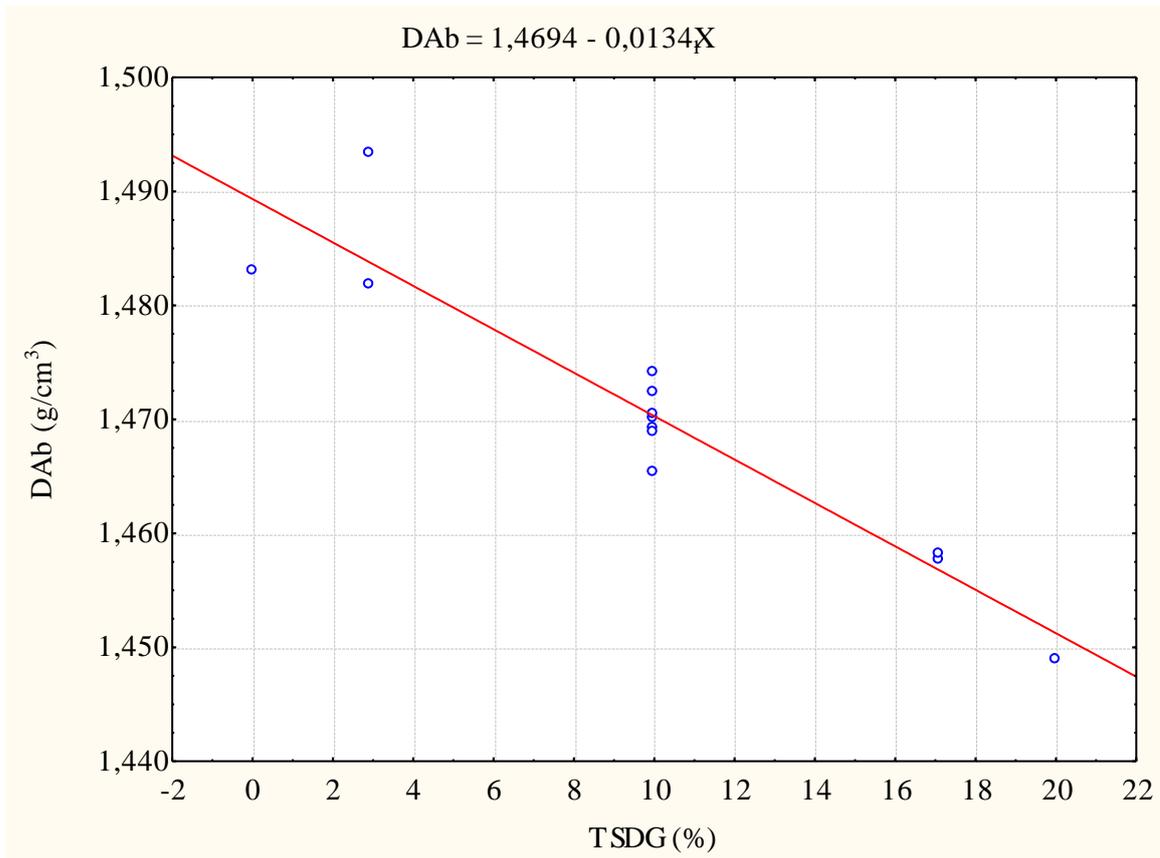


Figura 30 Influência da adição de TSDG em farinha de milho obtido da moagem de extrudados expandidos produzidos em extrusora comercial Inbramaq sobre a DAb das farinhas.

A densidade absoluta das farinhas dos extrudados de milho adicionados de TSDG foi reduzida como se pode verificar (Figura 30) com o efeito da adição de fibra ao se aumentar o teor de TSDG. Mas não foi afetada com a variação da velocidade de rotação do parafuso. Similar efeito foi observado nos extrudados produzidos na extrusora Brabender adicionados com grãos de gergelim. Os valores experimentais quanto à adição de grãos de gergelim e TSDG evidenciam, como esperado, que a farinha produzida na extrusora comercial apresentou menor densidade absoluta, o que pode ser atribuído ao maior regime de cisalhamento imposto nesta extrusora.

A Tabela 44 representa os valores da análise de variância (ANOVA) da variável resposta VTP.

Tabela 44 Teste F, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrático aplicado a (VTP) dos extrudados de grãos de milho adicionados de TSDG processados em máquina Inbramaq.

Fator	Teste F	P	Coeficiente de Regressão	Estimativa dos efeitos
Intercepto	***	0,00E+00***	3,19E-01	3,19E-01
X ₁	2,16E+02	1,24E-04 ***	-6,23E-03	-1,25E-02
X ₁ ²	6,40E-01	4,68E-01 ns	-3,65E-04	-7,29E-04
X ₂	5,61E+00	7,70E-02 ns	-1,00E-03	-2,01E-03
X ₂ ²	4,52E+00	1,01E-01 ns	9,68E-04	1,94E-03
X ₁ X ₂	5,28E+00	8,31E-02 ns	1,38E-03	2,75E-03
Falta de ajuste	2,25E+00	2,25E-01 ns		

R²: 0,95592

X₁: teor de TSDG (%)

X₂: velocidade do parafuso (rpm)

ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade

*: significativo ao nível de 5%, p ≤ 0,05.

**: significativo ao nível de 1% de probabilidade.

***: significativo ao nível de 0,1% de probabilidade.

Para as farinhas adicionadas de TSDG a variação do VTP foi de 0,3099 a 0,3304 g/cm³ e a Equação 37 representa o modelo ajustado:

$$\text{VTP} = 0,3194 - 0,0062 X_1 \quad (37)$$

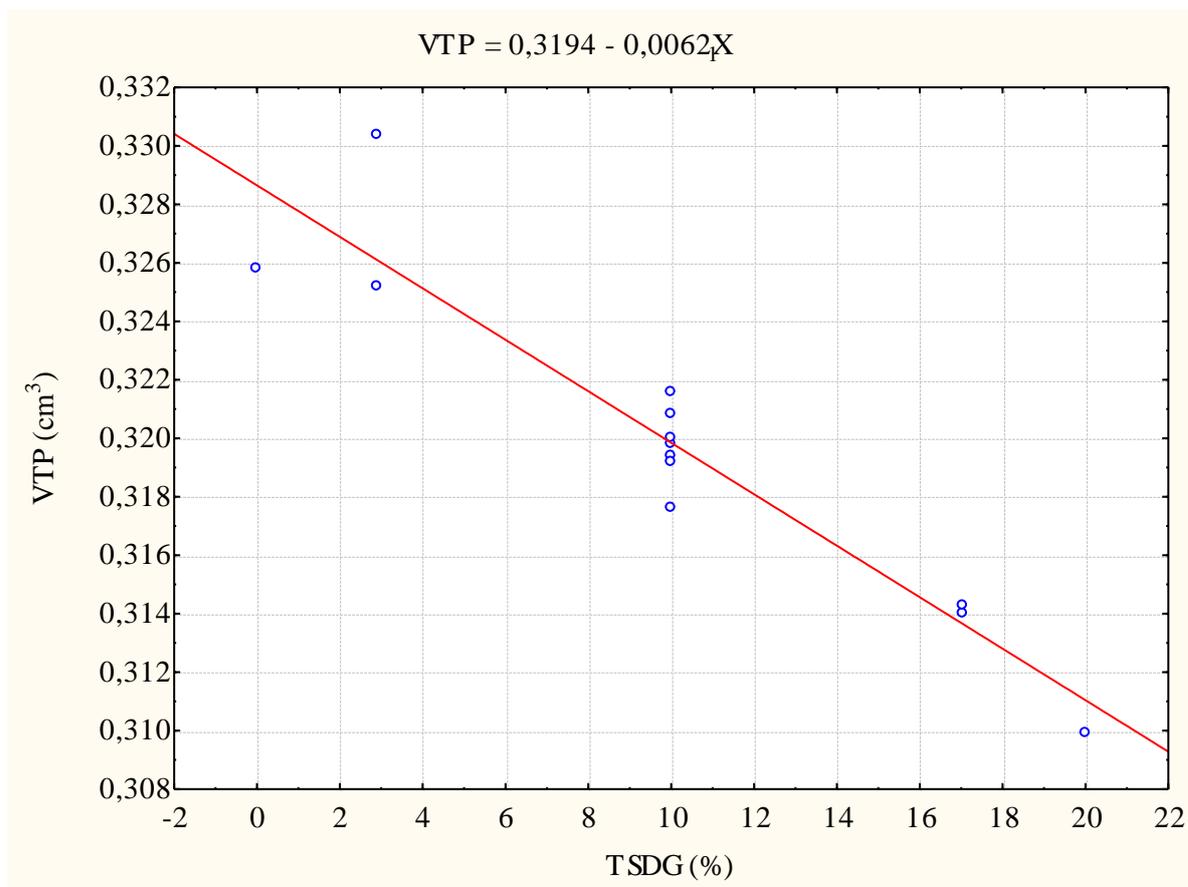


Figura 31 Influência da adição de TSDG sobre o Volume total de Poros das farinhas obtidas da moagem dos snacks.

Observa-se que o aumento da adição de TSDG resultou na redução do volume total de poros (Figura 31). A dissolução da água entre os espaços vazios e entre os poros das farinhas extrudadas se faz com maior dificuldade quando esses poros totais são menores (YANNIOTIS et al., 2006). Sendo assim, quanto maior porosidade, maior será a facilidade da entrada das moléculas de água causando aumento da absorção e da solubilização do material.

A densidade absoluta e o volume de poros dos produtos industrializados de mercado da marca A e B estão na Tabela 45.

Tabela 45 Densidade absoluta e volume total de poros dos produtos comerciais A e B.

	Densidade absoluta	Volume Total de Poros
Comercial A	1,3000	0,2308
Comercial B	1,2714	0,2135

Os valores de densidade absoluta e do volume total de poros das farinhas dos extrudados comerciais são menores que as farinhas de extrudados de milho com gergelim

grãos e com TSDG. Isso revela que as farinhas dos produtos comerciais, mesmo sendo menos densas, são mais compactadas, observado pelos resultados reduzidos do volume de poros.

4.2.2 Viscosidade das farinhas obtidas dos extrudados

A viscosidade inicial a 25°C que também é chamada de viscosidade de pasta a frio indica a capacidade das farinhas de absorver água à temperatura ambiente e formar gel ou líquido viscoso.

A viscosidade a quente (95°C) está diretamente relacionada com o nível de degradação sofrido pelo grânulo de amido. Quando a estrutura do grânulo é destruída, ele perde sua capacidade de inchar quando aquecido em água e, conseqüentemente, apresenta baixa viscosidade a quente (GROSSMANN, 1996).

As Figuras 32 e 33 mostram, respectivamente, o perfil de viscosidade de pasta da farinha de *grits* de milho (moído e peneirado na faixa de granulometria retida entre as peneiras 106 e 212 μm), e o perfil de viscosidade de pasta da farinha do extrudado de milho adicionado de 17% de TSDG, com umidade de pré-extrusão de 15%, e velocidade de rotação do parafuso 333 rpm processado na extrusora comercial Inbramaq, com os demais parâmetros de extrusão fixados conforme item 3.3.1.

Porém, se os tratamentos não são tão severos, determinada porcentagem de grânulos de amido pode ter conservado parte da estrutura amilácea. Nessa condição, observam-se valores relativamente altos de viscosidade de pasta, pois há maior número de grânulos em condição de intumescimento. Esse fato costuma acontecer em produtos de terceira geração como os pellets, onde se trabalha com alta umidade e baixa temperatura (CARVALHO e MITCHELL, 2001).

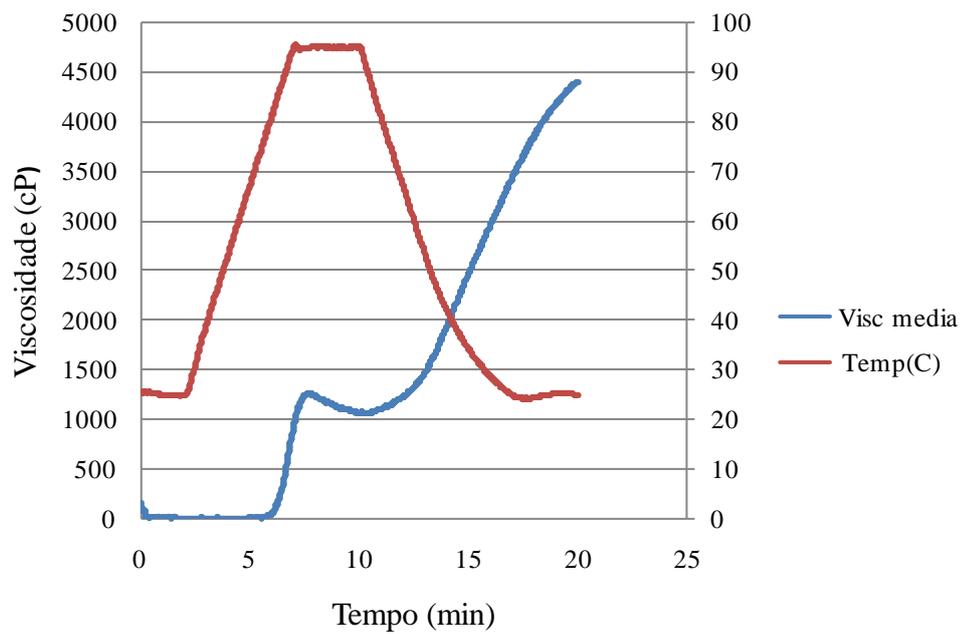


Figura 32 Perfil de viscosidade de pasta do grits de milho comercial moído (fração granulométrica analisada entre 106 e 212 μm).

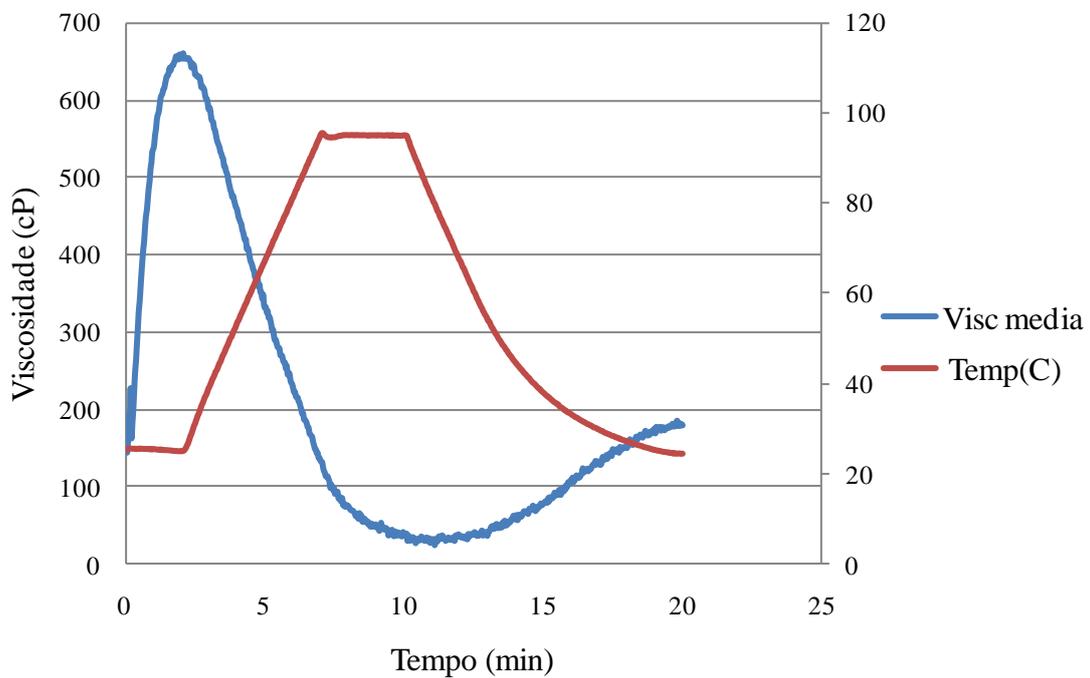


Figura 33 Perfil de viscosidade de pasta da farinha obtida da moagem do extrudado expandido de milho adicionado de 17% de TSDG, produzido na extrusora comercial Inbramaq na velocidade do parafuso de 333 rpm.

Quanto às leituras das curvas do perfil de viscosidade, *breakdown*, ou quebra de viscosidade, é a diferença entre o valor correspondente ao pico máximo de viscosidade no regime de aquecimento e o valor de viscosidade mínima no ciclo de resfriamento. O resultado desta leitura indica o potencial das forças de manutenção da integridade dos grânulos de amido. Outra importante leitura é o *setback*, também conhecido como retrogradação, é a diferença entre a viscosidade final e a viscosidade mínima. Este resultado indica a interação das forças de rearranjo molecular essencialmente observado nas moléculas de amilose. Em produtos extrudados esse valor vai depender das modificações que ocorreram nas estruturas do grânulo e das moléculas de amido (DING et al., 2005).

Os resultados das análises de viscosidade das farinhas dos extrudados adicionados de grãos gergelim obtidos na extrusora de laboratório Brabender, estão apresentados na Tabela 46.

Tabela 46 Resultados de Viscosidade da farinha dos snacks de grits de milho e gergelim grãos em extrusora Brabender.

Tratamentos	Teor de Gergelim (%)	Temperatura (°C)	Viscosidade à 25°C (cP)	Viscosidade à 95°C (cP)	Breakdown (cP)	Setback (cP)
1	8,5	109	558,5	125,5	72,5	180,5
2	1,5	109	664,5	266,5	104,0	345,5
3	8,5	151	559,0	72,0	56,0	167,0
4	1,5	151	708,5	175,5	71,5	262,9
5	5,0	100	647,0	215,0	102,0	267,0
6	5,0	160	700,0	210,5	145,0	236,0
7	0,0	130	124,5	23,5	22,5	66,5
8	10,0	130	399,0	87,5	75,5	107,5
*9	5,0	130	769,5	269,5	171,0	264,5
10	5,0	130	898,5	225,0	151,0	254,0
*11	5,0	130	541,5	202,0	134,0	72,5
12	5,0	130	999,5	123,5	106,5	223,0
13	5,0	130	950,0	133,0	108,5	217,0

*Os tratamentos 9 e 11 não foram utilizados para a análise estatística, pois apresentaram muita discrepância em relação aos outros pontos centrais

A Tabela 47 representa os valores da análise de variância (ANOVA) da variável resposta viscosidade à frio (25°C). As outras variáveis de viscosidade não foram estatisticamente significativas.

Tabela 47. Teste F, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrático aplicado a Viscosidade à frio (25°C) dos extrudados de *grits* de milho adicionados de gergelim grãos processados em máquina Brabender.

Fator	Teste F	P	Coeficiente de Regressão	Estimativa dos efeitos
Intercepto	***	9,43E-04 ***	9,49E+02	9,49E+02
X ₁	8,51E-01	4,54E-01 ns	1,65E+01	3,30E+01
X ₁ ²	2,05E+02	4,83E-03 **	-3,06E+02	-6,12E+02
X ₂	6,99E-01	4,91E-01 ns	1,49E+01	2,99E+01
X ₂ ²	2,14E+01	4,37E-02 *	-9,87E+01	-1,97E+02
X ₁ X ₂	1,86E-01	7,09E-01 ns	-1,09E+01	-2,18E+01
Falta de ajuste	1,33E+01	7,09E-02 ns		

R²: 0,83227

X₁: teor de gergelim grãos (%)

X₂: temperatura da última zona de aquecimento (°C)

ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade

*: significativo ao nível de 5%, p ≤ 0,05.

**: significativo ao nível de 1% de probabilidade.

***: significativo ao nível de 0,1% de probabilidade.

Para os tratamentos com adição de gergelim grãos, a viscosidade à frio (25°C) variou de 124,5 a 999,5 cP e a Equação 38 representa o modelo matemático:

$$\text{Visc. } 25^{\circ}\text{C} = 948,707 - 305,829 X_{11} - 98,722 X_{22} \quad (38)$$

$$\text{Viscosidade à } 25^{\circ}\text{C} = 948,707 - 305,829 X_{11} - 98,722 X_{22}$$

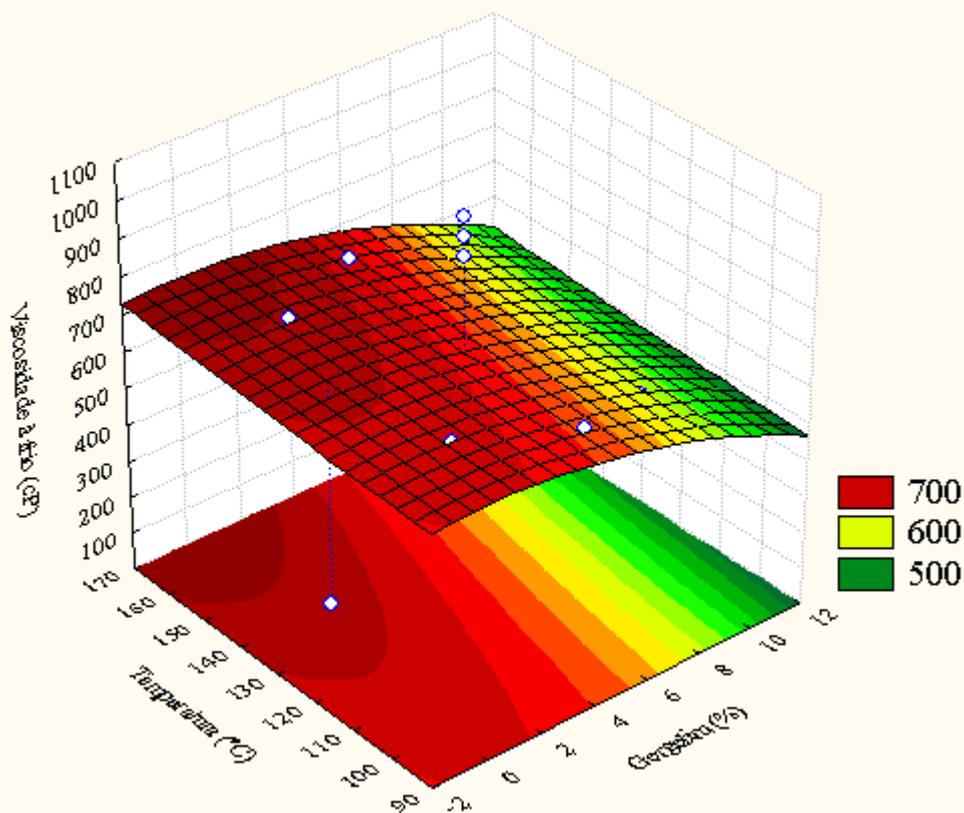


Figura 34 Viscosidade à frio (25°C) das farinhas obtidas dos expandidos adicionados de gergelim em extrusora Brabender.

O efeito da temperatura de aquecimento da terceira zona da extrusora de laboratório foi um fator de transformação do material amiláceo. Para os extrudados obtidos na extrusora Brabender, os maiores valores de viscosidade de pasta no início do ciclo de aquecimento, viscosidade a frio, foram obtidos em condição de temperaturas altas e com baixos níveis de gergelim grãos (Figura 34). Esta observação poderia ser atribuída ao efeito da temperatura associada ao cisalhamento, embora este efeito não fosse quantificado. Uma vez que o teor de umidade de mistura foi baixa e constante para todos os tratamentos, o aumento do teor de grãos de gergelim, por conter expressiva quantidade de óleo e fibra, reduziu a expansão e, concomitantemente, reduziu o efeito combinado do cisalhamento e temperatura sobre a fração amilácea. Similar resultado também fora observado no clássico trabalho de El-Dash et al. (1982) para extrudados expandidos de milho. Estes autores relataram que ao aumentar a temperatura durante a extrusão, maior foi a viscosidade de pasta a frio. O acréscimo de gergelim na composição da matéria-prima afetou a viscosidade de forma inversa, ou seja, quanto mais gergelim foi adicionado à mistura, menor foi viscosidade de pasta a frio. Sendo a composição do gergelim de 48% de óleo, 18% de proteínas e 33% de carboidratos totais, a sua contribuição por efeito de diluição bem como redução da massa molar do material extruído, resultou em redução do efeito de quebra molecular da fração amilácea.

Os resultados das análises de viscosidade das farinhas dos extrudados adicionados de TSDG obtidos na extrusora comercial estão apresentados na Tabela 48.

Tabela 48 Resultados de Viscosidade da farinha dos snacks de *grits* de milho e adição de TSDG em extrusora Inbramaq.

Tratamentos	Teor de Gergelim (%)	Temperatura (°C)	Viscosidade à 25°C (cP)	Viscosidade à 95°C (cP)	Breakdown (cP)	Setback (cP)
1	17,07	333,33	661,5	135,0	109,5	155,0
2	2,93	333,33	932,0	238,0	138,5	288,5
3	17,07	377,77	581,5	99,5	87,5	136,0
4	2,93	377,77	698,0	203,5	105,0	252,0
5	10,00	324,13	592,5	272,5	158,0	259,5
6	10,00	386,97	726,0	211,0	127,5	212,5
7	0,00	355,55	574,5	63,0	42,5	132,5
8	20,00	355,55	514,0	83,5	71,5	45,5
9	10,00	355,55	733,0	221,5	143,5	222,5
10	10,00	355,55	772,5	226,0	144,5	236,5
11	10,00	355,55	768,5	192,0	130,0	231,5
12	10,00	355,55	898,0	135,5	108,0	203,0
13	10,00	355,55	866,0	166,5	106,5	211,0

A Tabela 49 representa os valores da análise de variância (ANOVA) da variável resposta viscosidade à 95°C (cP).

Tabela 49. Teste F, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrático aplicado a Viscosidade à 95°C (cP) dos extrudados de *grits* de milho adicionados de TSDG processados em máquina Inbramaq.

Fator	Teste F	P	Coeficiente de Regressão	Estimativa dos efeitos
Intercepto	***	3,81E-04 ***	1,88E+02	1,88E+02
X ₁	2,74E+00	1,73E-01 ns	-2,23E+ 01	-4,47E+01
X ₁ ²	1,43E+01	1,93E-02 *	-5,49E+ 01	-1,10E+02
X ₂	2,12E+00	2,19E-01 ns	-1,96E+ 01	-3,93E+01
X ₂ ²	4,23E+00	1,09E-01 ns	2,98E+01	5,97E+01
X ₁ X ₂	1,70E-04	9,90E-01 ns	-2,50E - 01	-5,00E-01
Falta de ajuste	1,67E+00	3,10E-01 ns		
R ² : 0,74112				

X₁: teor de TSDG (%)

X₂: velocidade do parafuso (rpm)

ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade

*: significativo ao nível de 5%, p ≤ 0,05.

**: significativo ao nível de 1% de probabilidade.

***: significativo ao nível de 0,1% de probabilidade.

A viscosidade à 95°C variou de 63,0 a 272,5 cP e a Equação 39 descreve o modelo:

$$\text{Visc. } 95^{\circ}\text{C} = 188,2722 - 54,9169 X_{11} \quad (39)$$

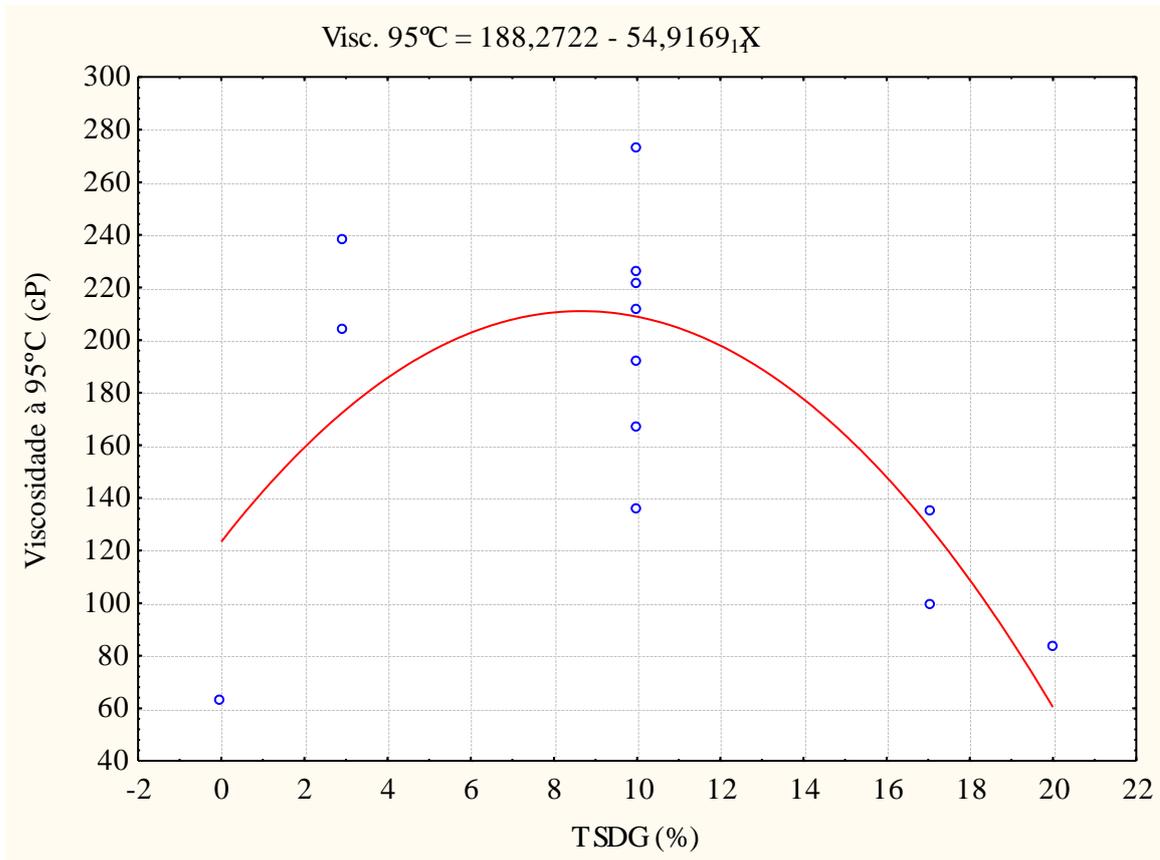


Figura 35 Efeito quadrático da TSDG sobre a viscosidade a 95°C

Para os extrudados em máquina Inbramaq, a viscosidade a 95°C foi significativa no seu efeito quadrático da adição de TSDG (Gráfico 10). A adição de TSDG até valores médios (10%) aumenta a viscosidade a quente, mas ultrapassando esses valores a viscosidade a quente diminui, ou seja, à medida que é incorporado o material que possui muita proteína e fibras, o comportamento de gelatinização dentro do extrusor diminui e por isso, aumenta a gelatinização a quente no viscoamilógrafo, pois muitos grânulos ficam intactos.

Brennan et al (2008) observou que a propriedade de pasta dos extrudados foi afetada pela inclusão de fibras na receita. Os valores de viscosidade a quente aumentaram à medida que aumentou a concentração de fibra, assim como nesse trabalho.

A quebra de viscosidade (*breakdown*) variou de 42,5 a 158,0 cP e apenas a influência da adição de TSDG foi estatisticamente significativa. A Tabela 50 representa os valores da análise de variância (ANOVA) da variável resposta *Breakdown* (cP).

Tabela 50. Teste F, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrático aplicado a *Breakdown* (cP) dos extrudados de *grits* de milho adicionados de TSDG processados em máquina Inbramaq.

Fator	Teste F	P	Coeficiente de Regressão	Estimativa dos efeitos
Intercepto	-	1,07E-04 ***	1,26E+02	1,26E+02
X ₁	1,15E-02	9,20E-01 ns	-7,03E-01	-1,41E+00
X ₁ ²	2,11E+01	1,01E-02 *	-3,23E+01	-6,47E+01
X ₂	3,56E+00	1,32E-01 ns	-1,23E+01	-2,47E+01
X ₂ ²	2,35E+00	2,00E-01 ns	1,08E+01	2,16E+01
X ₁ X ₂	9,67E-02	7,71E-01 ns	2,88E+00	5,75E+00
Falta de ajuste	1,16E+00	4,28E-01 ns		

R²: 0,79664

X₁: teor de TSDG (%)

X₂: velocidade do parafuso (rpm)

ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade

*: significativo ao nível de 5%, p ≤ 0,05.

**: significativo ao nível de 1% de probabilidade.

***: significativo ao nível de 0,1% de probabilidade.

A quebra de viscosidade (breackdown) variou de 42,5 a 158,0 cP e a Equação 40 descreve o modelo matemático:

$$Breakdown = 126,4752 - 32,3277 X_{11} \quad (40)$$

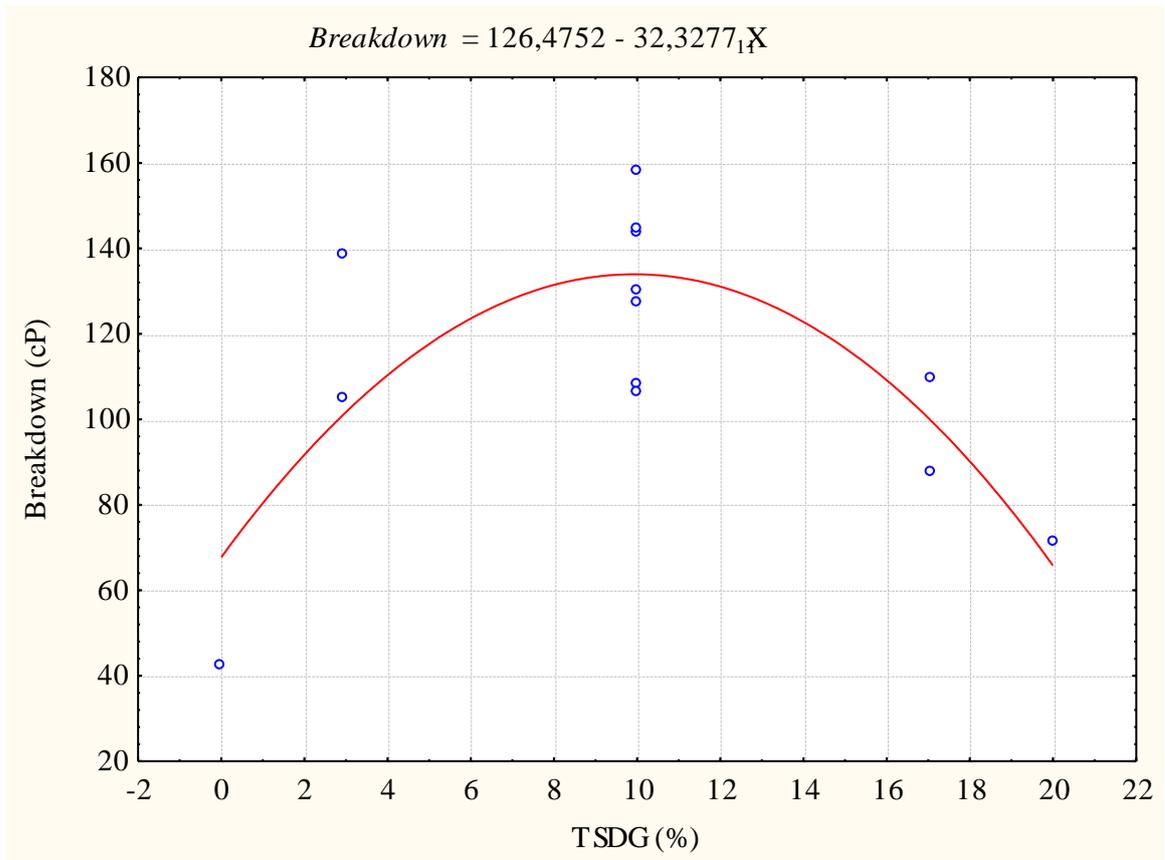


Figura 36 Efeito quadrático da TSDG sobre a *Breakdown*.

A viscosidade *Breakdown* aumenta em níveis médios de TSDG, ou seja, ao adicionar 10% de torta. Menores e maiores teores que 10% diminuem a quebra de viscosidade.

O valor de viscosidade de retrogradação (*setback*) variou de 45,5 a 288,5 cP e a Tabela 51 contém os valores da análise de variância (ANOVA) da variável resposta *Setback* (cP).

Tabela 51. Teste F, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrático aplicado a *Setback* (cP) dos extrudados de grits de milho adicionados de TSDG processados em máquina Inbramaq.

Fator	Teste F	P	Coeficiente de Regressão	Estimativa dos efeitos
Intercepto	-	4,00E-06 ***	2,21E+02	2,21E+02
X ₁	8,94E+01	6,97E-04 ***	-4,67E+01	-4,67E+01
X ₁ ²	1,07E+02	4,96E-04 ***	-5,48E+01	-5,48E+01
X ₂	9,57E+00	3,64E-02 *	-1,53E+01	-1,53E+01
X ₂ ²	1,30E+01	2,26E-02 *	1,91E+01	1,91E+01
X ₁ X ₂	3,94E-01	5,64E-01 ns	4,38E+00	4,38E+00
Falta de ajuste	1,06E+01	2,27E-02 *		
R ² : 0,86602				

X₁: teor de TSDG (%)

X₂: velocidade do parafuso (rpm)

ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade

*: significativo ao nível de 5%, $p \leq 0,05$.

**: significativo ao nível de 1% de probabilidade.

***: significativo ao nível de 0,1% de probabilidade.

A retrogradação (*setback*) variou de 45,5 a 288,5 cP e a Equação 41 descreve o modelo matemático:

$$\text{Setback} = 220,7912 - 46,6601 X_1 - 54,7908 X_{11} - 15,2667 X_2 + 19,1491 X_{22} \quad (41)$$

$$\text{Setback} = 220,7912 - 46,6601 X_1 - 54,7908 X_{11} - 15,2667 X_2 + 19,1491 X_{22}$$

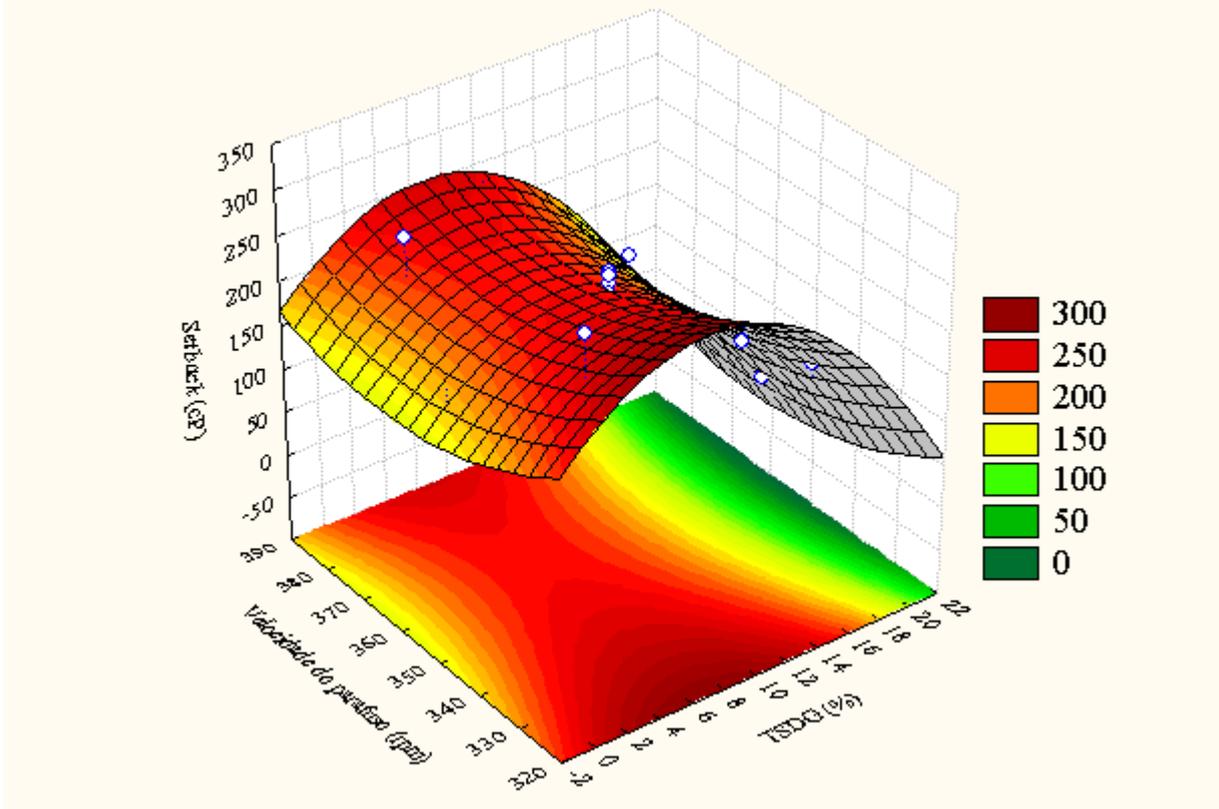


Figura 37 Efeito da rotação do parafuso e da adição de TSDG sobre a *Setback*

A Figura 37 mostra o efeito da velocidade do parafuso e a adição de TSDG sobre a retrogradação (*setback*) das farinhas no viscoamilógrafo. Em baixa velocidade do parafuso e níveis de TSDG entre 6 e 10% obtém-se maior retrogradação das moléculas de amilose no viscoamilógrafo. O aumento do teor de TSDG com velocidades de parafuso média faz com que a retrogradação das farinhas abaixe consideravelmente, mantendo assim a viscosidade do produto ao se esfriar.

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

O IAA indica a quantidade de água absorvida pelos grânulos de amido de uma determinada amostra submetida a um tratamento térmico, ou seja, o quanto de gel é formado por grama de base seca. O ISA indica a severidade do tratamento térmico e a conseqüente desramificação da estrutura amilácea, ou seja, à medida que o aquecimento e o cisalhamento continuam, os grânulos de amido começam a se romper e a entrar em colapso, resultando em aumento no teor de sólidos solúveis.

As principais propriedades funcionais do amido extrudado quando disperso em água são a absorção e a solubilidade. De acordo com Carvalho, Ascheri e Cal-Vidal (2002) alterações no índice de absorção e índice de solubilidade em água podem ser interpretadas com base nas interações de amido-água que governam a estrutura da fase sólida no

processamento de extrusão do amido. Durante a extrusão-cocção, a estrutura cristalina organizada dos grânulos de amido é destruída de modo parcial ou total, dependendo da proporção amilose-amilopectina e das variáveis de extrusão (COLONNA et al, 1987). O aumento da solubilidade com a gelatinização é a base para a produção de alimentos amiláceos instantâneos, ou seja, de rápido preparo. Um dos produtos que deriva de misturas similares é a sopa cremosa instantânea, (ASCHERI et al, 2004).

O ISA variou de 14,99 a 20,97% e o IAA variou de 6,15 a 7,07 g gel/g matéria seca para os tratamentos com adição de gergelim grãos conforme Tabela 52.

Tabela 52 Resultados de ISA e IAA da farinha dos snacks de grits de milho e gergelim grãos em extrusora Brabender.

Tratamentos	Teor de Gergelim (%)	Temperatura (°C)	ISA (%)	IAA (g gel/g matéria seca)
1	8,5	109	20,97	6,15
2	1,5	109	21,38	6,80
3	8,5	151	17,08	5,51
4	1,5	151	17,80	7,07
5	5,0	100	16,52	6,83
6	5,0	160	18,11	6,75
7	0,0	130	17,35	6,73
8	10,0	130	14,99	5,59
9	5,0	130	19,88	6,17
10	5,0	130	16,81	6,59
11	5,0	130	20,85	6,54
12	5,0	130	19,07	6,65
13	5,0	130	19,49	6,53

A Tabela 53 representa os valores da análise de variância (ANOVA) da variável resposta índice de absorção de água (IAA). O modelo de regressão obtido para o parâmetro ISA não foi significativo ($p > 0,10$).

Tabela 53. Teste F, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrático aplicado a Viscosidade à frio (25°C) dos extrudados de grits de milho adicionados de gergelim grãos processados em máquina Brabender.

Fator	Teste F	P	Coeficiente de Regressão	Estimativa dos efeitos
Intercepto	-	0,00E+00 ***	6,50E+00	6,50E+00
X ₁	5,15E+01	2,00E-03 **	-4,79E-01	-9,57E-01
X ₁ ²	7,19E+00	5,51E-02 ns	-1,92E-01	-3,85E-01
X ₂	8,24E-01	4,15E-01 ns	-6,05E-02	-1,21E-01
X ₂ ²	3,02E+00	1,57E-01 ns	1,25E-01	2,49E-01
X ₁ X ₂	5,83E+00	7,31E-02 ns	-2,28E-01	-4,55E-01
Falta de ajuste	6,48E- 01	6,24E-01 ns		
R ² : 0,92145				

X₁: teor de gergelim grãos (%)

X₂: temperatura da última zona de aquecimento em (°C)

ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade

*: significativo ao nível de 5%, $p \leq 0,05$.

**: significativo ao nível de 1% de probabilidade.

***: significativo ao nível de 0,1% de probabilidade.

A maior resposta obtida experimentalmente foi encontrada em níveis de gergelim a 1,5% em extrusora Brabender. A Equação 42 descreve o modelo matemático:

$$IAA = 6,4962 - 0,4786 X_1 \quad (42)$$

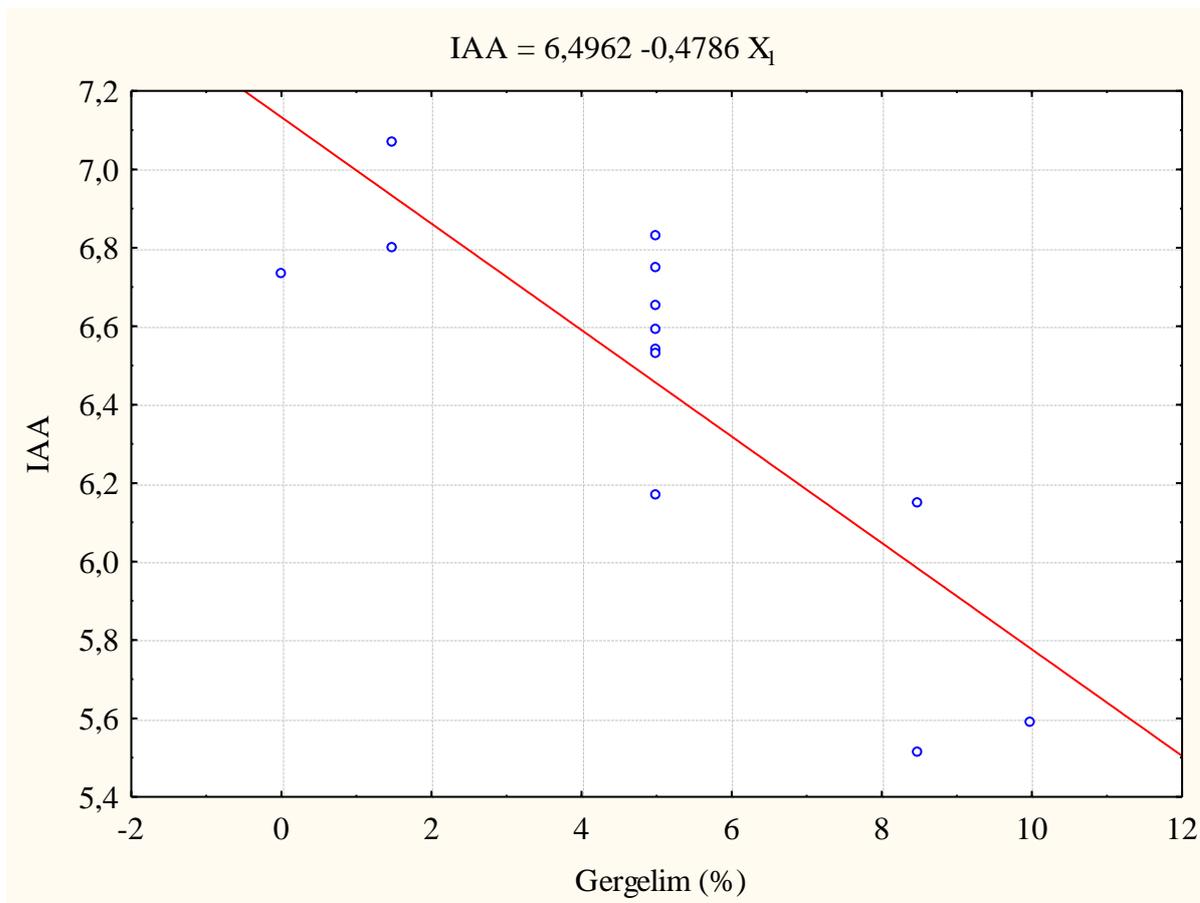


Figura 38 Influência da adição de gergelim sobre o IAA das farinhas obtidas da moagem dos extrudados.

Mercier, Linko e Harper (1998) afirmam que o IAA de amidos extrudados encontra-se na faixa entre 3 e 10 g de água por grama de material seco o que confirma os achados no presente trabalho.

Verificou-se que a adição de gergelim influenciou de maneira negativa o IAA dos produtos extrudados Figura 38. Isto, possivelmente, deve-se ao fato do processo de extrusão ter grande influência em relação à exposição dos grupos hidrofílicos das macromoléculas de amido. Sendo assim, a influência negativa da adição de gergelim nos valores do IAA dos “snacks” justifica-se, uma vez que o aumento no teor gergelim ocorre concomitantemente à diminuição da quantidade de grits de milho que após extrusado absorve mais água que o material adicionado.

Para os tratamentos com adição de TSDG o ISA variou de 14,09 a 31,67 e o IAA de 5,97 a 6,91.conforme Tabela 54.

Tabela 54 Resultados de ISA e IAA da farinha dos snacks de grits de milho e TSDG em extrusora Inbramaq.

Tratamentos	Teor de Gergelim (%)	Temperatura (°C)	ISA (%)	IAA (g gel/g matéria seca)
1	17,07	333,33	16,67	5,97
2	2,93	333,33	16,92	6,31
3	17,07	377,77	14,83	5,82
4	2,93	377,77	20,07	6,35
5	10,00	324,13	14,09	6,51
6	10,00	386,97	17,75	6,35
7	0,00	355,55	31,67	6,02
8	20,00	355,55	17,87	6,18
9	10,00	355,55	18,03	6,09
10	10,00	355,55	15,36	6,47
11	10,00	355,55	19,45	6,61
12	10,00	355,55	19,65	6,91
13	10,00	355,55	21,73	6,41

A Tabela 55 representa os valores da análise de variância (ANOVA) da variável resposta ISA. O modelo de regressão adotado para o parâmetro IAA não foi significativo.

Tabela 55. Teste F, coeficiente de regressão, estimativa dos efeitos e respectivas probabilidades (P) do modelo de regressão quadrático aplicado a ISA dos extrudados de grits de milho adicionados de TSDG processados em máquina Inbramaq.

Fator	Teste F	P	Coeficiente de Regressão	Estimativa dos efeitos
Intercepto	-	5,70E-05 ***	1,88E+01	1,88E+01
X ₁	1,41E+01	1,99E-02 *	-3,13E+00	-6,26E+00
X ₁ ²	5,84E+00	7,31E-02 ns	2,17E+00	4,33E+00
X ₂	9,4, 6E-01	3,86E-01 ns	8,11E-01	1,62E+00
X ₂ ²	6,49E+00	6,35E-02 ns	-2,28E+00	-4,57E+00
X ₁ X ₂	1,12E+00	3,49E-01 ns	-1,25E+00	-2,50E+00
Falta de ajuste	2,84E+00	1,69E-01 ns		
R ² : 0,70704				

X₁: teor de TSDG (%)

X₂: velocidade do parafuso (rpm)

ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade

*: significativo ao nível de 5%, p ≤ 0,05.

**: significativo ao nível de 1% de probabilidade.

***: significativo ao nível de 0,1% de probabilidade.

A Equação 43 descreve o modelo para ISA:

$$\text{ISA} = 18,8517 - 3,1278 X_1 \quad (43)$$

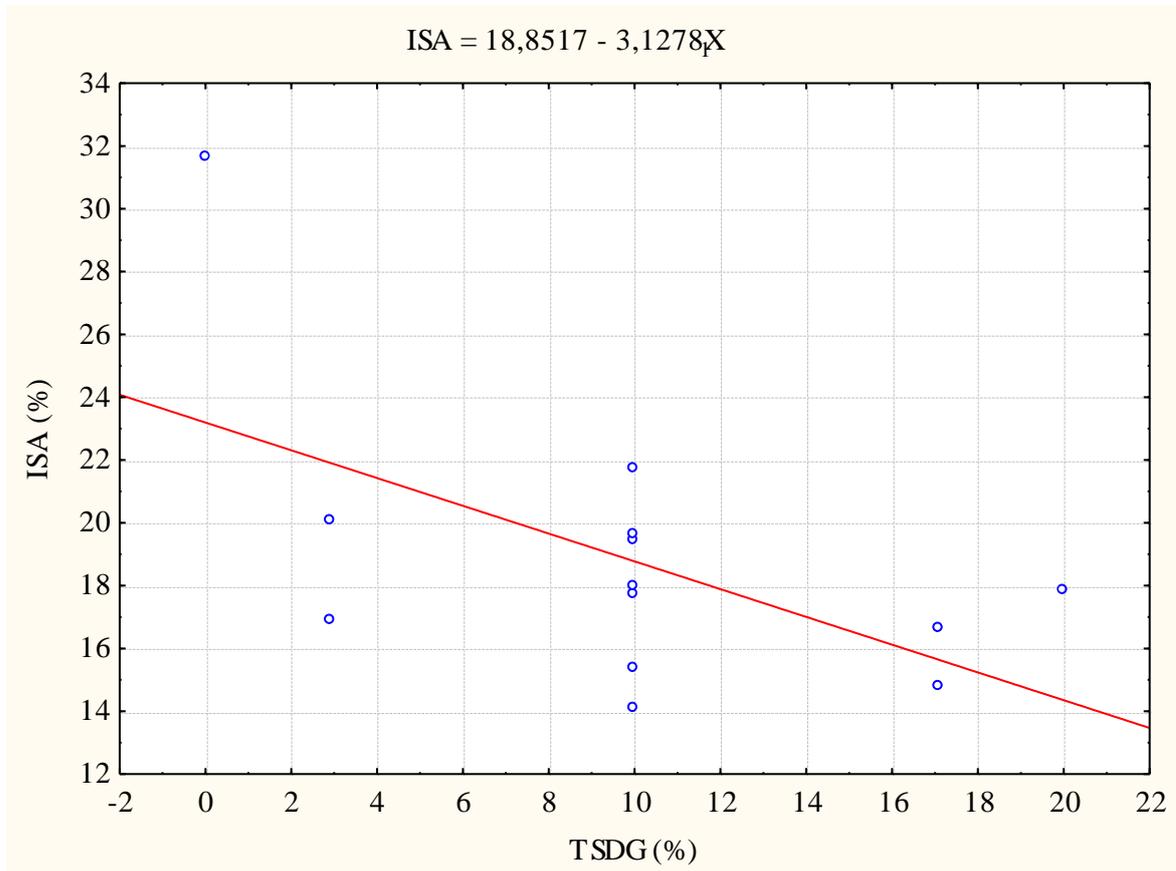


Figura 39 Efeito da adição de torta semi-desengordurada sobre o ISA das farinhas obtidas da moagem dos "snacks".

A adição de TSDG diminuiu a degradação do amido dos tratamentos em Inbramaq como se observa na Figura 39 e com isso, o ISA diminuiu.

Hashimoto e Grossman (2003), em extrudados de misturas de amido e farelo de mandioca, observaram que o ISA diminuiu com o aumento do conteúdo de farelo na mistura. Estes autores explicaram que as modificações estruturais envolvidas pelas fibras presentes no farelo seriam os responsáveis pela diminuição do ISA. Estas modificações podem ter promovido interações entre a fibra e o amido, reduzindo a solubilidade.

O aumento do cisalhamento (pelo aumento da velocidade do parafuso) não teve influência sobre o ISA ou pelo menos, a variação de velocidade não foi suficiente para causar alguma modificação na estrutura granular. O modelo da extrusora utilizado neste tratamento não suportou uma variação diferente da utilizada, impossibilitando assim de verificar seus efeitos no presente ensaio.

Ascheri et al, (2006) observou um efeito positivo da rotação do parafuso sobre o ISA das farinhas mistas extrudadas. Valores com 17, 55% para uma rotação de parafuso de 240

rpm e uma adição de 10% de farinha de bagaço de jaboticaba, concluindo que sua farinha seca poderá ser usada como matéria-prima para a produção de farinhas pré-gelatinizadas. Valor semelhante a esse para ISA foi encontrado no presente trabalho (17,87%) para ISA com adição de 20% de TSDG e rotação de parafuso de 355,55 rpm, o que também mostra que o produto poderá produzir farinhas pré-gelatinizadas.

Os resultados de ISA e IAA da matéria-prima estão na Tabela 56.

Tabela 56 Resultados do ISA e IAA da matéria-prima grits de milho e TSDG.

Matéria-prima	ISA	IAA
Grits de Milho	2,87	3,08
TSDG	9,65	4,19

Na Tabela 57 estão os resultados do ISA e IAA dos *grits* de milho extrudados em extrusora de laboratório e em comercial.

O cisalhamento da extrusora Inbramaq aumentou a degradação da estrutura granular do amido em relação aos tratamentos com adição de gergelim grãos feitos na extrusora Brabender. Para o *grits* de milho extrusado em máquina Brabender os parâmetros de foram: umidade fixada em 15%; temperatura de 50, 100 e 130°C para primeira, segunda e terceira zona de aquecimento respectivamente; a velocidade de rotação de parafuso foi de 150 rpm com sua taxa de compressão de 4:1; a matriz utilizada foi a circular de 3 mm e a taxa de alimentação do extrusor com velocidade de 17 rpm.

Para o *grits* de milho extrusado em Inbramaq a umidade foi fixada em 15%; a temperatura alcançada foi desconhecida, pois não é controlada pelo painel da extrusora; a velocidade de parafuso foi de 355,5 rpm e a configuração do parafuso foi a de rosca sem fim com espaçamento na secção inicial na área de alimentação, pois o processo estava sendo feito com *grits* adicionado a torta de gergelim moída, que tem uma granulometria menor (47% de grãos entre 106 e 500 µm); a matriz utilizada foi a circular de 3 mm e a velocidade do corte da faca de 29 rpm.

Tabela 57 Resultados do ISA e IAA de grits de milho extrusado em Brabender e Inbramaq.

	ISA	IAA
<i>Grits</i> de Milho em Brabender	17,35	6,73
<i>Grits</i> de Milho em Inbramaq	31,67	6,02

5 CONCLUSÃO

Por meio do estudo do efeito da adição de gergelim grãos e torta semi-desengordurada de gergelim em mistura com grits de milho para produção de expandidos diretos produzidos em extrusora de laboratório Brabender e extrusora comercial Inbramaq e, posterior moagem para obtenção de farinhas instantâneas, chegou-se as seguintes conclusões que:

- A composição centesimal do grão de gergelim e da sua torta semi-desengordurada demonstrou que esses materiais, ao serem incorporados às misturas com cereais, para produção de farinhas extrudadas de alta solubilidade ou prontas para o consumo podem trazer grande benefício para saúde.
- A adição de gergelim grãos ou de torta semi-desengordurada de gergelim ao grits de milho para produção de expandidos diretos diminuiu a expansão radial dos extrudados, porém não interferiram significativamente na crocância, sendo que eles apresentaram textura semelhante aos extrudados comerciais estudados. Os extrudados com maior adição de torta tiveram crocância igual aos produtos de mercado tendo, porém muito maior conteúdo de proteínas, sendo entre 2,4 a 3,8 vezes superior.
- Os extrudados de milho adicionados de TSDG, obtidos da extrusora comercial Inbramaq apresentaram menores valores de força de compressão, força específica das rupturas e trabalho de crocância que os extrudados de milho com gergelim grãos obtidas da extrusora de laboratório Brabender, revelando assim, que estavam mais crocantes. A frequência de rupturas, que indiretamente mostra a quantidade de células contidas em uma determinada distância do extrudado, foi maior para os extrudados de milho adicionados de TSDG da extrusora comercial.
- As estruturas internas dos extrudados produzidos na extrusora comercial, realizadas em um escâner de escritório, revelaram similaridade com os produtos comerciais. O estudo de microscopia eletrônica de varredura confirmou os achados de textura (frequência de rupturas) do aumento do número de células ao ter sido adicionado mais torta de gergelim semi-desengordurada aos extrudados
- A análise sensorial dos expandidos revelou grande aceitação dos produtos com teores de 5% de gergelim e de 20% de torta semi-desengordurada de gergelim, principalmente quando foram informados dos benefícios nutricionais na inclusão do gergelim. Além disso, apresentaram uma maior intenção de compra quando informados do valor nutritivo, em especial a amostra com maior teor de torta desengordurada de gergelim (20%).
- Quanto ao uso das farinhas dos *snacks* para produtos instantâneos, todas elas, tanto as processadas em extrusora de laboratório quanto as processadas em extrusora comercial se mostraram propícias. A densidade absoluta dessas farinhas diminuiu significativamente à medida que foi incorporado gergelim ou torta de gergelim, pois são materiais muito fibrosos que deram leveza às farinhas. As farinhas dos produtos processados em extrusora de laboratório tiveram densidade ligeiramente menor que as de extrusora comercial. Através das análises de densidade e de volume total de poros nas farinhas de *snacks* comerciais concluiu-se também que os produtos desenvolvidos nesse trabalho podem ter maior absorção e solubilidade, pois possuem maior volume total de poros em suas farinhas que os comerciais.

- A absorção de água das farinhas dos extrudados foi significativamente maior que as farinhas antes da extrusão. A solubilidade, porém um pouco maior para o as farinhas dos extrudados obtidos da extrusora comercial, o que mostrou ser a extrusora Inbramaq a que tem maior efeito de degradação sobre a estrutura do amido, como esperado. Quanto à viscosidade a frio, a adição de gergelim diminuiu à medida que foi sendo incorporado, pois as suas características químicas não colaboram para viscosidade. Para os extrudados obtidos da extrusora comercial, a velocidade média do parafuso e altos teores de TSDG se obtiveram baixa retrogradação das farinhas, o que pode manter a viscosidade ao se esfriarem.

Sugestões para futuros estudos

Recomendam-se estudos de aplicação das farinhas instantâneas em dietas enterais de sistema aberto de administração e suplementos nutricionais para recuperação de pacientes com risco nutricional.

6 BIBLIOGRAFIA

- AGRIANUAL. Anuário da Agricultura Brasileira. São Paulo: FNP; Agros, 2004.
- ALVAREZ-MARTINEZ, L.; KOUNDURY, K. P.; HARPER, J. M. A general model for expansion of extruded products. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 53, n. 2, p. 609-615, Mar./Apr. 1988.
- ALVES, R.M.L.; GROSSMANN, M.V.E. Parâmetros de extrusão para produção de “snacks” de farinha de cará (*Dioscorea alata*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 22, n. 1, p. 32-38, 2002.
- ANDERSSON, Y.; HEDLUND, B. Extruded wheat flour: correlation between processing and product quality parameters. *Food quality and preference*, v. 2, n. 4, p. 201, 1990.
- ANDERSON R.A.; CONWAY, V.F.P.; GRIFFIN, E.L. Gelatinization of corn grits by roll-and extrusion-cooking. **Cereal Science Today**, v. 14, n. 1, p. 4-7, 1969.
- ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Regulamento técnico referente à informação nutricional complementar. Portaria n. 27, de 13 de janeiro de 1998. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, jan. 1998. Disponível em: <<http://e-legis.bvs.br/leisref/public/showAct.php?id=97>>
- AKUBOR, P. I., ISOLOKWU, P. C., UGBANE, O., & ONIMAWO, I. A. (2000). Proximate composition and functional properties of African breadfruit kernel and flour blends. **Food Research International**, 33, 707–712.
- ARRIEL, N.H.C.; ARAUJO, A.E.; SOARES, J.J.; BELTRÃO, N.E.M.; FIRMINO, P.T. Cultivo do Gergelim, Sistemas de Produção, Embrapa Algodão, n. 06, 2006.
- ASCHERI, J. L. R. & CARVALHO, C. W. P.; Apostila de extrusão de Alimentos: aspectos tecnológicos para o desenvolvimento e produção de Alimentos para o consumo Humano, EMBRAPA CTAA, 2008.
- ASCHERI, J. L. R.; MENDONÇA, X. M. F. D.; NASCIMENTO, R. E.; CARVALHO, C. W. P.; DELLA MODESTA, R. C.; SPEHAR, C. R. Elaboração de “snacks” e farinha instantânea de amaranto / arroz. Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2003. (Embrapa Agroindústria de Alimentos. Comunicado técnico, 62).
Biblioteca(s): CTAA (FL CTE 0062 UMT)
- ASCHERI, J. L. R.; CIACCO, C. F.; RIAZ, M. N.; LUSAS, E. W. Efecto de la formulación sobre las expansión y viscosidad de snacks (pellets) producidos por extrusión termoplástica. **Alimentaria**, Madrid, v. 286, n. 12, p. 111-116, 1995. (OPLINGER, OELKE, KAMINSKI, COMBS, DOLL, & SCHULER, 1990)
- ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of the association of official agriculture chemists**. 17th ed. Washington: AOAC, 2000. 1094 p.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). **Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 16th ed. Arlington, 1995. 2 v.

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

AUGSTBURGER, F.; BERGER, J.; CENSKOWSKY, U.; HEID, P.; MILZ, J.; STREIT, C. Ajonjolí (Sésamo): parte especializada: producción orgánica de ajonjolí. Agricultura Orgánica en el Trópico y Subtrópico. 1. ed., Alemanha: Naturland, 2000. 30p.

BARROS NETO, B.; SCARMMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Planejamento e Otimização de Experimentos**. Ed. Unicamp. Campinas São Paulo, Brasil, 1996, 299p.

BECKSTROM-STERMBERG, S.M., DUKE, J.A., WAIN, K.K., 1994. “The ethnobotanydatabase”.<<http://arsgenome.cornell.edu/cgi-bin/WebAce/webace?db=ethnobotdb>>

BELTRÃO, N.E. de M.; SILVA, L.C.; QUEIROGA, V. de P.; VIEIRA, D.J. Preparo de solo, adubação e calagem. In: BELTRÃO, N.E. de M; VIERA, D.J.(Org.) O agronegócio do gergelim no Brasil. Brasília : Embrapa Informação Tecnológica, 2001a. p. 109 – 131.

BENINCA, C.; **Emprego de técnicas termoanalíticas na análise de amidos nativos e quimicamente modificados de diferentes fontes botânicas**. Dissertação (mestrado em Ciência dos Alimentos) Ponta Grossa, 2008.

BERGLUND, P. T.; FASTNAUGHT, C. E.; HOLM, E. T. Physicochemical and sensory evaluation of extruded high-fiber barley cereals. **Cereal Chemistry**, St. Paul: American Association of Cereal Chemists, v. 71, nº 1, p. 91-95, Jan.-Feb. 1994.

BOUVIER, J. M., BONNEVILLE, R., GOULLIEUX, A. (1997). Instrumental methods for the measurement of extrudate crispness. *Agro-Food Industry Hi-Technology*, January/February, 16–19.

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

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

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

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância Sanitária. Portaria nº 27/98 SVS/MS — Regulamento Técnico Referente à Informação Nutricional Complementar. Disponível em: <<http://e-legis.bvs.br/leiref/public/showAct.php?id=97#>>

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos 2007/2008 – Décimo Segundo levantamento – Set/2008. Disponível em: www.conab.gov.br

CAMARGO, Karina Fernandes de; LEONEL, Magali; MISCHAN, Martha Maria. Produção de biscoitos extrusados de polvilho azedo com fibras: efeito de parâmetros operacionais sobre as propriedades físicas. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v. 28, n.3, Sept. 2008 Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612008000300013&lng=en&nrm=iso>. access on 14 Jan. 2010. doi: 10.1590/S0101-20612008000300013.

CAMIRE, M. E.; CAMIRE, A.; KHRUMAR, K. Chemical and nutritional changes in foods during extrusion. *Crit Rev Food Sci Nutr*. V.19. n. 1, p. 35-57,1990

CARVALHO, R.V. **Formulações de snacks de terceira geração por extrusão: caracterização texturométrica e microestrutural**. Lavras (MG), 89 p., 2000. Dissertação (mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras.

CARVALHO, C.W.P., ASCHERI, J. L. R. Produção de extrusados doces. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2004.

CAPRILES, V. D; SOARES, R. A. M.; AREAS, J. A. G.. Development and assessment of acceptability and nutritional properties of a light snack. **Ciência Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 3, 2007.

CEREDA, M.P., VILPOUX, O., DEMIATE, I.M. Amidos modificados. In: CEREDA, M., VILPOUX, O. **Processamento de amiláceas Latino Americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, 2003. p.246-332

COLONNA, P.; BULEON, A.; MERCIER, C. Physically modified starch. In: GALLIARD, T. **Starch: properties and potential**. Chichester: John Wiley & Sons, 1987. cap. 4, p. 79-114.

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

DUARTE, J. O. Importância econômica. In: CRUZ, J. C.; VERSIANI, R. P.; FERREIRA, M.T.R. (Eds) **Cultivo do milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. 2000.

DUARTE, G., CARVALHO, C. W. P., ASCHERI, J. L. R. Effect of soybean hull, screw speed and temperature on expanded maize extrudates. **Brazilian Journal of Food Technology**. V. 12, n. 3, p.205- 212, 2009.

EL-DASH, A. A. **Thermoplastic extrusion of food, theory and techniques**. Campinas:UNICAMP, 1982. 81p.

FAO. FOUNDATION AGRICULTURAL ORGANIZATION. Roma: FAOSTAT Database Gateway – FAO. Disponível: <<http://apps.fao.org>>.

FAUBION, J.M.; HOSENEY, R.C. High temperature and short time. Extrusion-cooking of wheat starch and flour. I-Effect of moisture and flour type on extrudate properties. **Cereal Chemistry**, v. 59, n. 6, p. 529-533, 1982.

FERNANDES, M. S.; WANG, S. H.; ASCHERI, J. L. R.; OLIVEIRA, M. F.; COSTA, S. A. J. **Efeito da temperatura de extrusão na absorção de água, solubilidade e dispersibilidade da farinha pré-cozida de milho-soja (70:30)**. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. [online]. 2003, vol.23, n.2, pp. 234-239. ISSN 0101-2061.

FERREIRA, R. E. Avaliação de Parâmetros do processo de extrusão e do teor de farelo de trigo adicionado em características de *snacks* expandidos de milho. Campinas, 2006. 163 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

FIRMINO, P. de T. **GERGELIM**: Sistemas de produção e seu processo de verticalização, visando produtividade no campo e melhoria da qualidade da alimentação humana. Campina Grande, Embrapa-CNPA, 1996 (Prêmio Jovem Cientista).

GIBSON, G.R.; WILLIAMS, C.M. **Functional Foods**: concept to product. Cambridge: Woodhead Publishing, 2000. 374 p

GLAT, D. Perspectivas do milho para 2002. **Plantio Direto**, v. 69, p. 15-17, 2002.

GODOY, R.C.B. Milho: contexto mundial. Publicado em: 06/setembro/2002. Disponível em: <http://www.pr.gov.br/seab/servico.html>.

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

GOMEZ, H.; AGUILERA, J. M. A physicochemical model for extrusion of corn starch. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 49, n. 1, p. 40-43, Jan./Feb. 1984.

GROSSMANN, M. V. E. **Efeito da extrusão termoplástica na gelatinização do amido de mandioca, visando a produção de álcool**. 1986. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1986.

GUZMAN, L. B.; LEE, T. C.; CHICHESTER, C. O. Lipid binding during extrusion cooking. In: KOKINI, J. L.; HO, C. T.; MUKUND, V. K. (eds). *Food extrusion science and technology*. New York: Marcel Dekker Inc., 1992. cap. 7, p. 427- 436.

HALLIWELL, B. **Antioxidants and human diseases: a general introduction**. *Nutrition Reviews*, 55, S44–S52. . 1997.

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

HARPER, J.M. Extrusion processing of food. **Food Technology**, v. 32, n. 7, p. 67-72, 1978.

HERNÁNDEZ, T.; BERNALTE, M.J.; SABIO, E.; VIDAL-ARAGÓN, M.C. Actividad peroxidasa y polifenoloxidasa de dos variedades de cereza durante la maduración. In: SIMPOSIO NACIONAL SOBRE MADURACIÓN Y POST-RECOLECCION DE FRUTOS Y HORTALIZAS, 1996, Valencia. **Annales...** Valencia: Sociedad Espanhola de Fisiologia Vegetal, 1996. p.147-150.

HSU, D.Z., LIU, M.Y., 2002. **Sesame oil attenuates multiple organ failure and increases survival rate during endotoxemia in rats.** *Crit. Care Med.* 30 (8), 1859–1862. Hsu, D.Z., Liu, M.Y., 2004. Sesame oil protects against lipopolysaccharide-stimulated oxidative stress in rats. *Crit. Care Med.* 32 (1), 227–231.

INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR CEREAL CHEMISTRY (IACC). 1976 Norm ICC N° 110/01. **Determination of the moisture content of cereal products - Pratical Method.** Vienna, 1976.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz:** métodos químicos e físicos para análise de alimentos. 3ª ed. São Paulo, 1985. v. 1.

KANG, M. H., KAWAI, Y., NAITO, M., & OSAWA, T. (1999). Dietary defatted sesame flour decreases susceptibility to oxidative stress in hypercholesterolemic Rabbits. *Journal of Nutrition*, 129, 1885–1890.

KATO, M.J., CHU, A., DAVIN, L.B., LEWIS, N.G., 1998. Biosynthesis of antioxidant lignans in *Sesamum indicum* seeds. *Phytochemistry* 47, 583–591.

KILKKINEN, A., 2004. Serum Enterolactone Determinants and Associations with Breast and Prostate Cancers. Publications of the National Public Health Institute KTL A10.

KEETELS, C.J.A.M.; OOSTERGETEL, G.T. & VLIET, T. - *Carbohydr. Polym.*, 30, p.61 (1996).

LACERDA, L. G. Uso de técnicas termoanalíticas na caracterização da hidrólise enzimática parcial de amidos de matéria-primas tropicais. 2006.,79f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2006.

LÓPEZ, G., FLORES, I., GÁVEZ, M. Q., FARREZ, A. (2003). Development of a liquid nutritional supplement using a *Sesamum indicum* L. protein isolate. *Elsevier Science Ltd* , 67-74.

MAIA, Geraldo Arraes. **Eficiência da farinha desengordurada de gergelim como complemento protéico da farinha extrudada de caupi.** *Pesq. agropec. bras.* [online]. 1999, vol.34, n.7, pp. 1295-1303. ISSN 0100-204X.

MARÇALLO, F. A. Armazenamento de grãos de milho em atmosfera modificada com dióxido de carbono. Curitiba, 2006. 92 p. Tese (doutorado) – Produção Vegetal, Universidade Federal do Paraná.

MARGARET, A. BRENNAN, S. JOHN, A. MONRO, C. **Effect of inclusion of soluble and insoluble fibres into extruded breakfast cereal products made with reverse screw configuration** International Journal of Food Science and Technology 2008

MENDONÇA, S.; GORSSMANN, M. V. E.; VERBÉ, R. Corn bran as a fibre source in expanded snacks. **Lebensmittel Wissenschaft and Technologie**, v. 33, n. 7, p. 2-8, 2000.

MERCIER, C.; LINKO, P.; HARPER, J. M. Extrusion cooking. 2nd ed, St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1998. 471p.

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

MIZUKAMI, H.; TAKEDA, Y.; HIZUKIRI, S. The structure of the hot-water soluble components in the starch granules of new Japanese rice cultivars. **Carbohydrate Polymers**, v. 38, n. 4, p. 329-335, 1999.

MONTGOMERY, D. C. Introduction to Statistical Quality Control. 2th Edition. Neww York: John Wiley & Sons, 1991.

MOURA, Maria José e FIGUEIREDO, Maria Margarida. **Aplicação das Técnicas de Picnometria de Gás e de Porosimetria de Mercúrio à Caracterização da Madeira de *E. globulus***. *Silva Lus.*, dez. 2002, vol.10, no.2, p.207-216. ISSN 0870-6352.

NIBEDITA MUKHOPADHYAY e SUKUMAR BANDYOPADHYAY. Agricultural and Food Engineering Department, Aquacultural Engineering Section, Indian Institute of Technology (IIT), Kharagpur 721302, India Received 21 October 2001.

OPLINGER, E. S.; OELKE, E. A.; KAMINSKI, A.R.; COMBS, S. M.; DOLL, J. D.; SCHULER, R. T. Castorbeans In: OPLINGER, E. S. **Alternative field crops manual**. 1990. Disponível: <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/afcm/castor.html>.

OSCAN, S. e JACKSON D. S. (2005). Functionality behavior of raw and extruded corn starch mixtures. **Cereal Chemistry** 82(2): 223227.

PATERNIANI, E.; CAMPOS, M.S. Melhoramento do milho. In BORÉM, A. (Organizador). *Melhoramento de espécies cultivadas*. Viçosa. Editora UFV, 1999. p. 429-485.

PORDESIMO, L.O.; ONWULATA, C.I.; CARVALHO, C.W.P. Food Powder Delivery Through a Feeder System: Effect of Physicochemical Properties. **International Journal of Food Properties**, v. 12, n. 3, p. 556-570, 2009.

POWELL, E. L. Production and uses of pre-gelatinized starches. In: WHISTLER, R. L.; PASCHALL, E. F. Starch chemistry and technology. New York: Academic, 1965. v. 3.

PRAKASH, D., & MISRA, P. S. (1988). Protein content and amino acid profile of some wild leguminous seeds. *Plant Foods for Human Nutrition*, 38, 61–65.

RAM, R., D. Catlin, J. Romero, and C. Cowley. 1990. Sesame: New approaches for crop improvement. p. 225–228. In: J. Janick and J.E. Simon (eds.), *Advances in new crops*. Timber Press, Portland, OR.

RAMESH, B., SARAVANAN, R., PUGALENDI, K.V., 2005. Influence of sesame oil on blood glucose, lipid peroxidation, and antioxidant status in streptozotocin diabetic rats. *J. Med. Food* 8 (3), 377–381

RIAZ, M. N. **Extruders in food applications**. 2a ed.. Boca Raton, USA: CRC Press, 2002. 225 p.

RICKARD, J.E.; BEHN, K.R. Evaluation of acid and enzyme hydrolytic methods for the determination of cassava starch. **Journal of Science of Food and Agriculture**, v. 41, n. 4, p. 373-379, 1987.

RUIZ-RUIZ, J.; MARTÍNEZ, A. A.; DRAGO, S.; GONZÁLEZ, R.; BETANCUR, D. A.; GUERRERO, L. C. Extrusion of a hard-to-cook bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and quality protein maize (*Zea mays* L.) flour blend.. (2008) 1799 – 1807.

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

SHILS, M. E., OLSON, J. A., SHIKE, M. **Tratado de Nutrição Moderna na Saúde e na Doença**. São Paulo: Manole, 2003, 1657p.

SILVA, M. F. V. **Avaliação nutricional de um produto extrusado a base de folha e farinha de mandioca**. Lavras, 1990. 100 f. Dissertação - (Mestrado em Ciência dos Alimentos), Escola Superior de Agricultura de Lavras - ESAL.

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

SINGH, J.; SINGH, N. Studies on the morphological, thermal and rheological properties of starch separated from some Indian potato cultivars. **Food Chemistry**, v.75, p.67-77, 2001.

SINGH, N. Morphological, Thermal and Rheological Properties of Starches from Different Botanical Sources. **Food Chemistry**, v. 81, n. 2, p. 219-231, 2003.

SIMON, J.E., A.F. Chadwick, and L.E. Craker. 1984. *Herbs: An indexed bibliography. 1971–1980. The scientific literature on selected herbs, and aromatic and medicinal plants of the temperate zone*. Archon Books, Hamden, CT.

SOEST J. J. G.; HULLEMAN, S. H. D., WIT, D. & VLIEGENTHART, J.F.G - Ind. Crop Prod., 5, p.11 (1996).

SOMOZY, M. Determination of blood sugar. **Journal of Biology Chemistry**, n. 160, p. 69-73, 1945.

SUGANO, M., INOUE, T., KOBAYASHI, K., YOSHIDA, Y., HIROSE, N., SHINMEN, Y., AKIMOTO, K., & AMACHI, T. (1990). **Influence of sesame lignans on various lipid parameters in rats**. Agri. Biol. Chem., 54, 2669– 2673.

THIEWES, H.J. & STEENEKEN, A.M. - CARBOHYDR. POLYM., 32, p.123 (1997).

THYMI, S. KROKIDA, M.K. PAPPA, A. MAROULIS. Z.B. **Structural properties of extruded corn starch**. Journal of Food Engineering 68 (2005) 519–526

VALERO, C e RUIZ ALTISENT, M. Equipos de medida de calidad organoléptica em frutas Fruticultura Profesional ,n 95, p.38-45, 1998

VAN, E.Hecke: Contribution à l'étude des propriétés texturales des produits alimentaires alvéolés. Mix au point de nouveaux Capteurs. Dissertation, Université de Technologie de Compiègne, 1991.

VISAVADIYA, N. P., NARASIMHACHARYA, A. (2008). Sesame as a hypocholesterolaemic and antioxidant dietary component. **Food and Chemical Toxicology** , 1889–1895.

VOSS, D.H. Relating colorimeter measurement of plant color to the Royal Horticultural Society Colour Chart. HortScience vol.27 (12), p.1256- 1260, 1992.

WANG, N.; BHIRD, P.R.; SOSULSKI, F.W.; TYLER, R.T. Pasta-like product from pea flour by twin-screw extrusion. **Journal of Food Science**, v.64, n.4, p.671-678, 1999.

WEBB, P.A., ORR, C., 1997. **Analytical Methods in Fine Particle Technology**. Micromeritics Instrument Corporation, USA, 301 pp.

WENDLANDT, W. W. Thermal analysis. New York: John Wiley & Sons, 1986.

WEISS, E.A. **Oilseeds Crops**. London: Logman, 1983. 660p.

WU, W.H., KANG, Y.P., WANG, N.H., JOU, H.J., WANG, T.A., 2006. Sesame ingestion affects sex hormones, antioxidant status, and blood lipids in postmenopausal women. J. Nutr. 136, 1270–1275.

XU, J., CHEN, S., HU, Q., 2005. Antioxidant activity of Brown pigment and extracts from black sesame seed (*Sesamum indicum* L.). Food Chem. 91, 79– 83

YAMASHITA, K., LIZUKA, Y., IMAI, T., & NAMIKI, M. (1995). **Sesame seed and its lignans produce marked enhancement of Vit.E activity in rats fed a-tocopherol diet**. Lipids, 30, 1019–1023.

7 ANEXOS

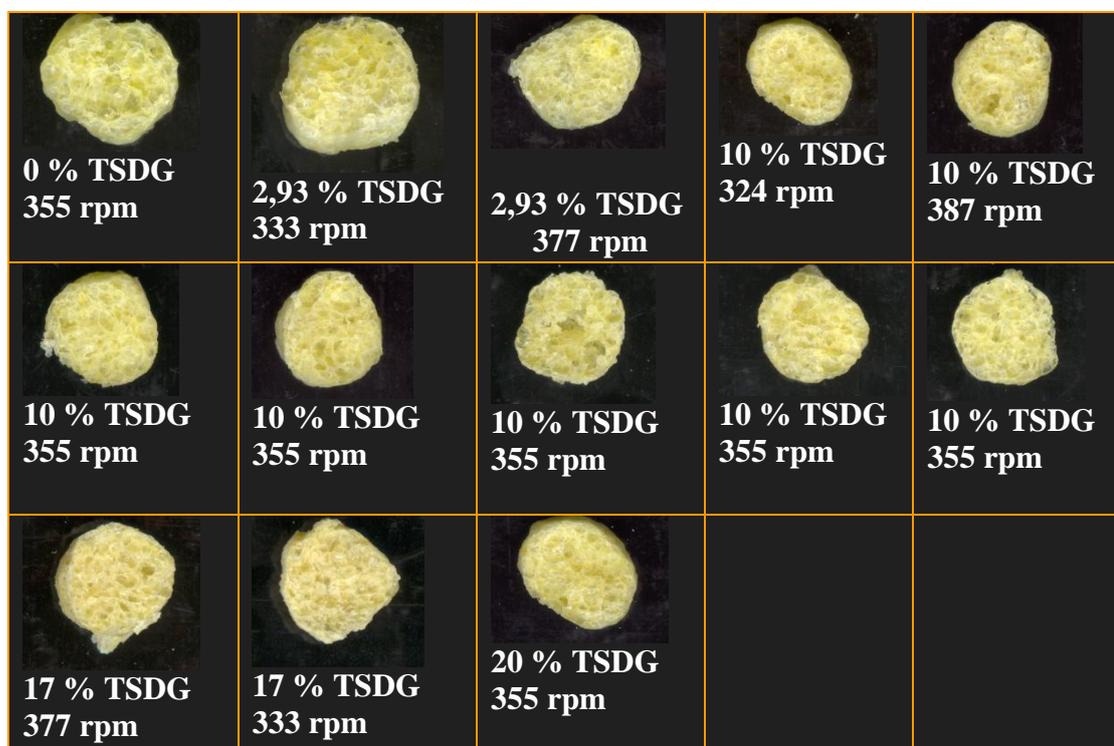
ANEXO A	102
ANEXO B	102
ANEXO C	103
ANEXO D	105
ANEXO E	107
ANEXO F	114
ANEXO G	115
ANEXO H	118

ANEXO A



Fotos digitais de máquina fotográfica Olympus modelo X-715 (5.0 megapixel) dos produtos expandidos obtidos a partir da combinação *grits* de milho e gergelim nas condições do Planejamento Experimental I.

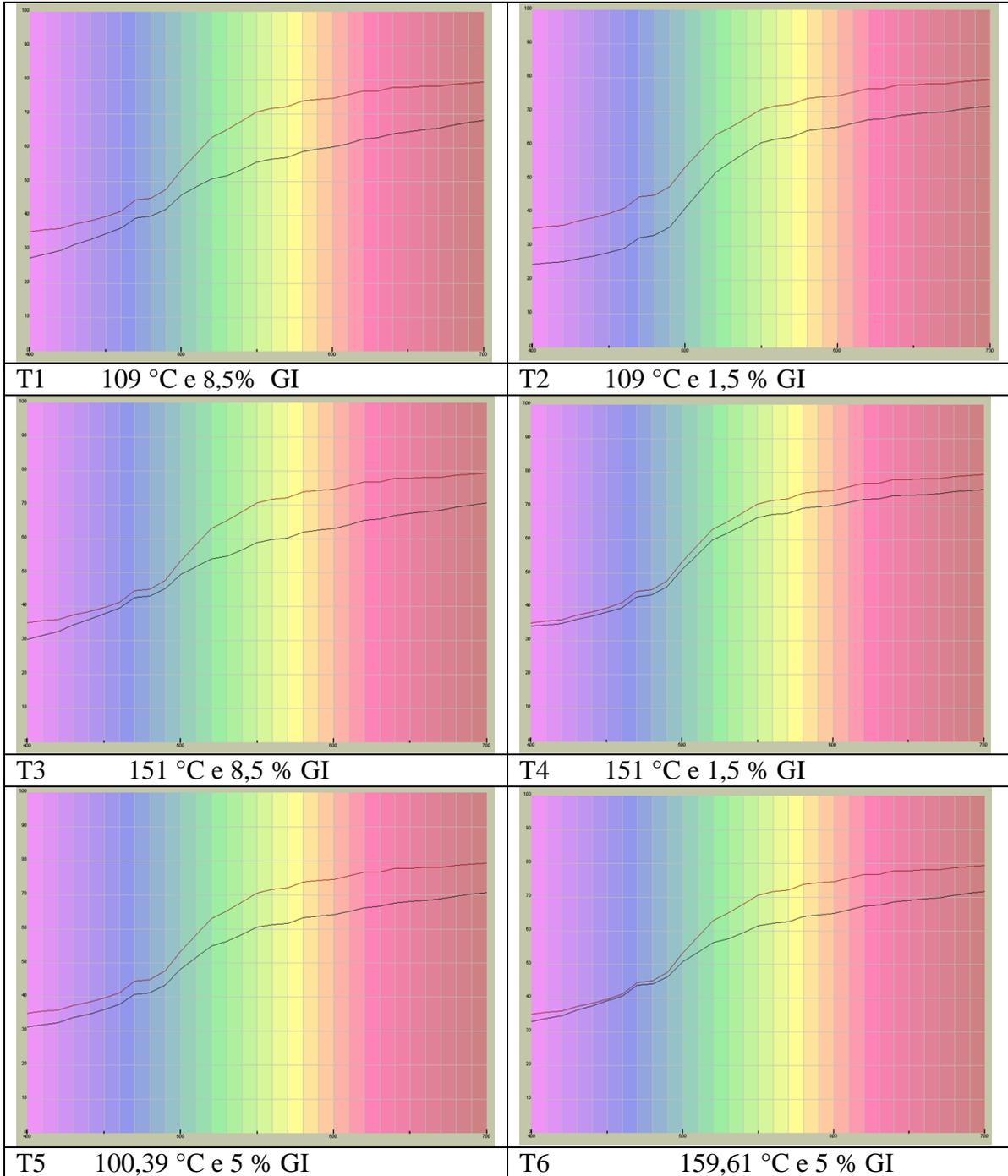
ANEXO B

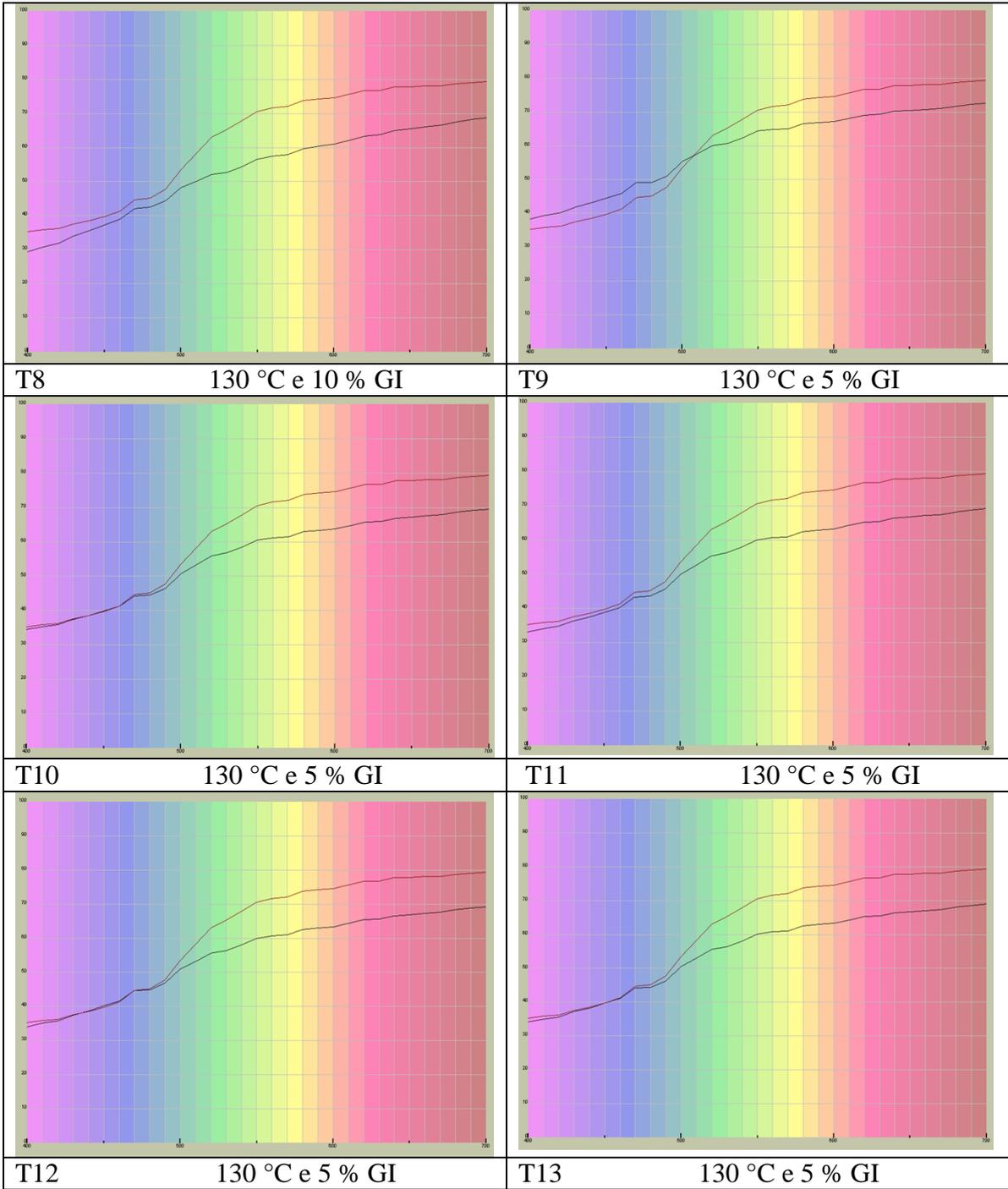


Produtos escaneados obtidos a partir da combinação de TSDG-GM nas condições do Planejamento Experimental II

ANEXO C

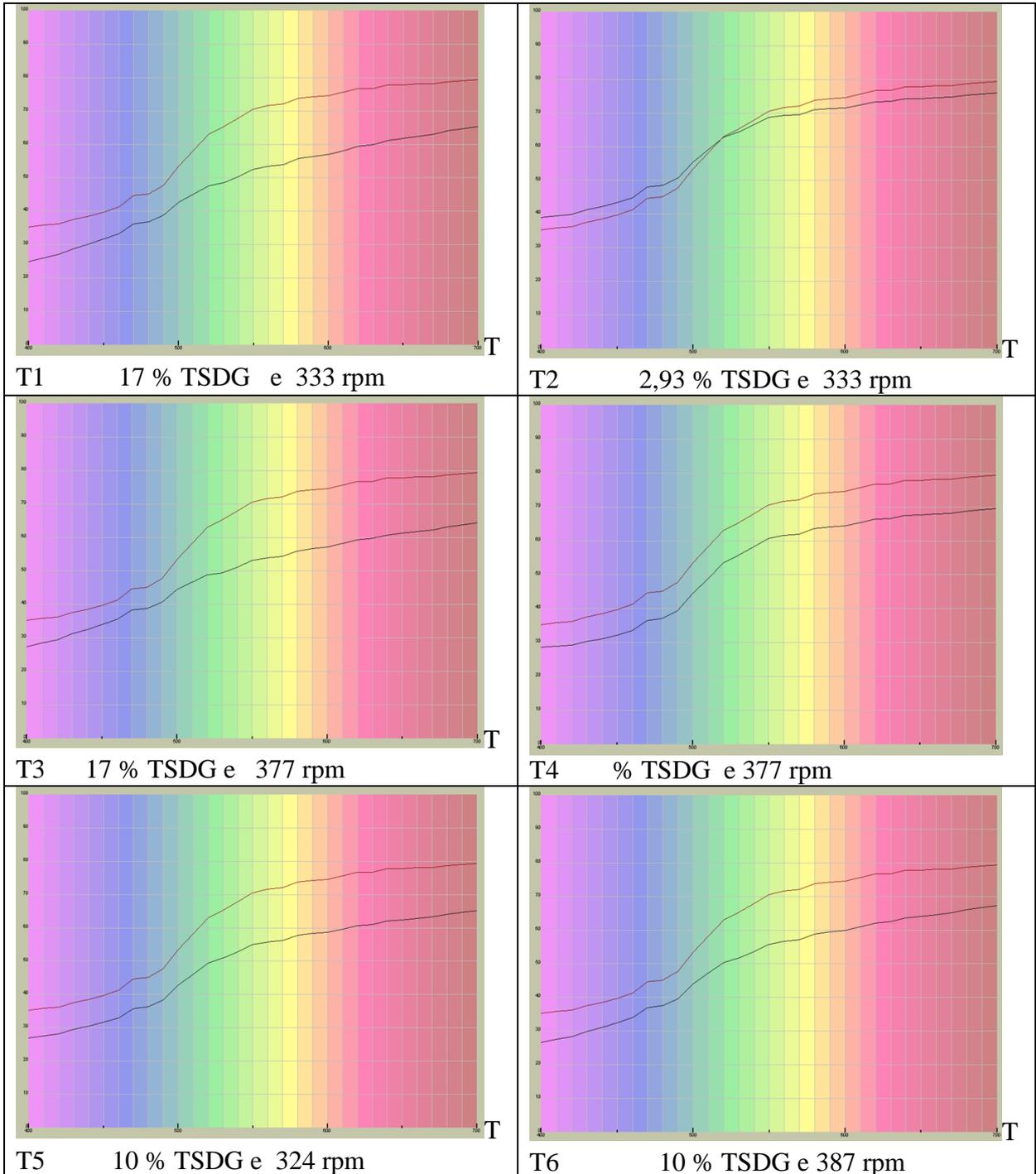
Gráficos das cores em comparação com o padrão (linha vermelha) - Processadas em extrusora de laboratório

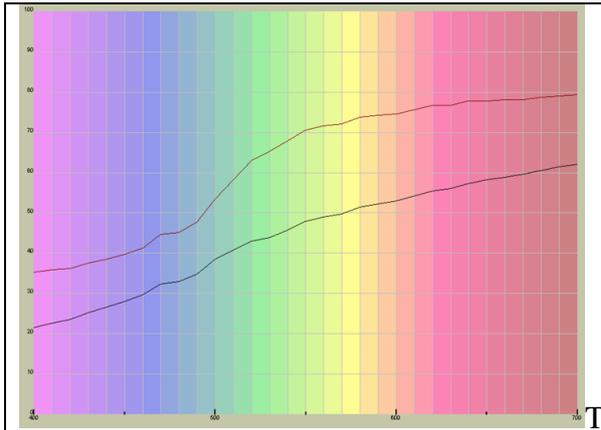




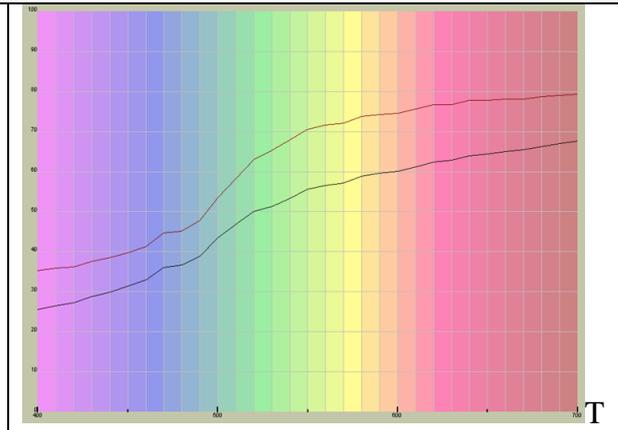
ANEXO D

Gráficos das cores em comparação com o padrão (linha vermelha) - processadas em extrusora comercial.

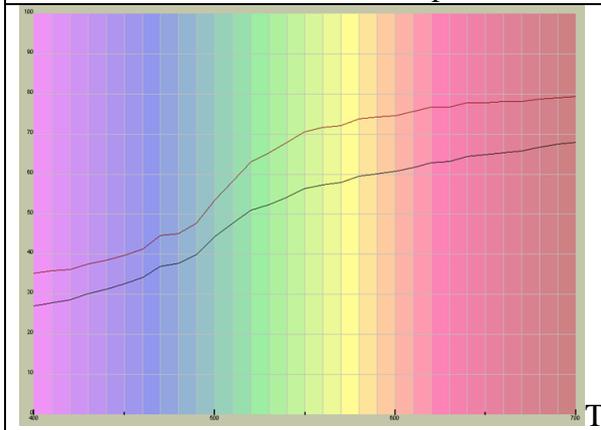




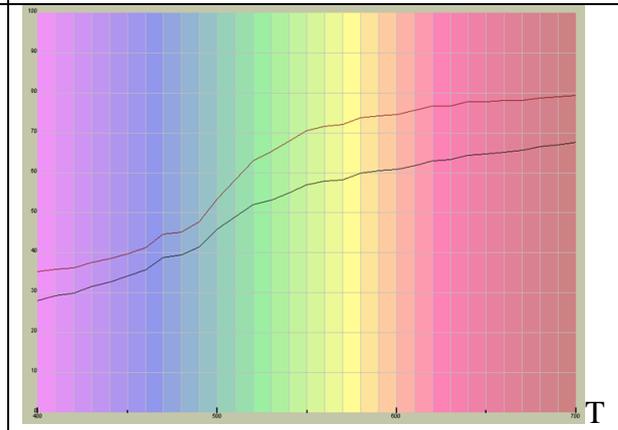
T8 20 % TSDG e 355 rpm



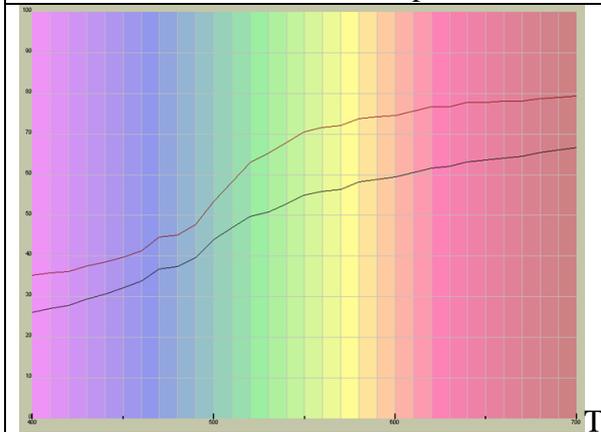
T9 10 % TSDG e 355 rpm



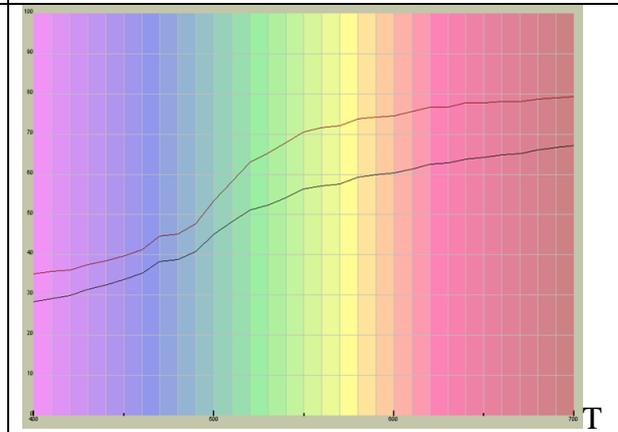
10 10 % TSDG e 355 rpm



T11 10 % TSDG e 355 rpm



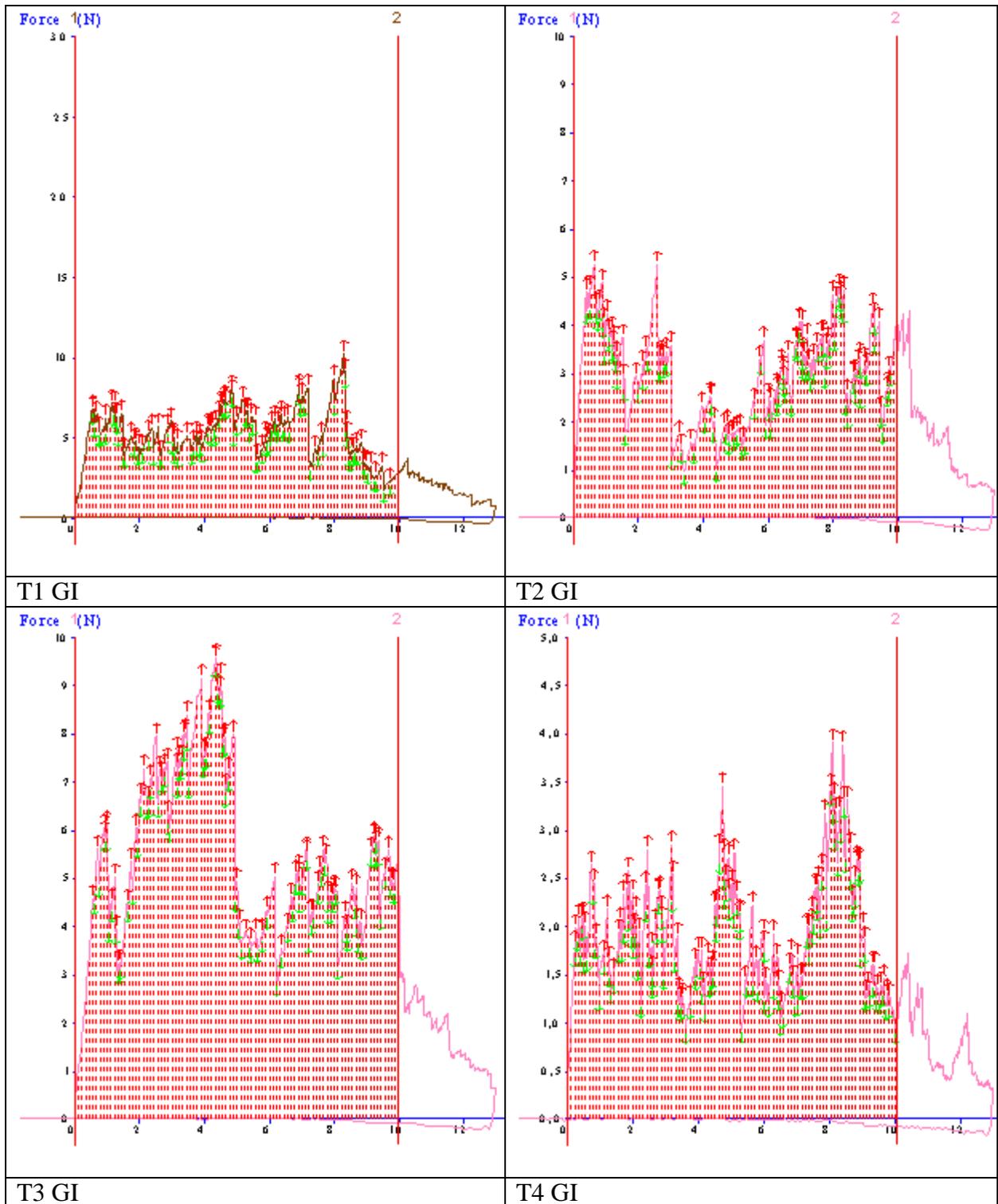
12 10 % TSDG e 355 rpm

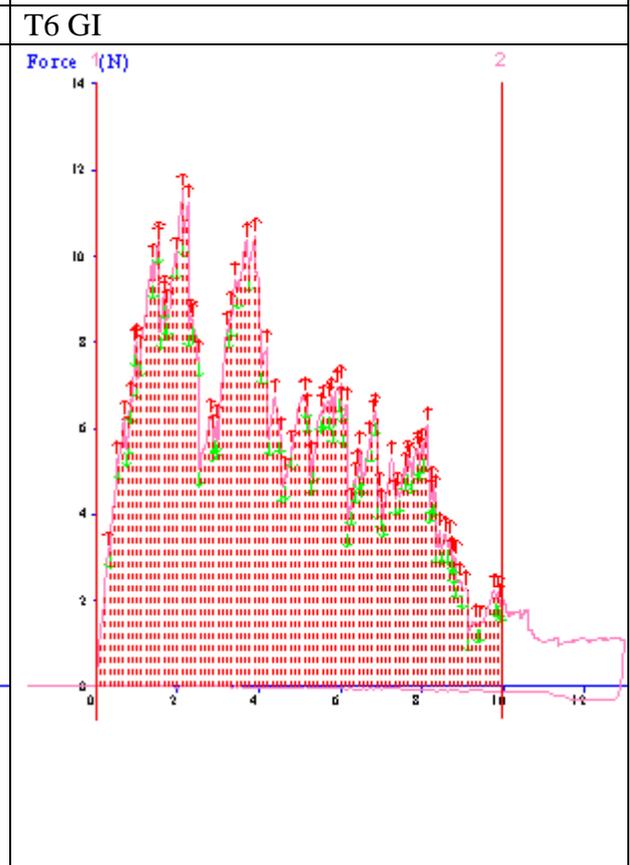
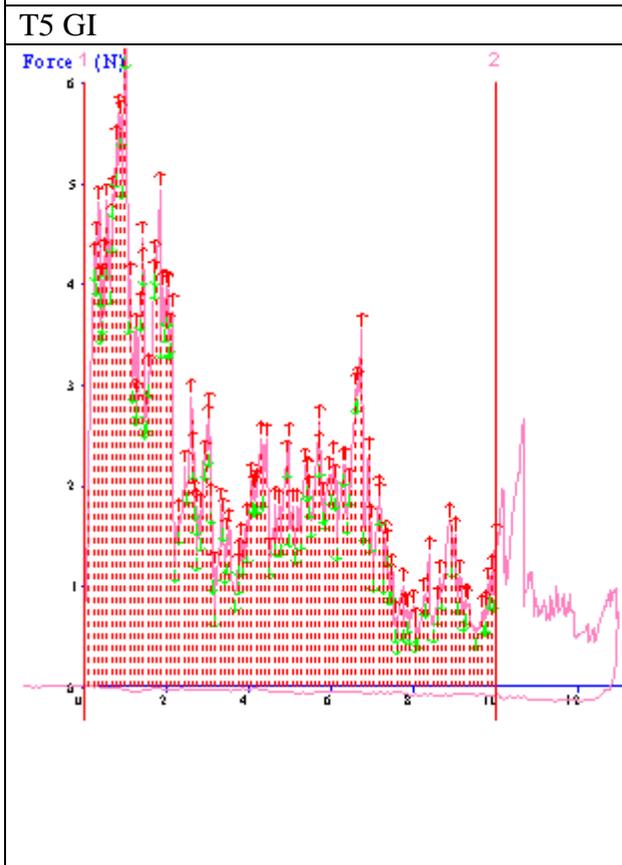
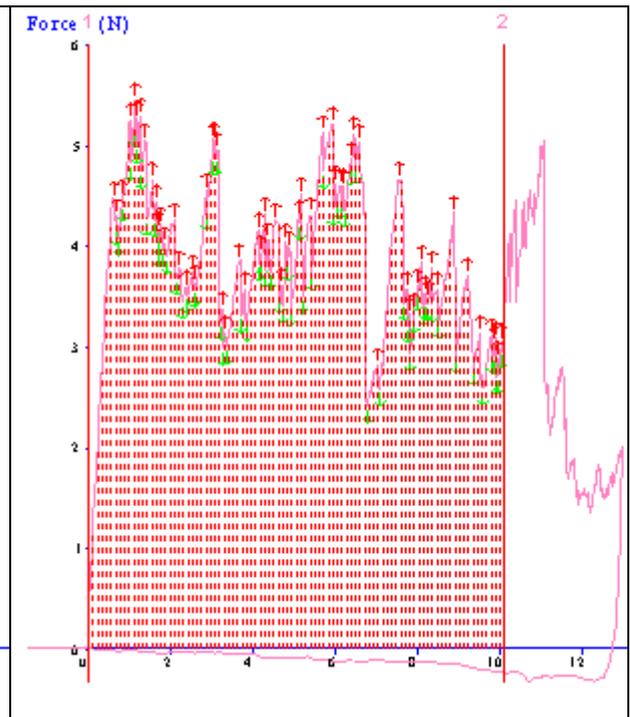
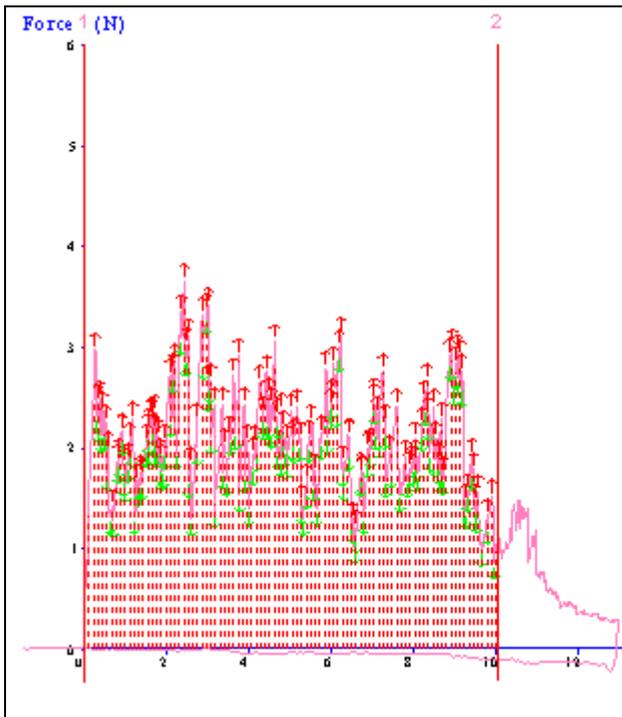


T13 10 % TSDG e 355 rpm

ANEXO E

Gráficos de textura das amostras processadas em extrusora de laboratório e comercial.



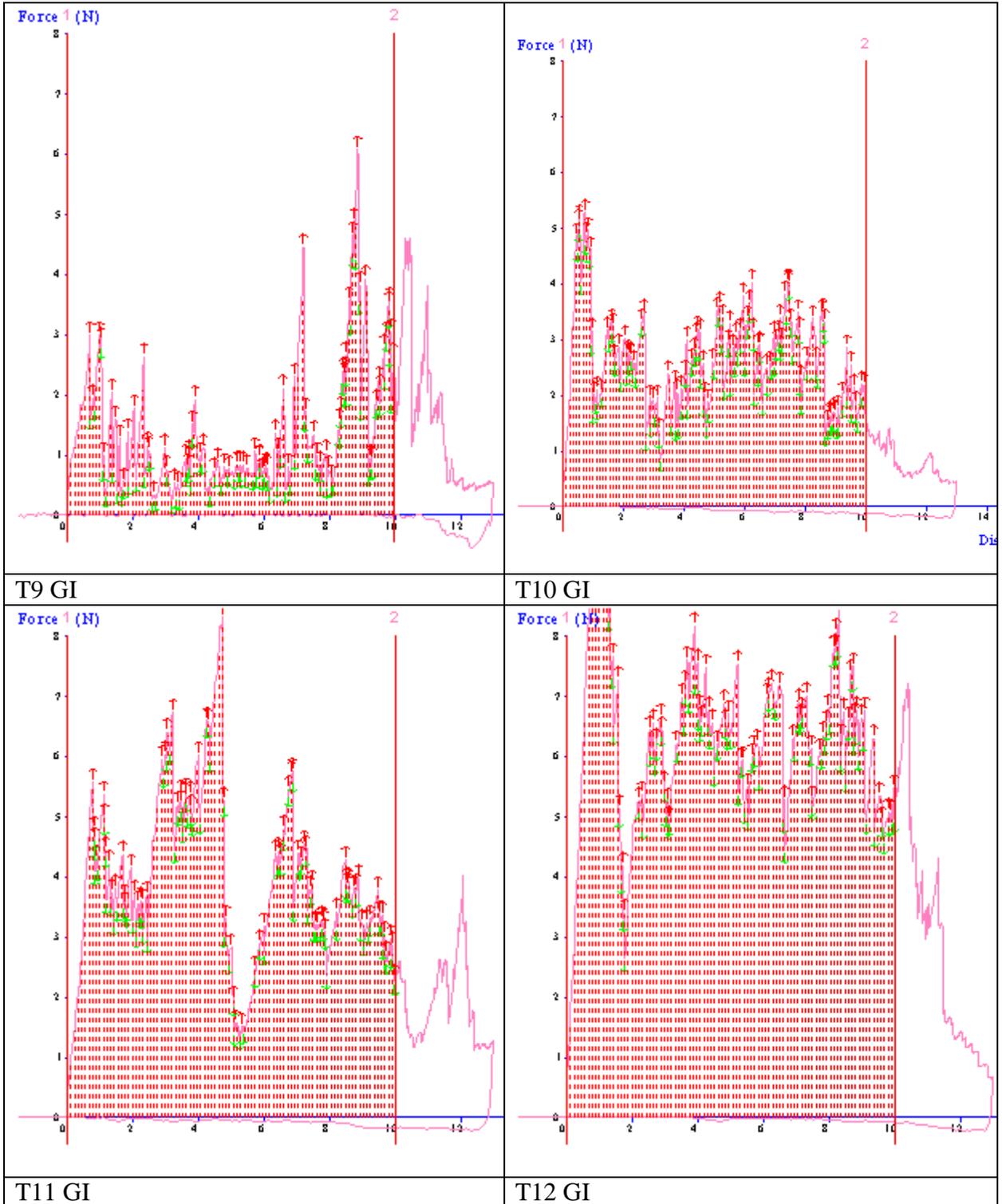


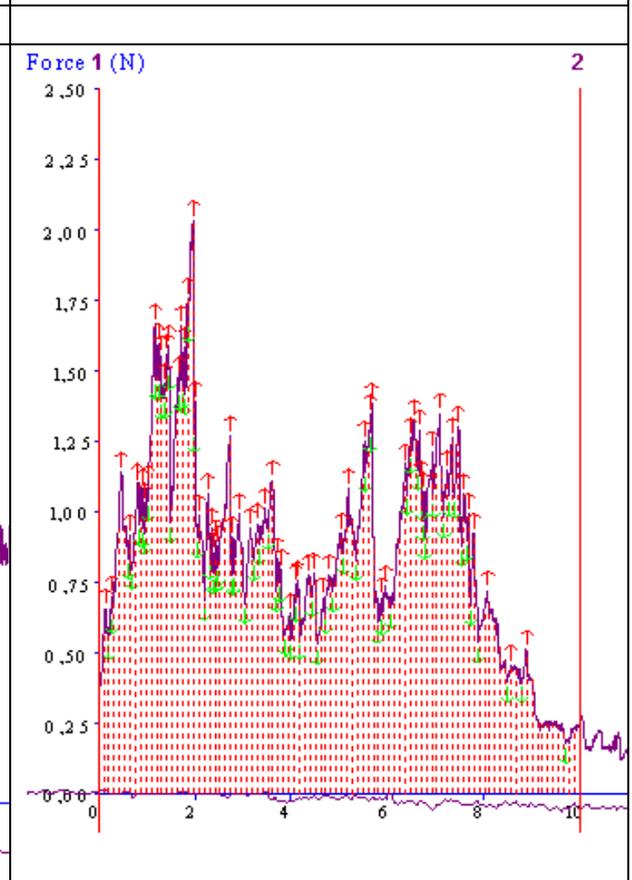
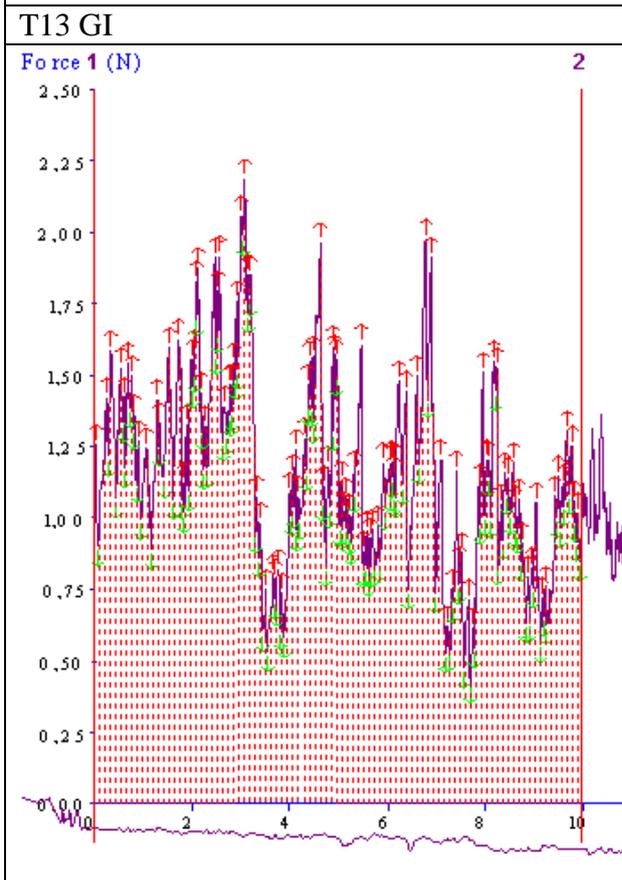
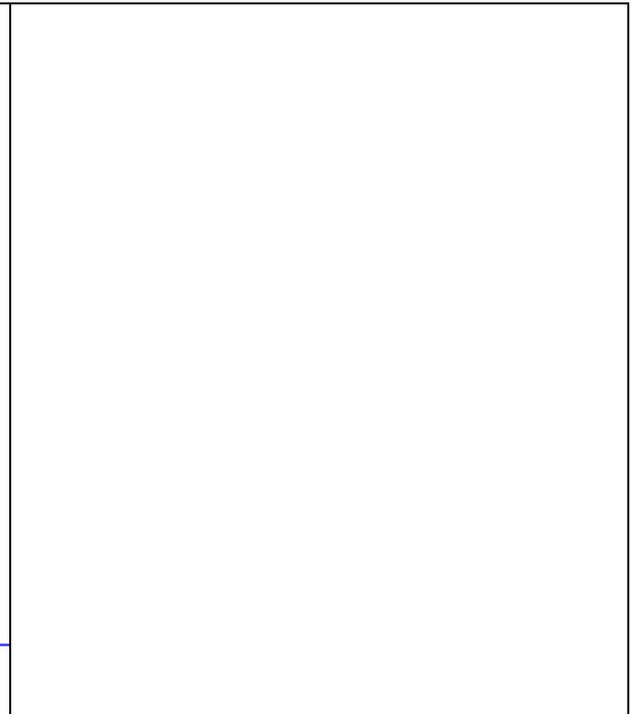
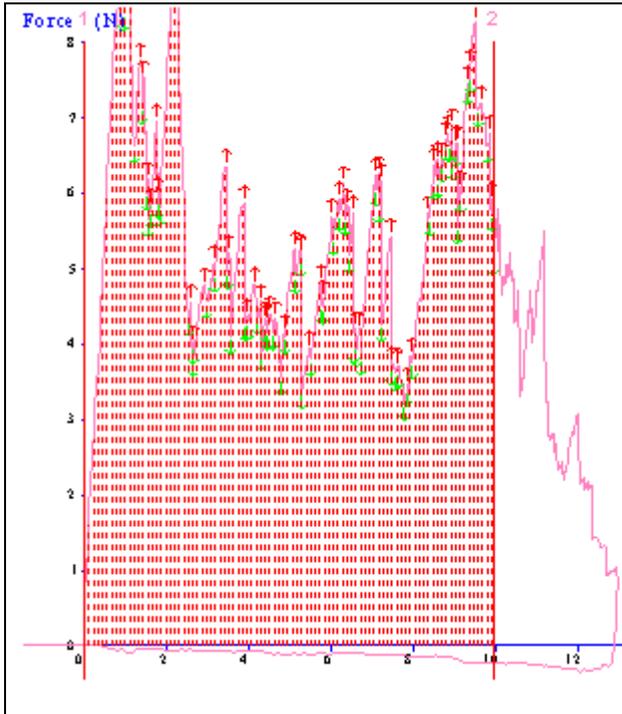
T5 GI

T6 GI

T7 GI

T8 GI



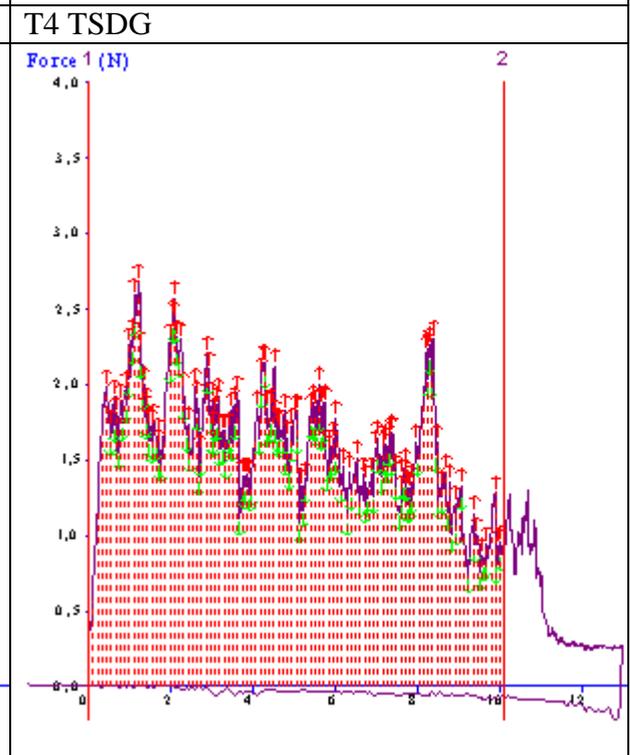
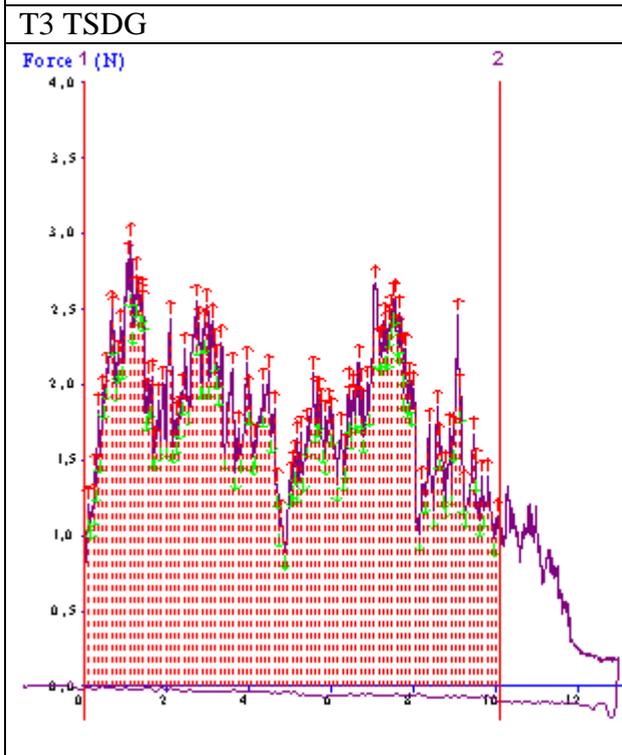
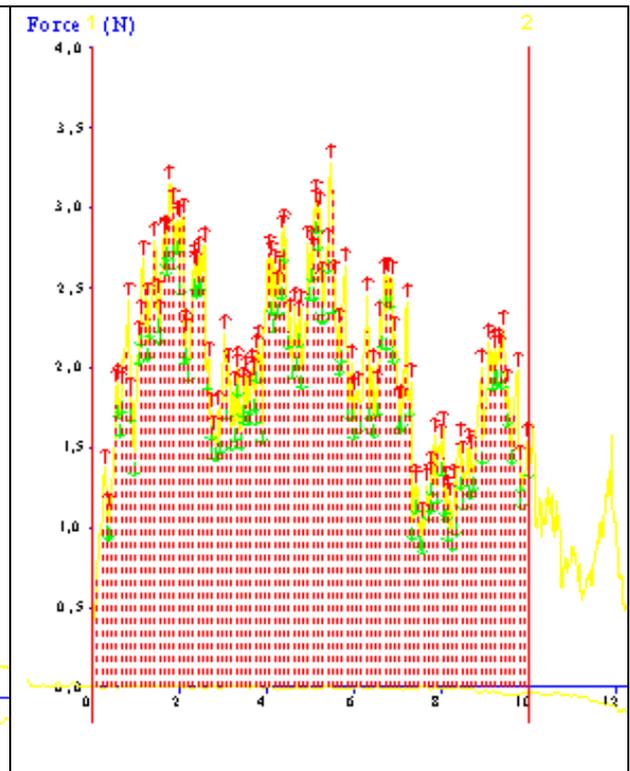
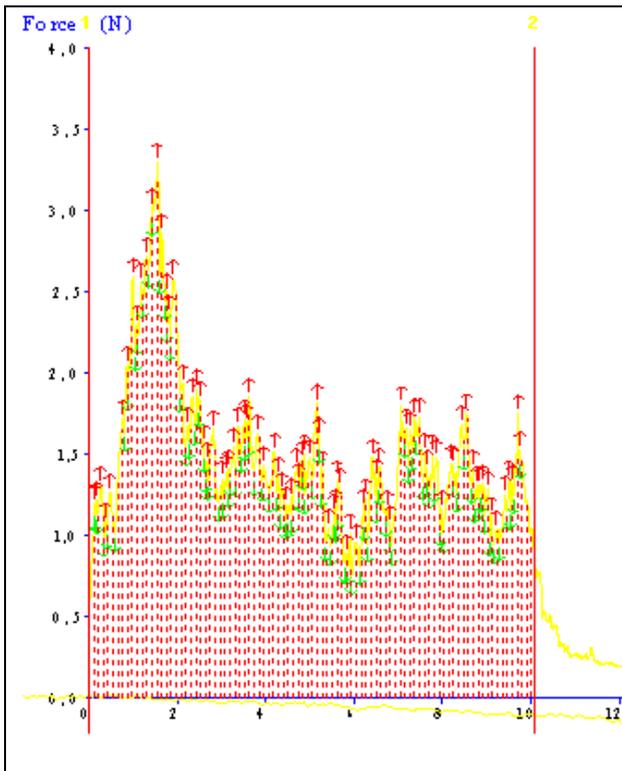


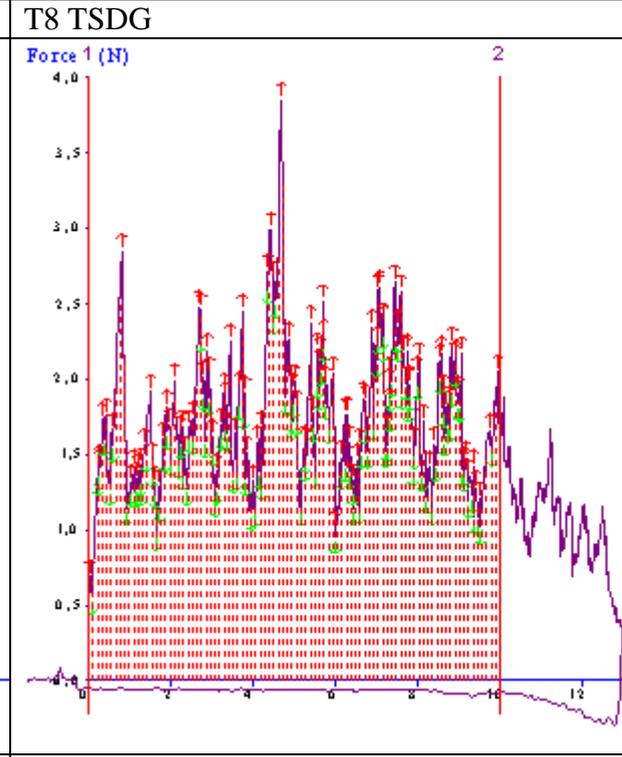
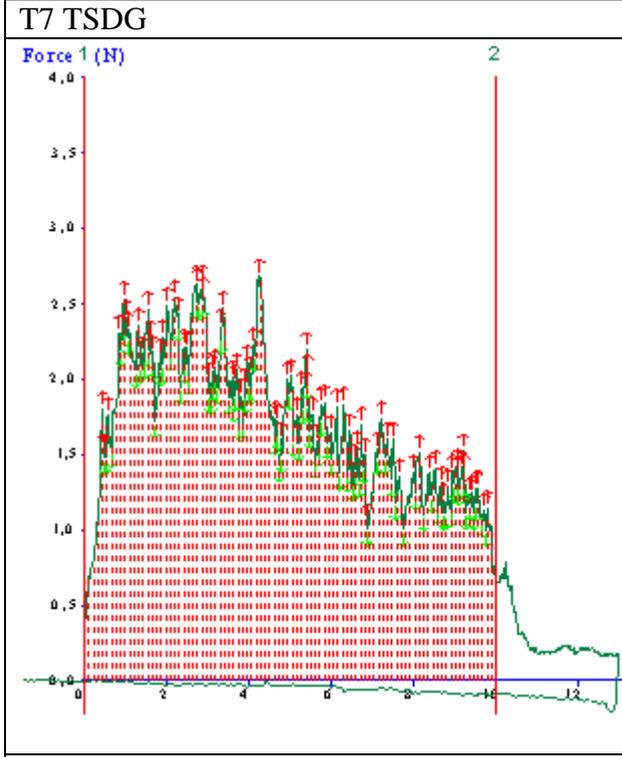
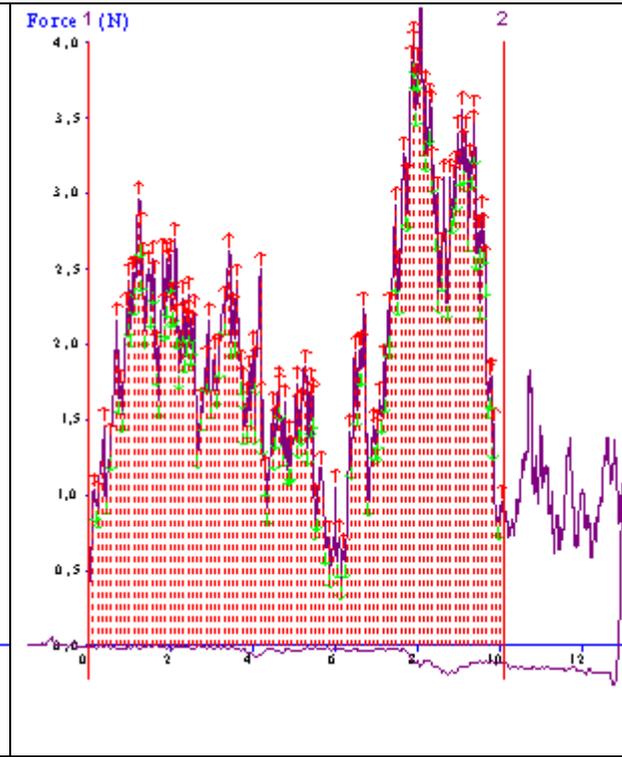
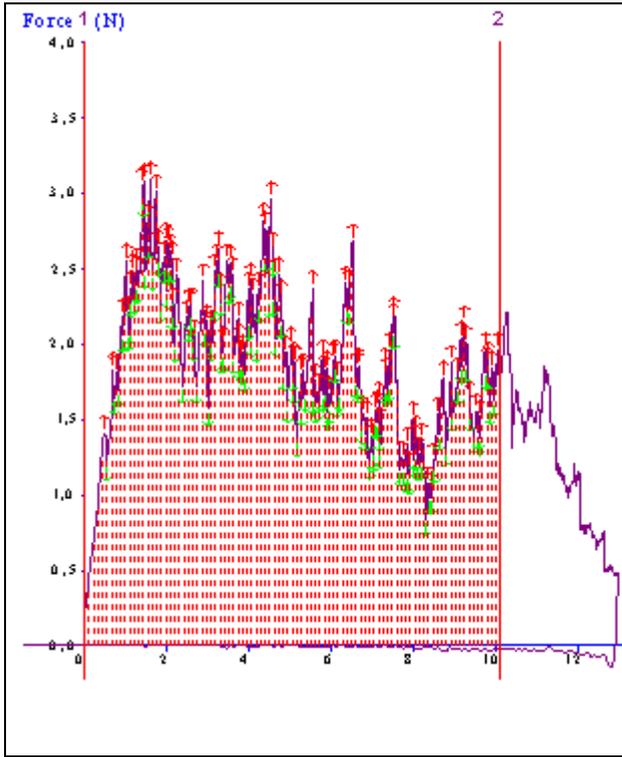
T13 GI

T2 TSDG

T1 TSDG

T2 TSDG



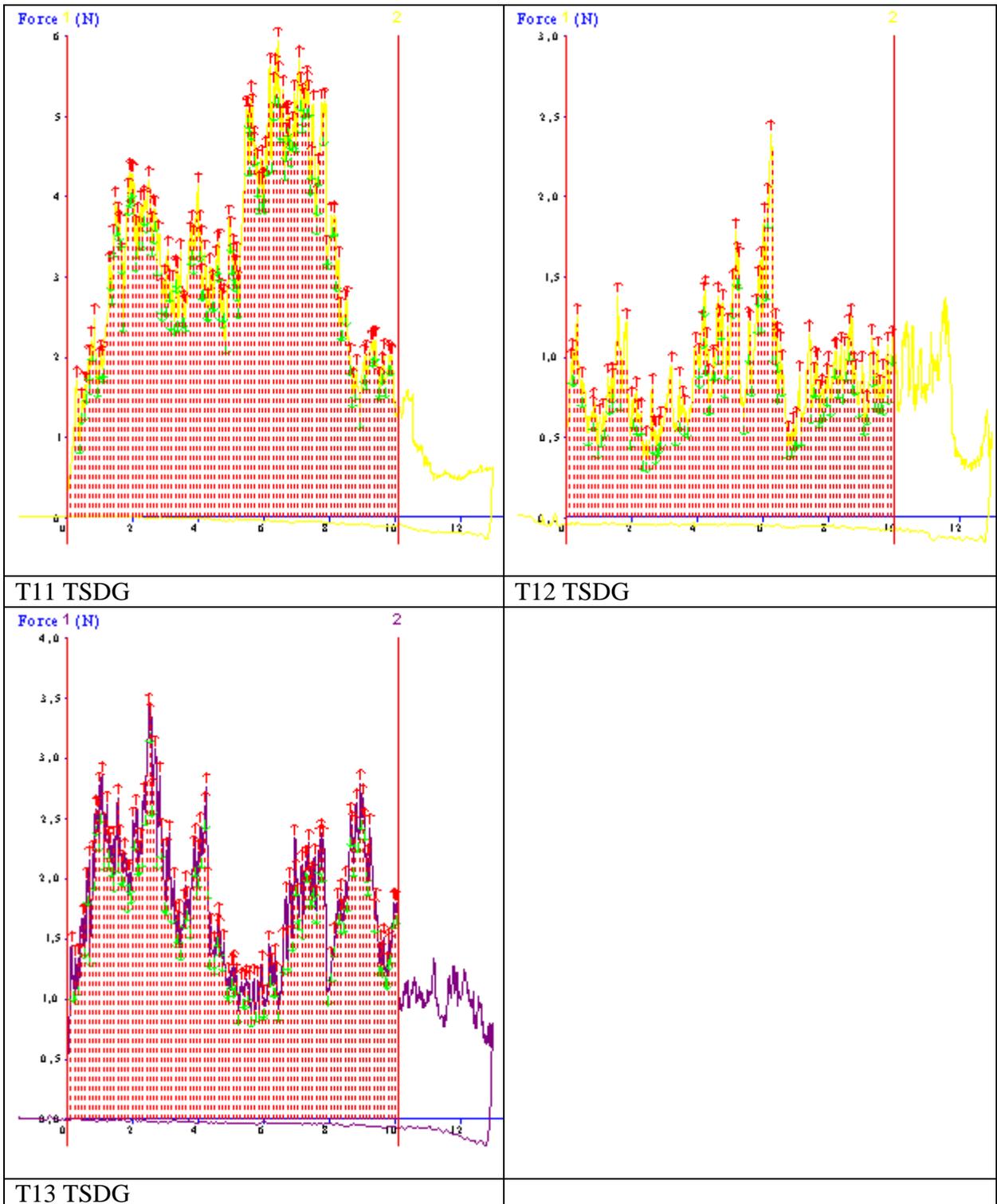


T7 TSDG

T8 TSDG

T9 TSDG

T10 TSDG



ANEXO F

Gráficos de textura dos produtos comerciais A e B

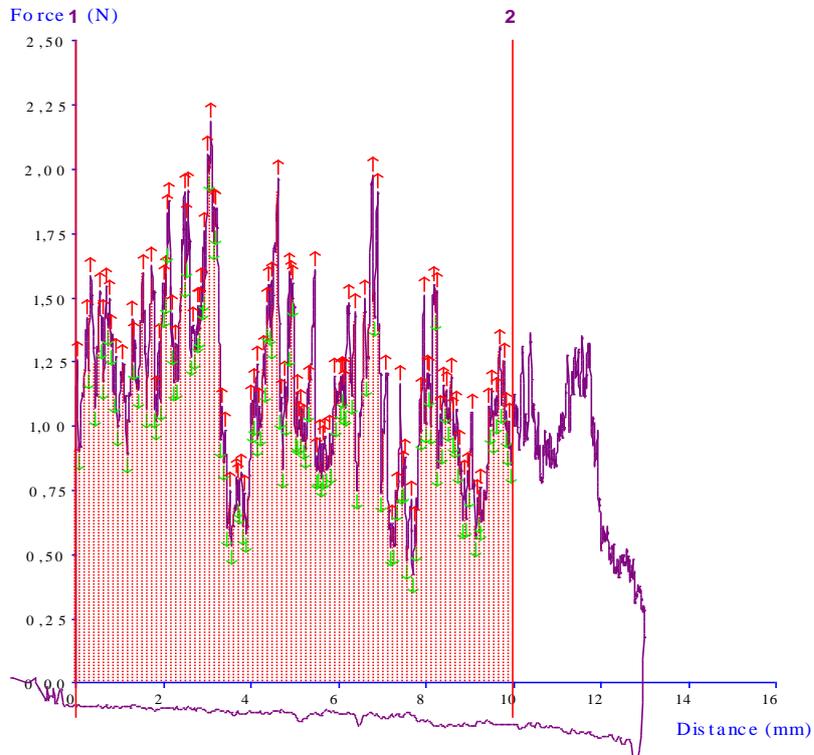


Gráfico Produto Comercial A

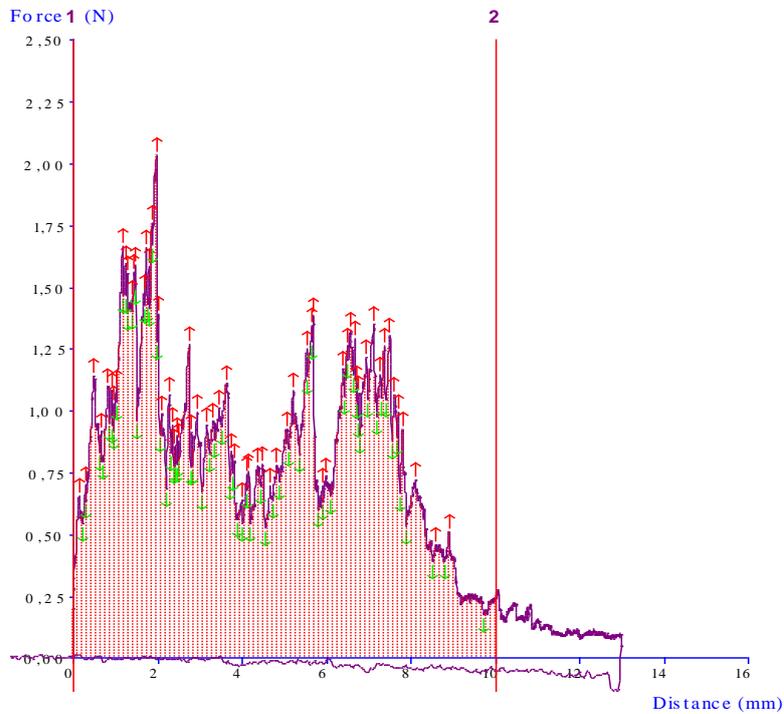
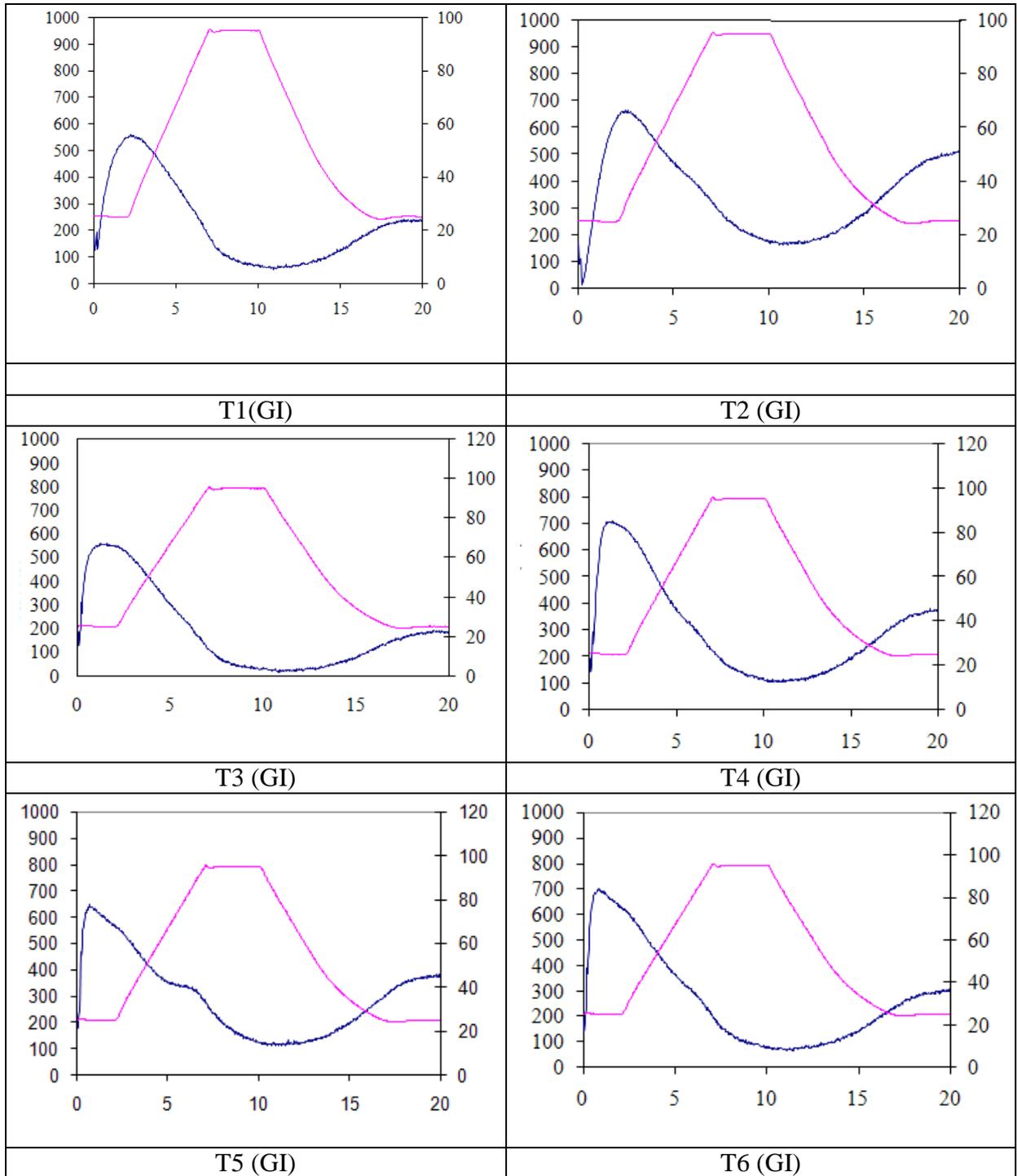
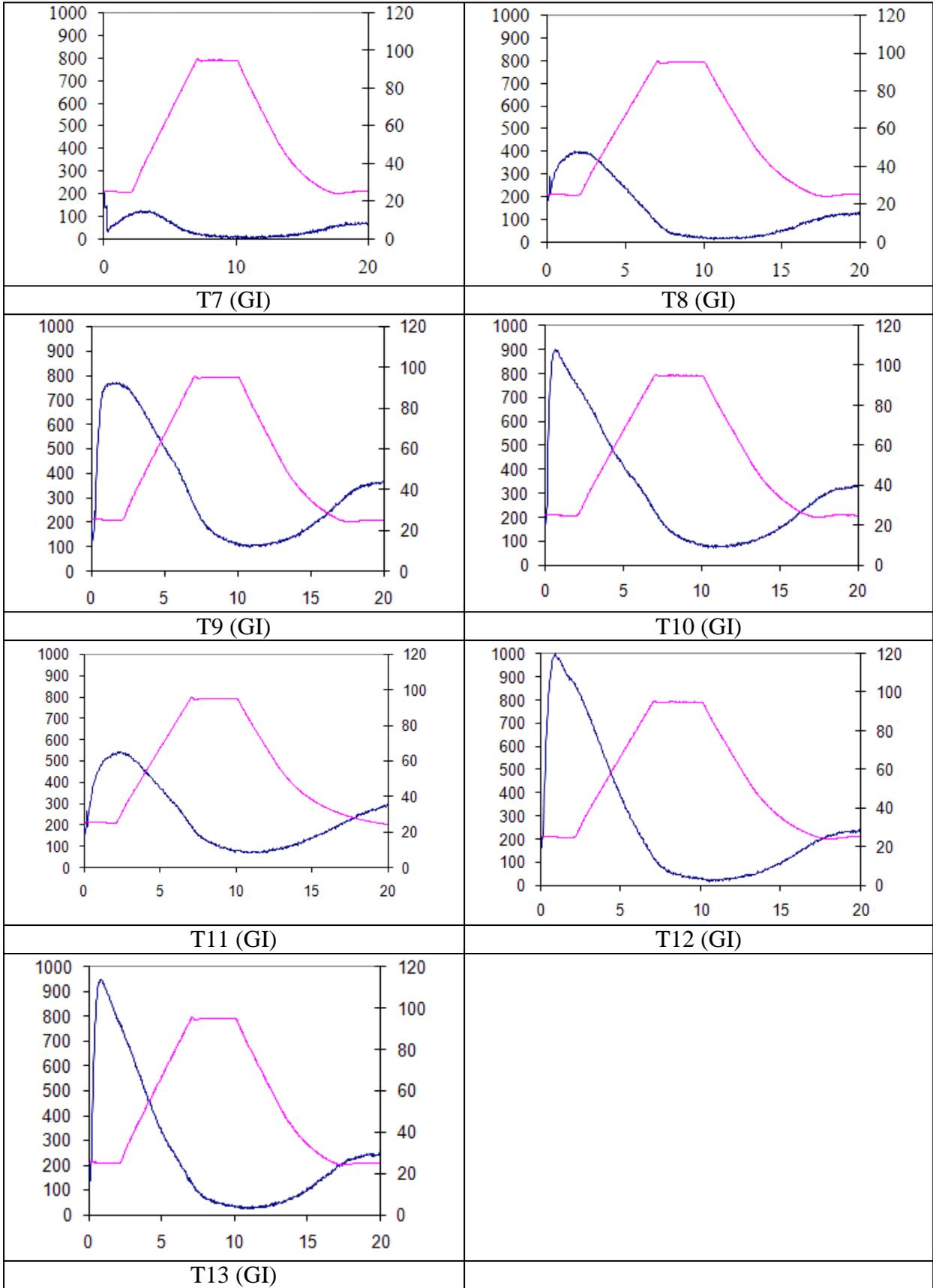


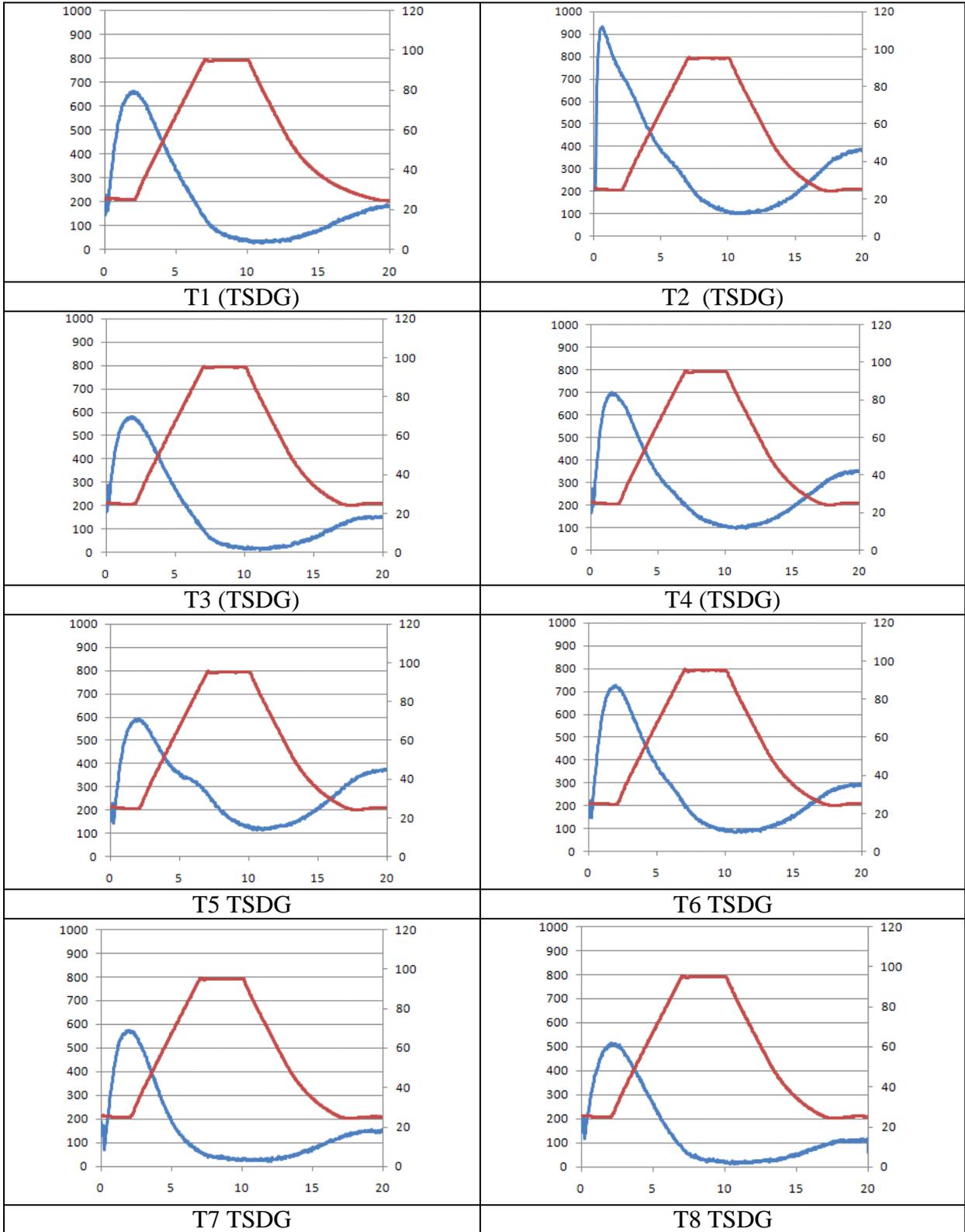
Gráfico Produto Comercial B

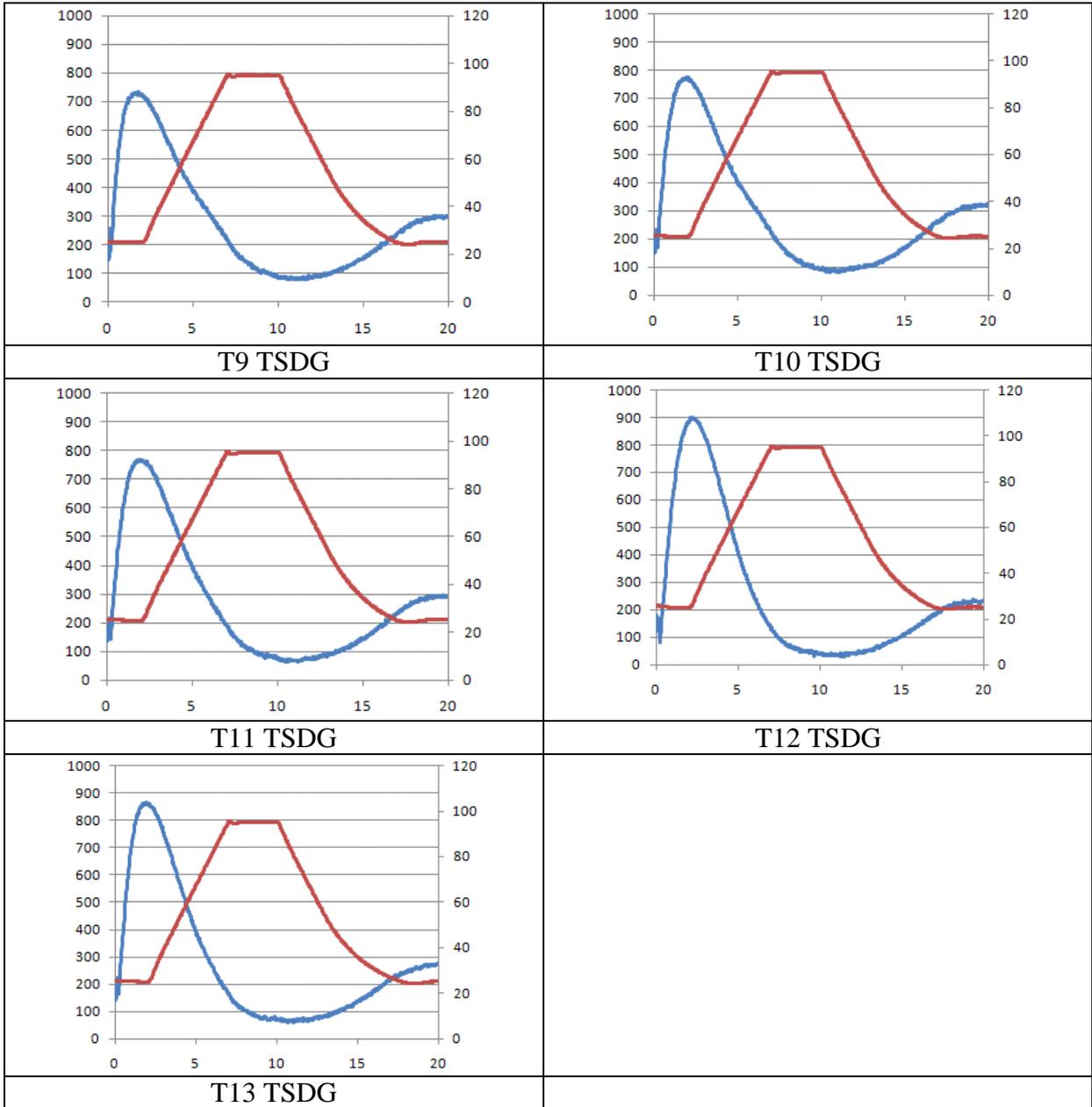
ANEXO G

Gráficos do RVA das amostras processadas em extrusora de laboratório e comercial.



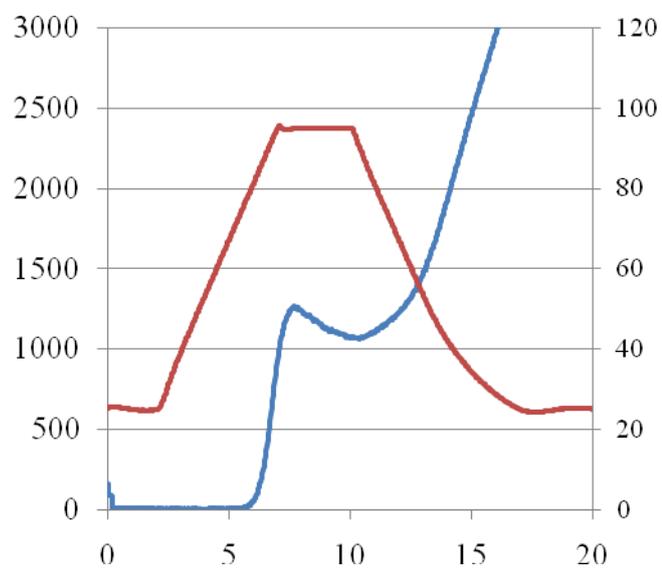




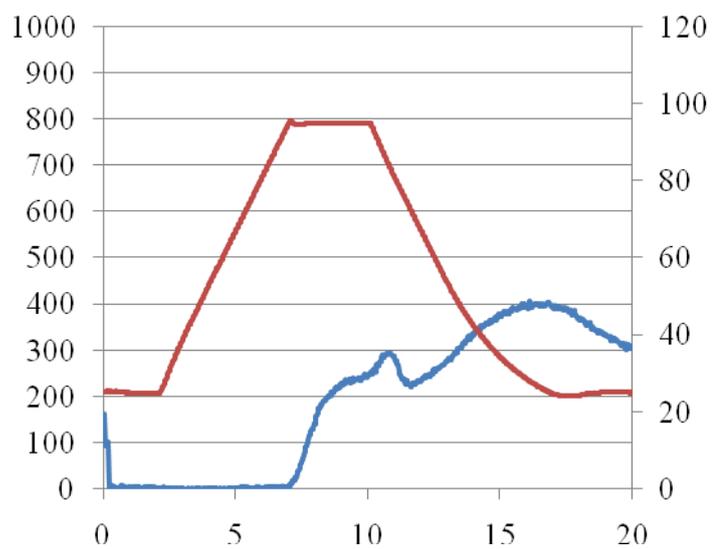


ANEXO H

Gráficos do RVA das matérias-prima



Grits de milho nativo moído



Torta semi-desengordurada de gergelim moído.