UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS DO PROCESSO DE EXTRUSÃO E DO TEOR DE FARELO DE TRIGO ADICIONADO EM CARACTERÍSTICAS DE "SNACKS" EXPANDIDOS DE MILHO

Reinaldo Eduardo Ferreira

ENGENHEIRO DE ALIMENTOS

Prof. Dr[a]. Caroline Joy Steel

ORIENTADORA

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre em Tecnologia de Alimentos.

Campinas – São Paulo

2006

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA FEA – UNICAMP

Ferreira, Reinaldo Eduardo
F413a Avaliação de parâmetros do processo de extrusão e do teor de farelo de trigo adicionado em características de "snacks" expandidos de milho / Reinaldo Eduardo Ferreira. -- Campinas, SP: [s.n.], 2006.

Orientador: Caroline Joy Steel
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos

1. Extrusão. 2. Snacks. 3. Farelo de trigo. 4. Propriedades funcionais. 5. Superfície de resposta – Metodologia. I. Steel, Caroline Joy. II. Universidade Estadual de Campinas.Faculdade de Engenharia de Alimentos. III. Título.

(cars/fea)

Título em inglês: Evaluation of extrusion process parameters and of wheat bran content added on features of corn expanded snacks
Palavras-chave em inglês (Keywords): Extrusion, Snacks, Wheat bran, Functional properties, Methodology – Response surface
Titulação: Mestre em Tecnologia de Alimentos
Banca examinadora: Caroline Joy Steel
Cesar Francisco Ciacco
Glaucia Maria Pastore
Yoon Kil Chang

REINALDO EDUARDO FERREIRA

AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS DO PROCESSO DE EXTRUSÃO E DO TEOR DE FARELO DE TRIGO ADICIONADO EM CARACTERÍSTICAS DE "SNACKS" EXPANDIDOS DE MILHO

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre em Tecnologia de Alimentos.

Aprovada em: de de 2006

BANCA EXAMINADORA

_____
Prof. Drª. Caroline Joy Steel
Departamento de Tecnologia de Alimentos - FEA/UNICAMP
(Orientadora)

_____
Prof. Dr. Cesar Francisco Ciacco
Centro de Ensino Profissional de São João da Boa Vista
(Membro)

_____
Prof. Drª. Glaucia Maria Pastore
Departamento de Ciência de Alimentos - FEA/UNICAMP
(Membro)

_____
Prof. Dr. Yoon Kil Chang
Departamento de Tecnologia de Alimentos - FEA/UNICAMP
(Membro)

Dedico este trabalho

A meus pais, Aparecido e Marlene, pelo amor, carinho, confiança e apoio de sempre.

AGRADECIMENTOS

A Deus, Pai todo poderoso, por Ele existir e estar sempre presente em minha vida.

À Prof. Dr^{a}. Caroline Joy Steel pela orientação, amizade, apoio e receptividade às minhas idéias e opiniões.

Aos demais membros da banca examinadora pelas correções e valiosas sugestões para a conclusão deste trabalho.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos.

Aos meus grandes amigos do Laboratório de Cereais: Ricardo, André, Gabriela, Eveline, Larissa, Luciana, Matheus, Leomar, Luz, e Camila. Vocês me fizeram perceber que a amizade é algo divino!

Ao Prof. Dr. Yoon Kil Chang e ao Dr. Leonard Sebio pelas valiosas sugestões dadas durante a realização deste trabalho.

À Alessandra, técnica do Laboratório de Cereais, pela amizade e pelo auxílio durante a realização das atividades laboratoriais.

A todos os funcionários da Padaria da FEA pelo apoio e amizade.

A todos os meus amigos da casa H7 da Moradia Estudantil da Unicamp pelo bom convívio e amizade.

A todos os meus amigos do Departamento de Tecnologia de Alimentos pelos bons momentos e pelo apoio.

A todos os que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste sonho.

“Põe tua confiança em Deus e ele te salvará;
orienta bem o teu caminho e espera nele.
Conserva o temor a ele até na velhice.”

(Eclesiástico 2, 6)

RESUMO

“Snacks” extrusados expandidos apresentam grande aceitação, principalmente por parte de crianças e adolescentes. Portanto, o desenvolvimento de “snacks” enriquecidos com fibras representa um meio para a introdução de fibra alimentar na dieta da população. A ingestão de fibras apresenta benefícios funcionais, ou seja, atribui-se às mesmas a redução do risco de ocorrência de diversas doenças, destacando-se: câncer de cólon, diabetes e doenças cardiovasculares. Neste trabalho, foram utilizados como ingredientes para a elaboração dos extrusados, farinha de milho e farelo de trigo. O milho foi escolhido pelo fato do mesmo ser utilizado na fabricação de uma grande variedade de produtos existentes no mercado brasileiro; além de apresentar uma quantidade significativa de amido (entre 65 e 70%). Já, o farelo de trigo foi escolhido também por estar presente em vários produtos contendo fibras presentes no mercado, destacando-se os pães, e por apresentar quantidades significativas de fibra alimentar (acima de 45%). O delineamento experimental utilizado baseou-se na Metodologia de Superfície de Resposta (MSR) e os experimentos foram realizados segundo um planejamento fatorial completo 2^3 com 17 ensaios experimentais, sendo 3 referentes ao ponto central. As variáveis independentes foram: umidade da matéria-prima, temperatura na 3ª zona do extrusor e quantidade de farelo de trigo na formulação. Os valores codificados ($-\alpha$ = -1,682; -1; 0; +1; $+\alpha$ = 1,682) apresentaram os seguintes valores reais para as 3 variáveis independentes: umidade (16,3%; 19%; 23%; 27%; 29,7%), temperatura (104,8ºC; 115ºC; 130ºC; 145ºC; 155,2ºC) e farelo de trigo (0,0%; 5,0%; 12,3%; 19,6%; 24,6%). As seguintes variáveis dependentes (respostas) foram consideradas: índice de expansão (IE), índice de absorção de água (IAA), índice de solubilidade em água (ISA), dureza (instrumental) e cor (L* - luminosidade). Os “snacks” também foram avaliados em relação a suas estruturas internas, utilizando Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Além disso, após a escolha do ponto ótimo, foram comparados “snacks” sem e com farelo de trigo com respeito a suas propriedades tecnológicas (físicas e funcionais) e sensoriais. Os valores encontrados para o IE demonstraram que um aumento no teor de farelo de trigo, na temperatura e na umidade promoveram uma redução no IE. Os maiores valores para o IAA foram obtidos para as menores porcentagens de farelo de trigo e maiores valores de

umidade. A temperatura de extrusão praticamente não teve influência significativa nesta variável. O ISA aumentou em função do aumento na temperatura e nas porcentagens de farelo de trigo; e da redução nos valores de umidade. Em relação à dureza, os extrusados menos duros foram resultantes dos menores valores de umidade, maiores valores de temperatura e maiores teores de farelo de trigo. Os “snacks” mais claros (maior valor de L*) foram obtidos nas temperaturas mais elevadas de processamento e com os maiores valores de umidade. Valores intermediários de farelo de trigo geraram “snacks” com os menores valores de L*. As análises feitas por MEV, demonstraram que elevados teores de umidade proporcionaram a obtenção de “snacks” com estrutura densa e pobre formação de células; altas temperaturas contribuíram para o enfraquecimento da estrutura dos extrusados; e elevados teores de farelo de trigo levaram à formação de um grande número de células incompletas, com paredes finas, o que resultou em uma estrutura frágil. Comparando os “snacks” sem e com farelo de trigo (controle e ótimo, respectivamente), produzidos sob as mesmas condições de umidade e temperatura, verificou-se que não diferiram significativamente em relação ao IAA, ao ISA e o valor de L*, enquanto que em relação ao IE e à dureza, diferiram. Na avaliação sensorial, os atributos avaliados em teste de aceitação foram a cor, a aparência, a textura, o sabor e a aceitação global. Os “snacks” diferiram apenas em relação à aceitação da cor e da aparência. Em relação à intenção de compra, o controle foi o melhor aceito. Embora o “snack” sem farelo de trigo tenha apresentado maior aceitação por parte dos consumidores, o “snack” com farelo de trigo apresenta grande potencial de consumo, principalmente por ser um produto funcional, representando uma alternativa para aumentar o consumo de fibras alimentares. O “snack” considerado como ótimo neste trabalho apresenta uma porcentagem de farelo de trigo superior (8,7 % em base úmida) à exigida pela legislação brasileira (6,0 % em base úmida) para que o produto possa ser denominado como de “alto teor de fibras”.

Palavras-chave: 1. Extrusão. 2. Snacks. 3. Farelo de trigo. 4. Propriedades funcionais. 5. Superfície de resposta – Metodologia.

ABSTRACT

Expanded extruded snacks present great acceptance, especially among children and adolescents. Therefore, the development of fiber enriched snacks represents a mean for the introduction of dietary fiber into the diet. The ingestion of fibers has functional benefits; the reduction of the risk of several diseases, highlighting: colon cancer, diabetes and cardiovascular diseases, is attributed to them. In this study, corn flour and wheat bran were used as ingredients to produce extrudates. Corn was chosen because it is used in a great variety of products found in the Brazilian market; moreover it has a significant amount of starch (between 65 and 70%). Wheat bran was chosen because it is found in several products containing fiber in the market, emphasizing breads; and contains significant amounts of dietary fiber (above 45%). The experimental design used was based on the Response Surface Methodology (RSM) and the experiments were carried out according to a 2^3 complete factorial design with 17 trials, being 3 of them referent to the central point. The independent variables were: raw material moisture content, temperature in the 3rd zone of the extruder and quantity of wheat bran in the formulation. Coded values ($-\alpha$ = -1.682; -1; 0; +1; $+\alpha$ = 1.682) presented the following real values for the 3 independent variables: moisture (16.3%; 19%; 23%; 27%; 29.7%), temperature (104.8ºC; 115ºC; 130ºC; 145ºC; 155.2ºC) and wheat bran (0.0%; 5.0%; 12.3%; 19.6%; 24.6%). The following dependent variables (responses) were considered: expansion index (EI), water absorption index (WAI), water solubility index (WSI), hardness (instrumental) and color (L* - luminosity). Snacks were also evaluated with respect to their internal structure, using Scanning Electronic Microscopy (SEM). Besides this, after determining the optimal fiber enriched product, snacks without and with wheat bran were compared in terms of their technological (physical and functional) and sensory properties. Values found for the EI showed that an increase in the wheat bran content, temperature and moisture resulted in a reduction of the EI. The highest values for the WAI were obtained for the lowest percentages of wheat bran and highest values of moisture. Extrusion temperature had almost no influence on this variable. The WSI increased due to the increase of the temperature and of the percentage of wheat bran; and due to the decrease of moisture. In relation to hardness, the less hard extrudates were resultant of the lowest values of moisture,

and of the highest values of temperature and highest contents of wheat bran. The lightest (highest values of L*) snacks were obtained at the highest processing temperatures and with the highest values of moisture. Intermediate values of wheat bran produced snacks with the lowest L* values. Analyses using SEM showed that high moisture contents provided snacks with a dense structure and poor cell formation; high temperatures contributed to the weakening of the structures of the extrudates; and high wheat bran contents lead to the formation of a great number of incomplete cells with thin walls, that resulted in a fragile structure. Comparing snacks without and with wheat bran (control and optimum, respectively), produced under the same conditions of moisture and temperature, it was verified that the snacks did not differ significantly with respect to WAI, WSI and L* value, whereas with respect to the EI and hardness, they differed. In the sensory analysis, the attributes evaluated in an acceptance test were color, appearance, texture, taste and global acceptance. Snacks differed only in the acceptance of color and appearance. With respect to purchase intention, the control was best accepted. Although the snack without wheat bran have presented higher acceptation by the consumers, the snack with wheat bran shows a great potential of consumption, specially being a functional product, representing an alternative to increase the ingestion of dietary fiber. The snack considered as optimum in this study has a higher percentage of wheat bran (8.7% wet basis) than that required by the Brazilian legislation (6.0 % wet basis) to permit the use of a “high fiber content” claim.

Keywords: 1. Extrusion. 2. Snacks. 3. Wheat bran. 4. Functional properties. 5. Methodology – Response surface.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Extrusor mono-rosca utilizado na realização dos ensaios (Laboratório de Cereais, Raízes e Tubérculos – DTA/FEA/UNICAMP) 11
Figura 2: Esquema representativo do extrusor mono rosca BRABENDER utilizado para a produção dos "snacks" 25
Figura 3: Esquema de produção dos "snacks" 28
Figura 4: Efeito da umidade da matéria-prima e da temperatura de extrusão no IE dos "snacks" 51
Figura 5: Efeito da umidade da matéria-prima e do teor de farelo de trigo no IE dos "snacks" 55
Figura 6: Efeito do teor de farelo de trigo e da temperatura de extrusão no IE dos "snacks" 59
Figura 7: Efeito da umidade da matéria-prima e da temperatura de extrusão na dureza dos "snacks" 67
Figura 8: Efeito da umidade da matéria-prima e do teor de farelo de trigo na dureza dos "snacks" 71
Figura 9: Efeito do teor de farelo de trigo e da temperatura na dureza dos "snacks" 75
Figura 10: Efeito da umidade da matéria-prima e da temperatura de extrusão no valor de L* dos "snacks" 83
Figura 11: Efeito da umidade da matéria-prima e do teor de farelo de trigo no valor de L* dos "snacks" 87
Figura 12: Efeito do teor de farelo de trigo e da temperatura no valor de L* dos "snacks" 91
Figura 13: Efeito da umidade da matéria-prima e da temperatura de extrusão no IAA dos "snacks" 99
Figura 14: Efeito da umidade da matéria-prima e do teor de farelo de trigo no IAA dos "snacks" 103
Figura 15: Efeito do teor de farelo de trigo e da temperatura de extrusão no IAA dos "snacks" 107
Figura 16: Efeito da umidade da matéria-prima e da temperatura de extrusão no ISA dos "snacks" 115
Figura 17: Efeito da umidade da matéria-prima e do teor de farelo de trigo no ISA dos "snacks" 119
Figura 18: Efeito do teor de farelo de trigo e da temperatura de extrusão no ISA dos "snacks" 123
Figura 19: "Snacks" extrusados expandidos sob diferentes condições de processamento .127
Figura 20: Micrografias demonstrando a estrutura interna dos extrusados* 131
Figura 21: Intenção de compra – "snacks" controle e ótimo 141
Figura 22: Comparação visual entre "snacks" – controle (A) e ótimo (B) 143
Figura 23: Micrografias dos "snacks" padrão (P) e ótimo (O) (50x, barra = 300 μm) 145

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Etapas do desenvolvimento da tese (atividades de laboratório) 22
Tabela 2: Parâmetros utilizados na produção dos “snacks”.....24
Tabela 3: Variáveis independentes e níveis de variação 33
Tabela 4: Ensaios realizados (níveis em valores codificados e correspondentes valores decodificados ou reais).....34
Tabela 5: Distribuição granulométrica da farinha de milho* 39
Tabela 6: Distribuição granulométrica do farelo de trigo*.....39
Tabela 7: Composição química centesimal das matérias-primas* 41
Tabela 8: Resultados experimentais obtidos para as diferentes condições de extrusão 44
Tabela 9: Coeficientes de regressão para o Índice de Expansão (IE) 46
Tabela 10: Coeficientes de regressão ajustados para o Índice de Expansão (IE) 47
Tabela 11: ANOVA para o Índice de Expansão (IE) 47
Tabela 12: IE experimental x IE predito 48
Tabela 13: Coeficientes de regressão para a dureza dos “snacks” extrusados.....62
Tabela 14: Coeficientes de regressão ajustados para a dureza dos “snacks” extrusados.....63
Tabela 15: ANOVA para a dureza dos “snacks” extrusados.....63
Tabela 16: Dureza experimental x dureza predita.....64
Tabela 17: Coeficientes de regressão para a luminosidade (L*) dos “snacks” extrusados....78
Tabela 18: Coeficientes de regressão ajustados para a luminosidade (L*) dos “snacks” extrusados 79
Tabela 19: ANOVA para a luminosidade (L*) dos “snacks” extrusados 79
Tabela 20: Luminosidade (L*) experimental x luminosidade (L*) predita 80
Tabela 21: Coeficientes de regressão para o Índice de Absorção de Água (IAA).....94
Tabela 22: Coeficientes de regressão ajustados para o IAA.....95
Tabela 23: ANOVA para o IAA.....95
Tabela 24: IAA experimental x IAA predito.....96
Tabela 25: Coeficientes de regressão para o Índice de Solubilidade em Água (ISA) 110
Tabela 26: Coeficientes de regressão ajustados para o ISA.....111
Tabela 27: ANOVA para o ISA.....111
Tabela 28: ISA experimental x ISA predito.....112
Tabela 29: Composição centesimal – “snack” com farelo de trigo 136
Tabela 30: Comparação entre “snacks” controle sem farelo e enriquecido ótimo.....137
Tabela 31: Resultados do teste de aceitação sensorial dos “snacks” controle e ótimo 139

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO....1
2. REVISAO BIBLIOGRÁFICA....3
2.1. ALIMENTOS FUNCIONAIS....3
2.2. FIBRA ALIMENTAR....5
2.3. EXTRUSÃO....7
2.3.1. Processo....7
2.3.2. Equipamento....9
2.3.3. Matérias-primas utilizadas no processo....13
2.4. “SNACKS”....14
2.5. A METODOLOGIA DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA NA OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE “SNACKS”....17
3. MATERIAL E MÉTODOS....19
3.1. MATERIAL....19
3.1.1. Matérias-primas....19
3.1.2. Reagentes....19
3.1.3. Equipamentos....19
3.2. MÉTODOS....20
3.2.1. Moagem do milho....20
3.2.2. Caracterização granulométrica das matérias-primas....20
3.2.3. Composição centesimal....20
3.2.3.1. Umidade....21
3.2.3.2. Proteína bruta....21
3.2.3.3. Lipídios....21
3.2.3.4. Cinzas....21
3.2.3.5. Fibras....21
3.2.3.6. Carboidratos totais....21
3.2.4. Etapas do desenvolvimento do projeto....22
3.2.5. Extrusão....23
3.2.5.1. Preparo da matéria-prima....23
3.2.5.2. Parâmetros utilizados na produção dos “snacks”....24
3.2.5.3. Processamento....24
3.2.5.3.1. Visualização da produção dos “snacks”....28
3.2.6. Avaliação das características tecnológicas físicas e tecnológicas funcionais dos “snacks” extrusados expandidos....29
3.2.6.1. Características tecnológicas físicas....29
3.2.6.1.1. Índice de expansão (IE)....29
3.2.6.1.2. Dureza....29
3.2.6.1.3. Luminosidade – L*....29
3.2.6.2. Características tecnológicas funcionais....30
3.2.6.1.4. Índice de absorção de água (IAA)....30

3.2.6.1.5. Índice de solubilidade em água (ISA) 31
3.2.7. Delineamento experimental 32
3.2.8. Ponto controle e escolha do ponto ótimo 36
3.2.9. Análise sensorial 36
3.2.10. Avaliação dos “snacks” por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) 38
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 39
4.1. CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS 39
4.1.1. Análise granulométrica 39
4.1.2. Composição química centesimal 41
4.1.3. Índice de Absorção de Água (IAA) das matérias-primas 42
4.1.4. Índice de Solubilidade em Água (ISA) das matérias-primas 43
4.2. RESULTADOS EXPERIMENTAIS – EXTRUSÃO 43
4.3. AVALIAÇÃO DOS “SNACKS” EXTRUSADOS 45
4.4. AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS FÍSICAS DOS “SNACKS” EXTRUSADOS 46
4.4.1. Índice de Expansão (IE) 46
4.4.2. Dureza 62
4.4.3. luminosidade (L*) 78
4.5. AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS FUNCIONAIS DOS EXTRUSADOS 94
4.5.1. Índice de Absorção de Água (IAA) 94
4.5.2. Índice de Solubilidade em Água (ISA) 110
4.6. CARACTERIZAÇÃO VISUAL DOS EXTRUSADOS 126
4.7. AVALIAÇÃO MICROSCÓPICA DOS EXTRUSADOS 129
4.8. COMPARAÇÃO ENTRE “SNACKS” ENRIQUECIDO ÓTIMO E CONTROLE SEM FARELO 134
4.8.1. Considerações gerais 134
4.8.2. Composição centesimal 136
4.8.3. Comparação das características tecnológicas físicas e funcionais dos “snacks” extrusados 137
4.8.4. Avaliação sensorial 139
4.8.5. Comparação visual 143
4.8.6. Comparação microscópica 145
5. CONCLUSÃO 147
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 149
ANEXOS 159
Anexo A: Avaliação sensorial de “snack” de milho 161
Anexo B: Avaliação sensorial de “snack” de milho contendo fibras 163

1. INTRODUÇÃO

A incorporação de fibra alimentar em “snacks” extrusados expandidos e em cereais matinais tem aumentado, visto que a ingestão inadequada de fibras está relacionada à incidência de diversas doenças (Lue et al., 1990), destacando-se: doenças coronárias, diabetes, obesidade e câncer (CHO, CLARK, URIBE-SAUCEDO, 2004).

Embora o consumo de fibra alimentar tenha aumentado, este não tem atingido a quantidade adequada, ou seja, a ingestão diária recomendada (IDR), que no caso do Brasil é de 25 g (AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA, 2003). Este fato deve-se não apenas aos hábitos alimentares inadequados, mas também aos produtos encontrados no mercado que, muitas vezes, apresentam baixas quantidades de fibra alimentar.

“Snacks” extrusados expandidos geralmente são pobres em fibra alimentar, mas apresentam boa aceitação, principalmente entre crianças e adolescentes. Destaca-se que de acordo com Collucci e Bassette (2005), 35% dos indivíduos entre 7 e 12 anos de idade estão acima do peso no Brasil. Em função da boa aceitação, os “snacks” podem ser utilizados como meio para fornecer fibra alimentar em quantidades significativas, de forma a suprir parte da IDR.

No processo de extrusão, os parâmetros de processo, como a umidade da matéria-prima e a temperatura, e as características das matérias-primas utilizadas apresentam grande influência nas características dos produtos finais, como a textura, a estrutura interna, a expansão e os atributos sensoriais (MENDONÇA, GROSSMANN, VERHÉ, 2000). De forma a melhorar as características físicas e tecnológicas; e, por conseqüência, a aceitação dos “snacks”, o estudo de variáveis de processo faz-se extremamente necessário.

Neste trabalho, objetivou-se avaliar a influência da umidade da matéria-prima, da temperatura da 3ª zona do extrusor e da quantidade de farelo de trigo (fonte de fibras) sobre o índice de expansão (IE), o índice de absorção de água (IAA), o índice de solubilidade em água (ISA), a dureza (instrumental) e a luminosidade (L*); utilizando para isso a Metodologia de Superfície de Resposta (MSR). Além disso, objetivou-se caracterizar os extrusados em relação à sua estrutura interna através de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV); e,

também, comparar “snacks” com e sem farelo de trigo em relação a suas características físicas, funcionais e sensoriais.

2. REVISAO BIBLIOGRÁFICA

2.1. ALIMENTOS FUNCIONAIS

Alimentos funcionais fisiológicos ou nutracêuticos são alimentos que apresentam não apenas funções nutricionais, devido à presença de substâncias que atuam no organismo regulando funções bioquímicas e/ou fisiológicas, mas que também conferem maior proteção à saúde, visto que auxiliam no retardamento de processos patológicos que resultam em doenças crônicas e degenerativas (SGARBIERI, PACHECO, 1999).

Os componentes dos alimentos que apresentam características funcionais fisiológicas podem ser divididos em nutrientes e não-nutrientes. Dentre os nutrientes, destacam-se algumas vitaminas; minerais essenciais; proteínas e peptídeos; ácidos graxos poliinsaturados da família ω-3 e componentes da fibra alimentar. Já, dentre os não-nutrientes, destacam-se alguns carotenóides, compostos organosulfurados, compostos fenólicos, oligossacarídeos, limonóides e substâncias indólicas. Atribui-se às substâncias não-nutrientes propriedades antioxidantes, anti-radicais livres e anticarcinogênicas (ANDLAUER, FÜRST, 2002; SGARBIERI, PACHECO, 1999).

Grãos de cereais e leguminosas; frutas e hortaliças; peixes e outros alimentos de origem aquática; leite e produtos derivados; além de bebidas (chá e vinho) são alimentos destacados por Mazza (1998) por suas propriedades funcionais.

No Japão, os alimentos funcionais têm sido estudados e desenvolvidos desde o início da década de 80, sendo que, em 1991, o Ministério da Saúde e do Bem-Estar deste país introduziu um sistema de licenciamento conhecido como “Foods for Specified Health Use” (FOSHU). Tal sistema aplica-se a alimentos com alegações sobre benefícios específicos à saúde dos consumidores (SGARBIERI, PACHECO, 1999).

No Brasil, os alimentos funcionais passaram a ser submetidos a uma legislação específica a partir de 1999, tendo sido estabelecidos parâmetros para registro e rotulagem de tais alimentos, além de diretrizes para análise e comprovação das propriedades funcionais dos mesmos. De acordo com a legislação brasileira, são permitidos apenas apelos relacionados à manutenção da saúde e à redução do risco de doenças, sendo proibidas

alegações de prevenção e de cura (AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA, 1999; LAJOLO, 2002).

Lajolo (2002) apresenta algumas alegações permitidas na rotulagem de alimentos funcionais de acordo com a legislação brasileira, destacando-se as seguintes: “Ajuda na manutenção de um nível saudável de colesterol quando associado a uma dieta e a um estilo de vida saudáveis” – alimentos contendo fitoesteróis; “Contribui para a manutenção de uma flora intestinal saudável” – prebióticos, como no caso dos alimentos contendo fibras; e “Auxilia no aumento de uma flora intestinal benéfica” – probióticos.

De acordo com Colavitti (2005), o mercado de alimentos funcionais movimentou mais de US$ 50 bilhões em 2004, sendo que os maiores mercados para estes produtos são os EUA, a Europa e o Japão. No Brasil, segundo a autora, estão registrados cerca de 130 produtos com a alegação de alimento funcional.

Embora o mercado mundial de alimentos funcionais tenha crescido bastante nos últimos anos, a América Latina é responsável por apenas 2% desse mercado. Para o Brasil, não existem dados sobre a comercialização e o faturamento de tais produtos (OLIVEIRA, FERNANDES, 2004).

De acordo com Sgarbieri e Pacheco (1999), a segmentação do mercado de alimentos funcionais, em termos mundiais, tem ocorrido da seguinte maneira: produtos à base de fibra alimentar (40%); ricos em cálcio (20%); à base de oligossacarídeos (20%); contendo bactérias lácticas (10%) e outros (10%).

Nos últimos anos, os cereais têm sido investigados de maneira crescente em relação a suas características funcionais, uma vez que os mesmos têm ocupado 73% da área cultivada no mundo e representado mais de 60% do alimento produzido. Os cereais são fontes de fibras alimentares, proteínas, energia, minerais e vitaminas. Além disso, podem ser utilizados na formulação de alimentos funcionais, apresentando as seguintes características: fonte de substratos fermentescíveis para o crescimento de microrganismos probióticos, ou seja, atuam como prebióticos; e fonte de fibras alimentares, que apresentam benefícios fisiológicos, como a redução do tempo de trânsito do bolo alimentar (CHARALAMPOPOULOS et al., 2002).

2.2. FIBRA ALIMENTAR

Fibra alimentar consiste em frações de células vegetais, polissacarídeos, lignina, e substâncias associadas, que são resistentes à hidrólise por enzimas alimentares presentes no sistema digestivo dos seres humanos (AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA, 2003; CHO, DEVRIES, PROSKY, 1997).

Sgarbieri e Pacheco (1999) caracterizam as fibras em termos químicos e físico-químicos, sendo que quimicamente dividem os componentes da fibra alimentar em: não-glicídicos, polissacarídeos não-amiláceos e amido resistente. Os componentes não-glicídicos, como proteínas, ceras e lignina, somados à celulose, hemicelulose e substâncias pécticas, representam os componentes da parede celular vegetal. Gomas, mucilagens, polissacarídeos não-amiláceos de origem vegetal e bacteriana, juntamente com o amido resistente, representam os demais componentes da fibra.

Em relação às propriedades físico-químicas, André, Rodriguez e Moraes Filho (2000) e Sgarbieri e Pacheco (1999) dividem a fibra alimentar em duas frações: insolúvel e solúvel em água. Os autores afirmam que a fração insolúvel é formada principalmente de celulose, lignina e hemicelulose. Tal fração exerce um efeito físico-mecânico no organismo, pois atua no aumento do volume do bolo alimentar e das fezes, além de diminuir o tempo de trânsito intestinal.

André, Rodriguez e Moraes Filho (2000) e Sgarbieri e Pacheco (1999) citam como exemplos para os componentes solúveis da fibra alimentar: gomas, mucilagens, substâncias pécticas e outros polissacarídeos solúveis. Afirmam, também, que tais componentes absorvem muita água já a partir do estômago, formando sistemas viscosos de consistência gelatinosa, que podem retardar o esvaziamento gástrico e o trânsito do conteúdo intestinal. Outro ponto importante enfatizado pelos autores diz respeito à proteção da mucosa do estômago e do intestino delgado através da formação de uma camada viscosa que dificulta a absorção de açúcares e gorduras, auxiliando, dessa forma, na redução dos níveis lipídicos e de glicemia no sangue.

A fração solúvel das fibras sofre fermentação no intestino grosso, por bactérias anaeróbicas presentes no cólon, como as dos gêneros *Bifidobacterium* e *Lactobacillus*,

resultando em efeitos benéficos para o organismo, destacando-se: produção de substâncias antibacterianas (ácidos graxos de cadeia curta – ácidos acético, propiônico e butírico), que impedem a proliferação de bactérias patogênicas; e a produção de vitaminas (principalmente as do complexo B). Entre 70 e 90% da fibra alimentar solúvel pode ser fermentada no intestino grosso, porém, tal valor varia em função da fonte de fibra (ANDRÉ, RODRIGUEZ, MORAES FILHO, 2000; SGARBIERI, PACHECO, 1999).

Em resumo, são apontados os seguintes benefícios proporcionados pela ingestão de fibras: gerenciamento da função do intestino grosso; intensificação da função absortiva; melhorias na manutenção da integridade do intestino; manutenção da função de barreira intestinal; melhoria da tolerância à glicose; melhoria do perfil lipídico do sangue; normalização da microflora intestinal; além da redução da constipação e da diarréia (NESTLÉ, 2004).

De acordo com Lajolo et al. (2001), o consumo médio de fibra alimentar pela população nas seis maiores regiões metropolitanas do Brasil passou de 19,3 g/dia na década de 70 para 12,4 g/dia na década de 90.

Segundo Marlett, McBurney e Slavin (2002), a Associação Norte-Americana de Dietética destaca que as recomendações em relação à ingestão diária de fibra alimentar encontram-se na faixa entre 20 e 35 g. Os autores apontam, também, que, nos Estados Unidos, a ingestão de fibra alimentar tem sido abaixo da recomendada (entre 14 e 15 g/dia) e que 73% da população acredita que o consumo abaixo de 20 g/dia é satisfatório. No Brasil, a ingestão diária recomendada (IDR) de fibras alimentares é de 25 g (AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA, 2003).

Gray, Walker e Awipi (2004) avaliaram a ingestão diária de fibra alimentar por parte de estudantes universitários norte-americanos e encontraram que apenas 13,2% dos estudantes ingeriam quantidades entre 20 e 35 g/dia. Os autores recomendaram que, para elevar tal índice, fossem disponibilizados alimentos com altos teores de fibras alimentares nos refeitórios das universidades.

Para crianças, Williams, Bollella e Wynder (1995) apontam que uma ingestão diária de fibras alimentares considerada segura está compreendida na seguinte faixa: idade da criança

mais 5 g e idade da criança mais 10 g. Esta faixa é recomendada para crianças a partir dos dois anos de idade.

Para André, Rodriguez e Moraes Filho (2000), do total de fibras ingeridas em uma dieta ideal, aproximadamente dois terços devem ser fibras insolúveis e um terço, fibras solúveis.

Os grãos de cereais e de leguminosas e seus derivados (farinhas integrais e farelos), além de frutas e hortaliças, representam as principais fontes de fibra alimentar na dieta humana (SGARBIERI, PACHECO, 1999).

André, Rodriguez e Moraes Filho (2000) citam quantidades de fibras alimentares encontradas em alguns alimentos, em 100 g de produto: cereais All Bran (30,1 g), cereais de cutícula de aveia (17 g) e gérmen de trigo (14 g).

2.3. EXTRUSÃO

2.3.1. PROCESSO

Inicialmente, na década de 1930, o processo de extrusão foi utilizado para a fabricação de macarrão; sendo que, posteriormente, tal processo passou a ser utilizado para a obtenção de outros produtos alimentícios (EL-DASH, 1981).

O processo de extrusão termoplástica é definido como um processo contínuo, no qual ocorrem simultaneamente diversas operações como a mistura, o cisalhamento, o cozimento e o modelamento. Sendo assim, a matéria-prima extrusada é submetida a várias mudanças, dentre as quais destacam-se: hidratação de amido e proteínas, homogeneização, gelatinização do amido, liquefação de gorduras, desnaturação de proteínas, destruição de fatores anti-nutricionais, inativação de enzimas, plastificação e expansão do material processado (EL-DASH, 1981; FELLOWS, 2000; MERCIER, CANTARELLI, 1986).

Na área de alimentos, o processo de extrusão termoplástica possibilita, com pouca ou nenhuma modificação dos equipamentos básicos, e com um controle apropriado do processo, a produção de uma grande variedade de produtos: cereais matinais, “snacks”,

amidos modificados, produtos de confeitaria, proteínas vegetais texturizadas, produtos cárneos e rações animais (EL-DASH, 1981).

Guy (2001) e Stanley (1986) relacionam ao processo de extrusão as seguintes vantagens: versatilidade, custos baixos, altas taxas de produção, produtos de boa qualidade e ausência de efluentes.

A extrusão termoplástica tem sido comumente empregada para a fabricação de produtos de tipos e formas variadas, com baixa densidade, alto índice de expansão e baixa umidade. Dentre os produtos fabricados por extrusão, os cereais matinais e os “snacks” têm sido apontados como os mais importantes (BAIK, POWERS, NGUYEN, 2004).

Baik, Powers e Nguyen (2004) destacam que o processo de extrusão, por trabalhar a elevadas temperaturas e por apresentar um tempo de retenção baixo, pode ser considerado um processo HTST (“high temperature short time”), sendo que a carga microbiana do material processado é enormemente reduzida em um curto espaço de tempo. O processo de extrusão também possibilita a obtenção de valores baixos de atividade de água no produto final, com valores situando-se entre 0,1 e 0,4. Sendo assim, é possível a extensão da vida de prateleira dos produtos obtidos (FELLOWS, 2000).

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

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

No processo de extrusão, o material pré-condicionado (geralmente entre 15 e 30% de umidade) ou seco é inserido no extrusor através de um alimentador, chegando à zona de alimentação. A rosca ou parafuso nesta zona apresenta maior profundidade e um maior passo, e tem como função básica o transporte da matéria-prima. O material é conduzido da zona de alimentação para a zona de compressão. Na zona de compressão, ocorre uma redução na profundidade da rosca e uma redução no passo da mesma, com conseqüente aumento na taxa de cisalhamento, na temperatura (110 - 180ºC) e na pressão (20 – 30 atm). Na zona de alta pressão, a rosca tem a sua profundidade e o seu passo diminuídos ainda mais, resultando em maior cisalhamento e geração de calor. Sendo assim, a massa atinge os valores máximos de temperatura, pressão e viscosidade imediatamente antes de sair do extrusor (FELLOWS, 2000; RIAZ, 2002). O material, sob alta pressão, é expelido através de uma matriz e, em contato com a pressão ambiente, expande-se para a forma final e resfria-se rapidamente através da vaporização da água (FELLOWS, 2000). No material não previamente condicionado, a água é inserida, na forma líquida ou de vapor, durante o processo (EL-DASH, 1981). O produto que sai do extrusor é geralmente submetido ao processo de secagem, podendo chegar a valores próximos de 2% de umidade, como no caso de “snacks” extrusados (RIAZ, 2002).

2.3.2. EQUIPAMENTO

Quanto a seus componentes, o extrusor pode ser dividido basicamente em: mecanismo de alimentação; pré-condicionador; rosca ou parafuso sem fim; cilindro encamisado; matriz e sistema de corte (EL-DASH, 1981; FELLOWS, 2000; RIAZ, 2001).

O mecanismo de alimentação é constituído por um recipiente equipado com agitador ou rosca. Este mecanismo deve operar de forma que mantenha um fluxo contínuo do material a ser extrusado, possibilitando, dessa forma, um bom funcionamento do extrusor e obtendo-se, por conseqüência, um produto extrusado homogêneo e de boa qualidade (EL-DASH, 1981; FELLOWS, 2000; RIAZ, 2001).

O pré-condicionador pode estar acoplado ou não ao extrusor. Caso esteja acoplado, o pré-condicionamento do material ocorre durante o processamento; porém, se não estiver, o pré-condicionamento deverá ser realizado anteriormente à inserção do material no extrusor.

Este processo representa o ajuste de umidade e até de temperatura da matéria-prima para valores desejados, sendo realizado através da injeção de água ou de vapor (FELLOWS, 2000; RIAZ, 2001).

O parafuso representa o elemento principal do extrusor e a sua geometria influencia enormemente a sua performance, relacionando-se ao grau de cozimento e à gelatinização do material processado, com conseqüências diretas na qualidade do produto final (EL-DASH, 1981; RIAZ, 2001). O parafuso pode ser dividido em três zonas: alimentação; compressão ou transição; e alta pressão. O extrusor pode apresentar parafuso único ou duplo (CLARK, 1978; HARPER, 1978; RIAZ, 2001).

O cilindro encamisado no extrusor pode apresentar ranhuras na sua parte interna (linhas paralelas ou em espiral) para evitar o deslizamento da massa e aumentar a taxa de cisalhamento. O cilindro também permite maior flexibilidade e controle do processo, uma vez que a temperatura nas diferentes zonas do extrusor pode ser controlada através da circulação de água fria, de vapor ou através de resistência elétrica (EL-DASH, 1981; HARPER, 1978).

A matriz serve para moldar o produto na forma desejada e aumentar a pressão no interior do extrusor, apresentando grande influência nas características do produto final, destacando-se a taxa de expansão e a textura (EL-DASH, 1981).

O sistema de corte geralmente é empregado para cortar o produto extrusado assim que o mesmo deixa a matriz (HARPER, 1978). O sistema é constituído por facas que giram a uma velocidade constante, sendo tal velocidade determinada em função do comprimento desejado para o produto (FELLOWS, 2000).

O extrusor utilizado nos ensaios está demonstrado na **Figura 1**, sendo que o mesmo dispõe de parafuso único (mono-rosca). O equipamento não dispõe de pré-condicionador, nem de mecanismo de corte acoplados.

Figura 1: Extrusor mono-rosca utilizado na realização dos ensaios (Laboratório de Cereais, Raízes e Tubérculos – DTA/FEA/UNICAMP)

2.3.3. MATÉRIAS-PRIMAS UTILIZADAS NO PROCESSO

O grão de milho, comumente utilizado para a produção de farinha, é constituído de pericarpo, endosperma e gérmen; sendo que os nutrientes não estão distribuídos de forma homogênea entre as diferentes estruturas morfológicas do grão. No pericarpo está presente a maior quantidade de fibra alimentar; no gérmen a maior quantidade de gordura; e na aleurona a maior concentração de minerais. O endosperma é rico em carboidratos, destacando-se o amido; além de conter proteínas (CALLEGARO et al., 2005). O teor de fibra alimentar na farinha de milho situa-se na faixa entre 4,1 e 4,2%, em base úmida (ALVIM, SGARBIERI, CHANG, 2002). O teor de amido situa-se entre 65 e 70% (LUSAS, ROONEY, 2002).

De acordo com Cho, Clark e Uribe-Saucedo (2004), o farelo de trigo representa uma fonte concentrada de fibra alimentar. O farelo consiste nas camadas externas dos grãos de trigo e pode ser separado do gérmen durante o processo de moagem. O farelo de trigo comercial geralmente contém uma fração do embrião do trigo e uma pequena quantidade de endosperma, visto que é difícil de se realizar uma separação limpa, ou seja, com 100 % de eficiência. O farelo representa em torno de 12 a 15% do grão de trigo e é composto de cerca de 45 a 50% de fibra alimentar, sendo por volta de 95% desta, insolúvel.

Cho, Clark e Uribe-Saucedo (2004) destacam o farelo de trigo como sendo melhor que qualquer outra fonte de fibra na melhora da função intestinal e no alívio dos sintomas de constipação. Além disso, citam que o farelo de trigo é efetivo na redução dos riscos de câncer de cólon, diabetes e obesidade. Os autores recomendam que o farelo seja utilizado em programas educacionais de nutrição.

2.4. “SNACKS”

Para Booth (1990), o termo “snack” não deve ser utilizado apenas para produtos tradicionais, como pipoca, produtos extrusados expandidos e batata chips. O autor defende a idéia de que o termo deve ser utilizado com uma abrangência maior, ou seja, devem ser enquadrados como sendo “snack” alimentos que não são normalmente consumidos nas refeições principais (café da manhã, almoço e jantar), ou seja, são consumidos nos intervalos entre as mesmas, de maneira individualizada (não em família; geralmente no trabalho, na escola ou em atividades de lazer). Dentre tais alimentos destacam-se os chocolates, as balas e os biscoitos.

O mercado de “snacks” no Brasil, especificamente o mercado de “salgadinhos”, apresenta um faturamento anual de aproximadamente R$ 1 bilhão, com uma produção em torno de 80 mil toneladas (INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL DE MINAS GERAIS, 2005).

A evolução dos “snacks” ocorreu de maneira rápida e pode ser dividida em três gerações. Na primeira geração, a matéria-prima, na forma de grãos inteiros, é processada através da combinação de umidade, temperatura de cozimento e secagem (BOOTH, 1990). Os “snacks” de segunda geração ou “snacks” expandidos, nos quais se enquadra a maior parte dos “snacks” extrusados, podem apresentar características diversas como: alto teor de fibras, baixas calorias e alto teor de proteínas. As diferentes matérias-primas para a produção destes “snacks” – farinhas e/ou amidos de cereais e tubérculos e proteínas – são processadas em um extrusor (mono-rosca ou dupla-rosca) de modo a formar uma massa contínua, que é cortada em peças de tamanho uniforme, sendo tais peças posteriormente secas, flavorizadas e armazenadas (BOOTH, 1990).

Os “snacks” de terceira geração ou “pellets” são comumente denominados “half-products”. Estes “snacks” apresentam um processo de fabricação semelhante aos de segunda geração; porém, ao sair do extrusor, o produto extrusado apresenta a forma da matriz, ou seja, não se encontra na forma expandida, sendo, portanto, seco nesta forma. A expansão do produto ocorre posteriormente, através da fritura ou por aplicação de ar quente (BOOTH, 1990; RIAZ, 2002).

Fibra, celulose, farelo e pectinas derivadas de frutas podem ser adicionadas à formulação básica de “snacks”, visando a produção de “snacks” nutricionalmente saudáveis. Fibras e proteínas adicionadas a um valor de 20% da massa total de ingredientes apresentam pouco efeito no sabor e na expansão dos produtos extrusados (BOOTH, 1990).

Booth (1990) e Riaz (2002) destacam a granulometria das matérias-primas utilizadas na fabricação de “snacks” como sendo um fator de grande importância na determinação da textura do produto extrusado, pois matérias-primas com diâmetro de partícula maior resultam em produtos com maior rigidez, enquanto que matérias-primas com granulometria menor resultam em produtos de textura mais macia.

De acordo com Onwulata et al. (2000), muitos dos produtos tipo “snack” contêm baixo conteúdo de fibras alimentares, geralmente menos que 1 g por 50 g de produto, fornecendo, dessa forma, menos que 4 % da ingestão diária recomendada (IDR).

No caso de produtos sólidos, a legislação brasileira define como produto com “alto teor de fibras” aquele que contém no mínimo 6 g de fibras alimentares por 100 g de produto. Além disso, a legislação também define que um produto é “fonte de fibras” quando contém no mínimo 3 g de fibras alimentares por 100 g de produto (AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA, 1998).

Onwulata et al. (2000) avaliaram “snacks” extrusados em extrusor dupla-rosca não-expandidos contendo elevados teores de fibras. Os autores utilizaram formulações contendo 20 ou 40% de farelo de aveia como fonte de fibras, e farinha de trigo ou de triticale. Os efeitos da temperatura de extrusão, do nível de fibra e do tipo de farinha utilizado sobre as propriedades de textura do produto final foram determinados. As formulações foram extrusadas a dois níveis de temperatura (120ºC e 140ºC), com uma umidade na alimentação de aproximadamente 20%. Por se tratar de um extrusado não-expandido, a temperatura para a saída do produto do extrusor foi ajustada para 80ºC. Segundo os autores, a temperatura de extrusão não afetou as características de textura (força de cisalhamento, dureza e coesividade) dos produtos obtidos. Porém, com a adição de uma maior quantidade de fibras, os produtos demonstraram-se mais densos e com maior dureza. Além disso, os autores não propuseram modelos matemáticos baseando-se na Metodologia de Superfície de Resposta;

apenas utilizaram a análise de variância para identificar as diferenças nas propriedades físicas dos diferentes materiais sob diferentes condições de processamento.

2.5. A METODOLOGIA DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA NA OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE "SNACKS"

Planejamentos experimentais baseados em princípios estatísticos possibilitam a obtenção do maior número possível de informações sobre o sistema em estudo através da realização de um número mínimo de experimentos (BARROS NETO, SCARMÍNIO, BRUNS, 2003; RODRIGUES, IEMMA, 2005).

A Metodologia de Superfície de Resposta (MSR) permite a construção de modelos matemáticos que possibilitam a interpretação e a descrição quantitativa das relações existentes entre as variáveis dependentes (respostas) e as variáveis independentes (fatores) que pretende-se estudar (BARROS NETO, SCARMÍNIO, BRUNS, 2003; CHANG et al., 2001; RODRIGUES, IEMMA, 2005). Esta metodologia normalmente é utilizada quando deseja-se maximizar ou minimizar uma determinada resposta, representando, portanto, uma tentativa de otimização (BARROS NETO, SCARMÍNIO, BRUNS, 2003; RODRIGUES, IEMMA, 2005).

Os modelos matemáticos obtidos utilizando a MSR geralmente são codificados, ou seja, são construídos a partir de um planejamento experimental que utiliza valores codificados (níveis) para as variáveis independentes. Em um planejamento fatorial completo, os níveis das variáveis independentes são combinados em todas as formas possíveis, inclusive com a utilização de pontos axiais (BARROS NETO, SCARMÍNIO, BRUNS, 2003; RODRIGUES, IEMMA, 2005).

A MSR tem sido utilizada visando a otimização do processo de extrusão termoplástica para a produção de extrusados expandidos - "snacks" - por diversos autores (CHANG et al., 1998; GRENUS, HSIEH, HUFF, 1993; LARREA, CHANG, MARTÍNEZ-BUSTOS, 2005; MENDONÇA, GROSSMANN, VERHÉ, 2000).

Chang et al. (1998), utilizando a MSR, estudaram o uso de farinha de jatobá (alto teor de fibras) na produção de "snacks" por extrusão termoplástica. Processando uma mistura contendo farinha de jatobá e amido de mandioca, apontaram que com um aumento na quantidade de farinha de jatobá e diminuição da quantidade de amido de mandioca; e um aumento na umidade da alimentação e na temperatura, o índice de expansão foi reduzido em função de um aumento na viscosidade da massa durante o processo de extrusão.

Grenus, Hsieh e Huff (1993) avaliaram a influência da velocidade de rotação das roscas e do teor de farelo de arroz nas características dos extrusados (taxas de expansão radial e axial; força de cisalhamento; cor; e microestrutura). Em linhas gerais, os autores verificaram que com o aumento no teor de farelo tanto a expansão radial, quanto a axial diminuíram e a força de cisalhamento aumentou. Os extrusados mais escuros foram os que apresentaram as maiores concentrações de farelo de arroz em sua composição. E um aumento no teor de farelo teve como conseqüência uma estrutura interna com células de menor tamanho e incompletas.

Larrea, Chang e Martínez-Bustos (2005) utilizaram a MSR para avaliar o efeito da temperatura, da umidade e da velocidade de rotação do parafuso nos constituintes da polpa de laranja (alto teor de fibra alimentar). Os autores encontraram que o conteúdo de fibra alimentar total foi reduzido com o aumento da temperatura de extrusão e redução no teor de umidade; e afirmaram que tal fato provavelmente ocorreu devido à fragmentação e solubilização de alguns polímeros. Além disso, os autores observaram que os maiores valores para a pectina solúvel foram ocasionados pelas maiores temperaturas em associação a baixos valores de umidade, os quais contribuíram para a solubilização de substâncias pécticas.

Mendonça, Grossmann e Verhé (2000) avaliaram a influência do farelo de milho nas características de “snacks” extrusados expandidos utilizando a MSR. Os autores utilizaram um planejamento fatorial incompleto de três níveis, sendo que as variáveis independentes foram o teor de farelo de milho, a umidade da matéria-prima, a temperatura de extrusão e o teor de monoestearato de glicerol. Como respostas, os autores avaliaram a taxa de expansão radial, a expansão longitudinal, o volume específico, a dureza e a fraturabilidade. Além disso, os “snacks” foram avaliados sensorialmente. A melhor aceitação sensorial ocorreu para os extrusados obtidos com os maiores valores de temperatura, menores valores de umidade e teor intermediário de monoestearato. O aumento do teor de farelo de milho resultou em redução da taxa de expansão radial, aumento da dureza e redução da aceitação global.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. MATERIAL

3.1.1. MATÉRIAS-PRIMAS

Para a produção dos “snacks” extrusados expandidos foram utilizadas as seguintes matérias-primas: milho triturado (quirera) e farelo de trigo. As matérias-primas foram obtidas junto ao comércio local (Distrito de Barão Geraldo, Campinas – SP).

3.1.2. REAGENTES

Para as análises de composição centesimal das matérias-primas e do produto extrusado no ponto ótimo, foram utilizados reagentes do tipo P.A. (Padrão Analítico), de acordo com as especificações exigidas pelas metodologias propostas.

3.1.3. EQUIPAMENTOS

Além da vidraria e de utensílios de uso comum em laboratório, foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Agitador de peneiras para análises granulométricas modelo 2431, com peneiras de 20, 32, 35, 60 e 100 mesh (PRODUTEST, Brasil);
- Agitador horizontal de tubos modelo TE 320 (TECNAL, Brasil);
- Analisador de textura modelo TA-XT2 (STABLE MICRO SYSTEMS, Inglaterra), com software TEXTURE EXPERT;
- Aparelho determinador de umidade modelo AD-4714 A Infrared (A & D, Japão);
- Batedeira planetária modelo K45SS (KITCHENAID, EUA);
- Centrífuga modelo 204-NR (FANEM, Brasil);
- Espectrofotômetro modelo COLOR QUEST II (HUNTERLAB, EUA), com software UNIVERSAL;
- Estufa com circulação e renovação de ar modelo Retilínea (FANEM, Brasil);

- Extrusor de laboratório modelo 20 DN – GNF 1014/2 (BRABENDER, Alemanha); com parafuso único, camisa ranhurada e três zonas de aquecimento;
- Microscópio eletrônico de varredura modelo LEO 440i (LEO, Inglaterra);
- Moinho de rolos modelo Quadrumat Senior (BRABENDER, Alemanha);
- Paquímetro digital modelo CD–6"BS (MITUTOYO, Japão).

3.2. MÉTODOS

3.2.1. MOAGEM DO MILHO

O milho utilizado como matéria-prima para a produção dos "snacks" foi adquirido na forma triturada. A desintegração deste material foi realizada em um moinho de rolos BRABENDER; sendo que o milho foi passado inicialmente na seção de quebra e, posteriormente, na seção de redução deste equipamento.

3.2.2. CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA DAS MATÉRIAS-PRIMAS

As matérias-primas (farinha de milho e farelo de trigo) foram caracterizadas quanto à distribuição dos tamanhos de suas partículas de acordo com o método 965.22 da AOAC (1995). Utilizando-se um conjunto de peneiras (20, 32, 35, 60 e 100 mesh – ABNT), 50 g de amostra foram submetidos à vibração por um período de 5 minutos em um agitador de peneiras PRODUTEST. Após este período foi realizada a pesagem das peneiras com o material retido. Através da pesagem foi possível a determinação da porcentagem de material retido em cada uma.

3.2.3. COMPOSIÇÃO CENTESIMAL

A composição centesimal foi determinada para as matérias-primas antes do processo de extrusão e para o produto extrusado no ponto ótimo, determinado após a análise por Superfície de Resposta. As amostras foram avaliadas em triplicata (com exceção das determinações de fibra alimentar, que foram realizadas em quadruplicata e em duplicata para as matérias-primas e para o extrusado no ponto ótimo, respectivamente).

3.2.3.1. Umidade

A determinação do teor de umidade das amostras foi realizada em estufa a 130 ± 3ºC por 1 hora, de acordo com o método nº 44-15 A da AACC (1995).

3.2.3.2. Proteína bruta

O teor de proteína das amostras foi determinado utilizando o método micro-Kjeldahl, de acordo com a metodologia nº 46-13 da AACC (1995), utilizando o fator 6,25 para a conversão do teor de nitrogênio em teor de proteína total.

3.2.3.3. Lipídios

A determinação do teor de lipídios foi realizada em extrator Soxhlet, utilizando éter de petróleo para a extração, segundo metodologia proposta pelo Instituto Adolfo Lutz (1976).

3.2.3.4. Cinzas

Para a determinação da porcentagem de cinzas, as amostras foram calcinadas a 550ºC até peso constante, de acordo com o método nº 08-01 da AACC (1995).

3.2.3.5. Fibras

O teor de fibra alimentar foi determinado de acordo com o método enzimático-gravimétrico n° 985.29 da AOAC (1995).

3.2.3.6. Carboidratos totais

O teor de carboidratos totais incluiu a fração fibra alimentar e foi determinado por diferença, subtraindo-se de 100 a somatória dos teores de umidade, proteína, lipídios e cinzas.

3.2.4. ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

O projeto foi dividido 7 em etapas. A **Tabela 1** mostra a seqüência cronológica das atividades desenvolvidas.

Tabela 1: Etapas do desenvolvimento da tese (atividades de laboratório)

Etapas	Atividades	Observação
1ª	Caracterização química, granulométrica e tecnológica funcional das matérias-primas	
2ª	Extrusão - delineamento experimental (17 pontos experimentais)	
3ª	Avaliação das propriedades tecnológicas físicas, tecnológicas funcionais, visuais e microscópicas dos extrusados	
4ª	Escolha do ponto ótimo	
5ª	Extrusão - 2 pontos (controle e ótimo)	
6ª	Avaliação das propriedades tecnológicas físicas, tecnológicas funcionais, sensoriais, visuais e microscópicas (controle e ótimo)	Análise sensorial (40 provadores)
7ª	Caracterização química – ponto ótimo	

3.2.5. EXTRUSÃO

3.2.5.1. Preparo da matéria-prima

A farinha de milho obtida após a passagem em moinho de rolos BRABENDER e o farelo de trigo na sua forma original, ou seja, sem alterações de granulometria, foram misturados em proporções de acordo com o delineamento experimental proposto. O condicionamento das amostras foi realizado através da adição lenta de água destilada ao material a ser extrusado, por meio de bureta. A quantidade de água adicionada foi determinada de acordo com a **Equação 1**.

$$Y = \frac{(U_f - U_i) \times P_a}{100 - P_a} \qquad \textbf{(Equação 1)}$$

onde:

Y = Quantidade de água a ser adicionada à amostra (mL);
U_i = Umidade inicial da amostra (%);
U_f = Umidade final desejada da amostra (%);
P_a = Peso da amostra (g).

Para uma boa distribuição da água, o material foi mantido sob constante revolvimento, utilizando-se batedeira KITCHENAID, ligada na velocidade nº 1.

Após a adição de água destilada e homogeneização da matéria-prima, as amostras foram armazenadas em sacos de polietileno e mantidas sob refrigeração (4ºC), por 24 h, para a obtenção do equilíbrio hídrico. Antes do início do processo de extrusão, as amostras tiveram o teor de umidade checado em aparelho determinador de umidade Infrared (A & D). Quando necessário, um novo ajuste foi realizado. Após a verificação da umidade, as amostras estavam prontas para serem extrusadas.

3.2.5.2. Parâmetros utilizados na produção dos “snacks”

Os parâmetros empregados no processo de extrusão foram divididos em fixos e variáveis. A **Tabela 2** especifica cada um desses parâmetros.

Tabela 2: Parâmetros utilizados na produção dos “snacks”

PARÂMETROS	VALOR
FIXOS	
Taxa de compressão da rosca	3:1
Rotação da rosca (rpm)	150
Diâmetro da matriz (mm)	4
Temperatura de extrusão na 1ª zona (ºC)	80
Vazão do alimentador (g/min)	70
VARIÁVEIS	
Temperatura de extrusão na 2ª e 3ª zonas (ºC)	104,8 a 155,2
Umidade da matéria-prima (%)	16,3 a 29,7
Farelo de trigo (%)	0,0 a 24,6

3.2.5.3. Processamento

As formulações (misturas), previamente condicionadas, foram processadas em extrusor mono rosca BRABENDER, cujo esquema com os principais componentes está representado na **Figura 2**.

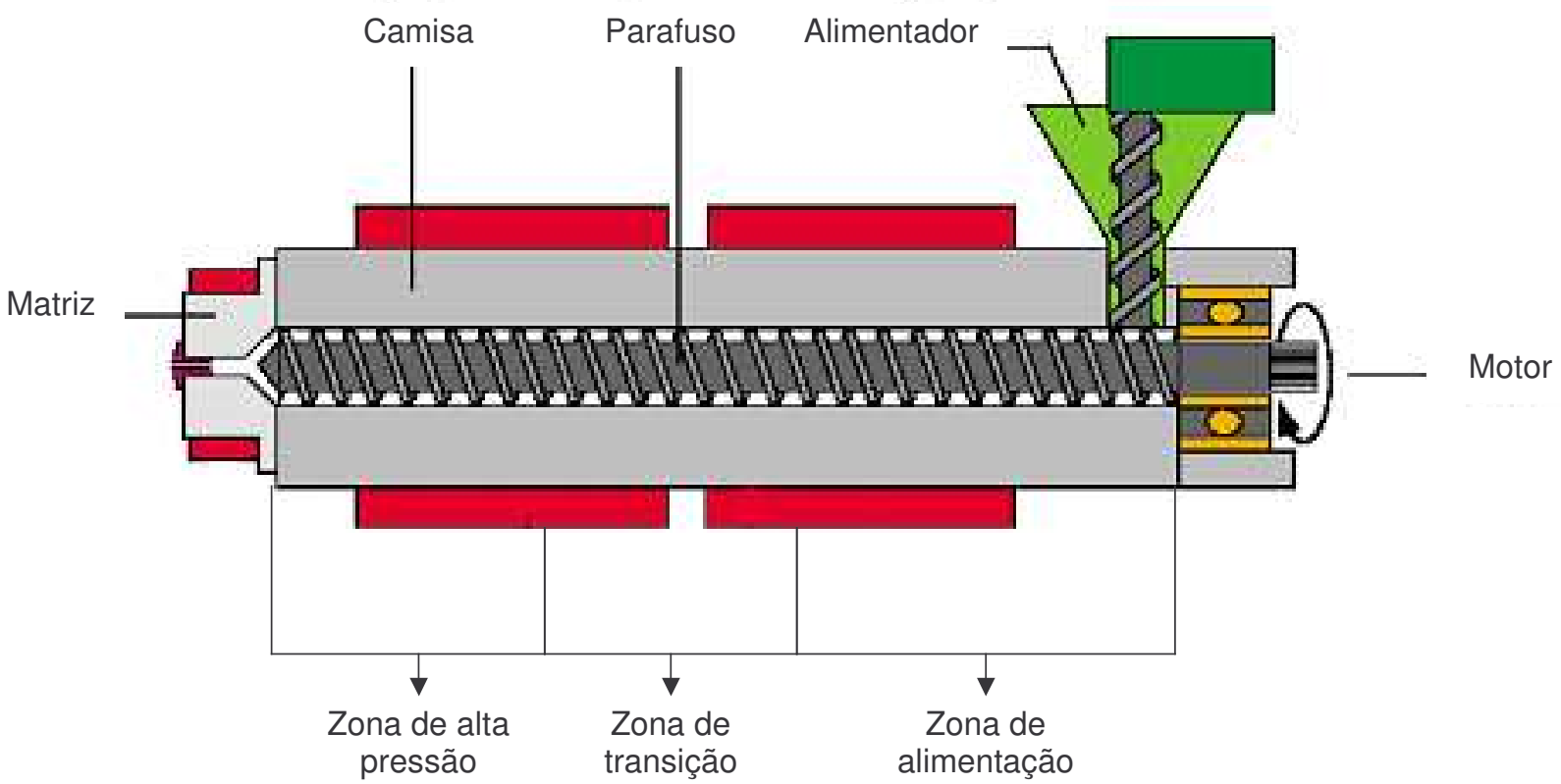


Figura 2: Esquema representativo do extrusor mono rosca BRABENDER utilizado para a produção dos “snacks”

(BRABENDER, 1995)

A introdução da matéria-prima no extrusor só ocorreu quando as temperaturas nas três diferentes zonas de aquecimento haviam atingido os valores esperados. Destaca-se que a temperatura na 1ª zona (de alimentação) permaneceu fixa em todos os ensaios, enquanto que as temperaturas na 2ª e 3ª zonas (de transição e de alta pressão, respectivamente) foram iguais, uma em relação à outra, e variaram de acordo com o delineamento experimental.

Utilizou-se 1,3 kg de matéria-prima em cada ensaio, sendo que o material extrusado foi coletado após 10 minutos do início de cada corrida, ou seja, após a estabilização das condições de processo, de acordo com metodologia proposta por Rhee, Cho e Pradahn (1999). O diâmetro dos "snacks" foi avaliado, utilizando-se paquímetro digital MITUTOYO, após o resfriamento à temperatura ambiente por 30 minutos, para a determinação do índice de expansão (IE); e, posteriormente, o material foi seco em estufa a 90ºC por 1 h. O material seco foi armazenado em sacos de polietileno para conservá-lo para as análises posteriores.

Para as análises posteriores, parte do material foi moída em moinho de rolos BRABENDER, passando pelas seções de quebra e de redução, para a determinação da composição centesimal. O processo de moagem também foi aplicado para a obtenção de material para análise do índice de absorção de água (IAA) e do índice de solubilidade em água (ISA). Para as demais análises, como de dureza e de luminosidade, o material foi mantido íntegro, ou seja, não foi moído.

3.2.5.3.1. Visualização da produção dos “snacks”

O processo utilizado na obtenção dos “snacks” extrusados expandidos pode ser visualizado através da **Figura 3**.

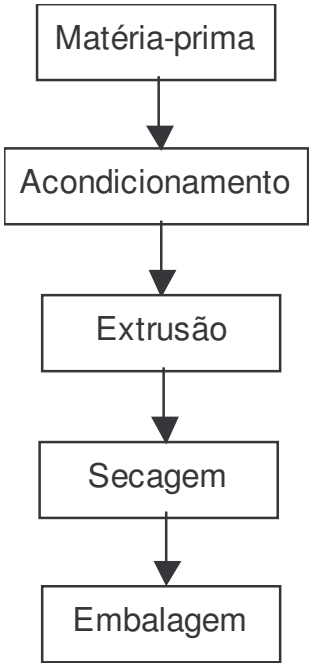


Figura 3: Esquema de produção dos “snacks”

3.2.6. AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS FÍSICAS E TECNOLÓGICAS FUNCIONAIS DOS "SNACKS" EXTRUSADOS EXPANDIDOS

3.2.6.1. Características tecnológicas físicas

3.2.6.1.1. Índice de expansão (IE)

O índice de expansão (IE) dos "snacks" extrusados foi determinado 30 minutos após a produção dos mesmos, antes da secagem, de acordo com a metodologia proposta por Batistuti, Barros e Arêas (1991), que determina que tal índice representa a relação entre o diâmetro do produto extrusado e o diâmetro do orifício da matriz do extrusor. No cálculo do IE, considerou-se a média aritmética de 10 medidas de diâmetro em diferentes partes da amostra para cada condição de extrusão.

3.2.6.1.2. Dureza

A determinação de dureza (parâmetro de textura) foi realizada utilizando-se um analisador de textura modelo TA-XT2 (STABLE MICRO SYSTEMS, Inglaterra), com carga máxima de 25 kg, utilizando para a análise dos dados o software TEXTURE EXPERT. Avaliaram-se amostras de 40 mm de comprimento, dispostas horizontalmente sobre um suporte com uma abertura. Esta abertura permitiu a passagem de uma faca de aço de retangular (Warner Bratzler) de 12 x 7 cm (HDP/BS) que rompeu a amostra sobre o suporte, atuando como uma guilhotina. Os resultados foram expressos em kgf (kilograma-força) e representaram a média aritmética de 10 determinações de força de ruptura para amostras provenientes de uma mesma condição de extrusão.

As condições utilizadas no teste de dureza foram as seguintes: medida em força em compressão; limiar de força de 1,0 g; velocidade de pré-teste de 4,0 mm/s; velocidade de teste de 1,0 mm/s; velocidade de pós-teste de 5,0 mm/s; distância de ruptura de 15 mm.

3.2.6.1.3. Luminosidade – L*

A cor dos extrusados foi determinada utilizando-se um espectrofotômetro modelo COLOR QUEST II, marca HUNTERLAB. A determinação baseou-se no sistema (L*a*b*

CIELab). Neste sistema, L* indica a luminosidade, que varia de zero (preto) a 100 (branco); enquanto que a* e b* representam as coordenadas de cromaticidade, sendo que +a* indica tendência para o vermelho e –a* tendência para o verde; +b* indica tendência para o amarelo e –b* tendência para o azul.

Para a leitura da cor, os "snacks" foram dispostos na forma de um feixe, com cerca de 15 extrusados de 100 mm de comprimento cada.

Os resultados obtidos nas diversas leituras foram utilizados para a determinação do valor da luminosidade L*. Este valor foi determinado para os 17 ensaios propostos no delineamento experimental e para os "snacks" controle e ótimo, visando verificar a influência do farelo de trigo e das condições operacionais no escurecimento ou não dos "snacks", conforme metodologia proposta por Grenus, Hsieh e Huff (1993). Os valores de a* e b* foram determinados apenas para os "snacks" controle e ótimo, a fim de determinar tendências de cromaticidade.

3.2.6.2. Características tecnológicas funcionais

3.2.6.1.4. Índice de absorção de água (IAA)

Foi avaliado de acordo com a metodologia proposta por Anderson et al. (1969). O IAA foi determinado para as matérias-primas e para o material extrusado. A avaliação ocorreu em duplicata e consistiu na introdução de cerca de 2,5 g de amostra em tubo de centrífuga previamente tarado, seguido da adição de 30 mL de água destilada a 30ºC. O tubo foi mantido sob agitação constante em um agitador horizontal de tubos TECNAL durante 30 minutos; sendo, posteriormente, centrifugado a 3.000 x g por 10 minutos. O sobrenadante (10 mL) foi colocado em placa de Petri previamente tarada, sendo seco em estufa de circulação e renovação de ar a 105ºC até peso constante. Além disso, o tubo com o resíduo (sedimento) foi pesado. A **Equação 2** foi utilizada para a determinação do IAA.

$$IAA = \frac{PRC\,(g)}{PA\,(b.s.)\,(g) - PRE\,(g)}$$ **(Equação 2)**

onde:

IAA = Índice de absorção de água;
PRC = Peso do resíduo de centrifugação (g);
PA = Peso da amostra (base seca) (g);
PRE = Peso do resíduo de evaporação do sobrenadante (g).

3.2.6.1.5. Índice de solubilidade em água (ISA)

A determinação do ISA foi realizada segundo metodologia proposta por Anderson et al. (1969), em continuidade aos passos descritos para a determinação do IAA. O ISA representa a relação entre o peso do resíduo de evaporação e o peso da amostra em base seca, conforme descrito pela **Equação 3**.

$$ISA = \frac{PRE\,(g)\ \text{x}\ 100\ \text{x}\ 3}{PA\,(b.s.)\,(g)}$$ **(Equação 3)**

onde:

ISA = Índice de solubilidade em água;
PRE = Peso do resíduo de evaporação (g);
PA = Peso da amostra (base seca) (g).
* O fator 3 na equação foi utilizado para compensar a retirada da alíquota de 10 mL, proveniente da análise do IAA.

3.2.7. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Para avaliar os efeitos combinados das variáveis independentes (umidade da matéria-prima, temperatura na 3ª zona do extrusor e teor de farelo de trigo) sobre as variáveis dependentes ou respostas (índice de expansão, dureza, índice de absorção de água, índice de solubilidade em água e luminosidade) aplicou-se um delineamento experimental baseado na Metodologia de Superfície de Resposta (MSR) do tipo central composto rotacional de 2ª ordem (Barros Neto, Scarmínio, Bruns, 2003).

O planejamento utilizado foi o fatorial completo 2^3 com 17 ensaios, sendo 8 ensaios fatoriais (combinações entre os níveis –1 e +1); 6 axiais (uma variável no nível + α e duas em 0; e uma no nível - α e duas em 0); e 3 centrais (as três variáveis independentes no nível 0).

Na determinação dos valores máximos e mínimos de cada variável independente **(Tabela 3)** foram considerados dados citados por Booth (1990) para a produção de "snacks" expandidos por processo de extrusão; características operacionais do extrusor (BRABENDER, 1995); além de dados de testes preliminares. Estes últimos também foram utilizados para a seleção dos parâmetros fixos: taxa de compressão da rosca, vazão do alimentador, diâmetro da matriz, temperatura na 1ª zona do extrusor e velocidade de rotação da rosca.

Os parâmetros do processo, identificados como variáveis independentes, foram avaliados em 3 níveis codificados (-1, 0, +1), que foram calculados segundo a **Equação 4**.

$$\mathbf{X_i} = \frac{xi - Z}{\Delta xi} \qquad \textbf{(Equação 4)}$$

onde:

X_i = valor codificado da variável X_i;

x_i = valor real da variável;

Z = valor real da variável no ponto central;

Δx_i = valor do intervalo de variação de X_i.

O delineamento central composto rotacional de 2ª ordem apresenta também dois níveis axiais para as variáveis independentes, que são codificados como + α e - α. O valor depende do número fatorial (F) do delineamento e da quantidade de variáveis independentes (K), sendo o valor definido pela **Equação 5**.

$$\alpha = (F)^{1/4} \qquad \textbf{(Equação 5)}$$

Sendo $F = 2^k$ e K = 3, tem-se que:

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

O valor fornecido pela **Equação 5** representa o valor em módulo. Os valores codificados utilizados para os pontos axiais neste projeto foram de +1,682 e de -1,682 para $+\alpha$ e $-\alpha$, respectivamente.

Na **Tabela 3**, encontram-se os níveis das variáveis independentes e na **Tabela 4**, os ensaios realizados.

Tabela 3: Variáveis independentes e níveis de variação

NÍVEIS CODIFICADOS		VARIÁVEIS INDEPENDENTES (valores reais)		
Axiais	**Fatoriais**	**X_1**	**X_2**	**X_3**
$-\alpha$ = -1,682		16,3	104,8	0,0
	-1	19	115	5,0
	0	23	130	12,3
	+1	27	145	19,6
$+\alpha$ = +1,682		29,7	155,2	24,6

X_1 = Umidade da matéria-prima (%); X_2 = Temperatura na 3ª zona do extrusor (ºC); X_3 = Farelo de trigo (%)

Tabela 4: Ensaios realizados (níveis em valores codificados e correspondentes valores decodificados ou reais)

Tratamento	Valores codificados			Valores decodificados (reais)		
	X_1	X_2	X_3	x_1	x_2	x_3
1	-1	-1	-1	19	115	5
2	+1	-1	-1	27	115	5
3	-1	+1	-1	19	145	5
4	+1	+1	-1	27	145	5
5	-1	-1	+1	19	115	19,6
6	+1	-1	+1	27	115	19,6
7	-1	+1	+1	19	145	19,6
8	+1	+1	+1	27	145	19,6
9	$-\alpha$	0	0	16,3	130	12,3
10	$+\alpha$	0	0	29,7	130	12,3
11	0	$-\alpha$	0	23	104,8	12,3
12	0	$+\alpha$	0	23	155,2	12,3
13	0	0	$-\alpha$	23	130	0,0
14	0	0	$+\alpha$	23	130	24,6
15 (C)	0	0	0	23	130	12,3
16 (C)	0	0	0	23	130	12,3
17 (C)	0	0	0	23	130	12,3

X_1 = Umidade da matéria-prima (%); X_2 = Temperatura na 3ª zona do extrusor (ºC); X_3 = Farelo de trigo (%); (C) = Ponto central

Para a análise dos resultados experimentais, a Metodologia de Superfície de Resposta descreve o comportamento de um sistema no qual estão combinadas as variáveis independentes (X_k) e a variável dependente ou resposta (Y_i). A resposta é uma função dos níveis nos quais estes fatores foram combinados e definidos (BOX, DRAPER, 1987):

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

Dentro das faixas de variação propostas, ou seja, dentro da região caracterizada por esses níveis, o comportamento de cada resposta avaliada pode ser predito de forma generalizada **(Equação 6)**.

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

(Equação 6)

onde:

Y_I = Variável dependente ou função resposta;
X_1, X_2, X_3 = Valores das variáveis independentes;
β_o = Coeficiente relativo à interceptação do plano com o eixo de resposta;
β_1, β_2, β_3 = Coeficientes lineares estimados pelo método dos mínimos quadrados;
β_{11}, β_{22}, β_{33} = Coeficientes das variáveis quadráticas;
β_{12}, β_{13}, β_{23} = Coeficientes de interação entre as variáveis independentes;
ε = Erro experimental.

As superfícies de resposta foram construídas utilizando-se o software STATISTICA, versão 5.5 (StatSoft, Tulsa, OK, EUA). Na construção das superfícies, uma das variáveis independentes foi mantida fixa no ponto central, enquanto que as outras duas variaram dentro das regiões propostas no planejamento.

3.2.8. PONTO CONTROLE E ESCOLHA DO PONTO ÓTIMO

O ponto experimental considerado como controle foi o mesmo proposto para o ensaio 13 do delineamento (umidade da matéria-prima = 23,0%; temperatura na 3ª zona do extrusor = 130ºC; e porcentagem de farelo de trigo = 0,0%). Esta escolha ocorreu em função da utilização de condições intermediárias do planejamento (centrais) em relação à umidade e à temperatura; além de representar um produto sem adição de farelo de trigo, como é mais comum encontrar no mercado.

A escolha do ponto ótimo levou em consideração a quantidade de fibra alimentar fornecida pelo produto e seu atendimento aos requisitos mínimos estabelecidos pela legislação brasileira para considerá-lo como "alto teor de fibras". Sendo assim, utilizou-se um teor de farelo de trigo de 12,3% na formulação, que no produto final representa 8,7% de fibra alimentar (base úmida). Destaca-se que o mínimo exigido para que o produto seja considerado "alto teor de fibras" pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (1998) é de 6 g de fibras alimentares em cada 100 g de produto. Além disso, foram considerados os valores obtidos para as variáveis dependentes (respostas) no planejamento experimental.

Os valores utilizados para a umidade e para a temperatura no ponto ótimo foram os mesmos que foram utilizados para o ponto considerado como controle, visando evitar que tais variáveis levassem à conclusões não verdadeiras em termos da influência do farelo de trigo na qualidade do produto final; visto que valores intermediários para essas variáveis resultaram, em geral, em valores intermediários para as respostas avaliadas no planejamento experimental.

3.2.9. ANÁLISE SENSORIAL

Os "snacks" extrusados expandidos foram avaliados sensorialmente em relação ao controle e ao ótimo através de um teste de aceitação, utilizando escala hedônica (estruturada mista) de 9 pontos, onde o valor 1 correspondia a "desgostei muitíssimo" e o valor 9 a "gostei muitíssimo", de acordo com a metodologia proposta por Da Silva (2002).

Na avaliação, 40 provadores avaliaram as amostras, provadas numa mesma sessão, mas de forma separada (duas fichas de avaliação utilizadas) em relação aos seguintes

atributos: cor, aparência (expansão), textura (dureza), sabor e avaliação global. Além disso, os provadores também foram questionados sobre a intenção de compra.

Os “snacks” avaliados sensorialmente foram previamente recobertos com sal, que foi aplicado através de aspersão de solução salina (10 ou 20%), seguido de secagem a 90ºC, por 1 h. Em cada aspersão, o volume de solução salina lançado foi praticamente constante (próximo de 0,4 mL). O que variou foi a concentração da solução utilizada em função da massa dos “snacks”; visto que a concentração desejada de sal nos mesmos foi de 2 % em relação ao total. A quantidade de sal adicionada e a concentração das soluções empregadas foram calculadas de acordo com as **Equações 7 e 8**, respectivamente.

$$\frac{Ms}{Ms + Mpi} = Fs \qquad \textbf{(Equação 7)}$$

onde:

M_s = Massa de sal (g);
M_{pi} = Massa do produto inicial (sem sal) (g);
F_s = Fração salina (desejada).

$$Vb \,.\, Cs = Ms \qquad \textbf{(Equação 8)}$$

onde:

V_b = Volume de solução lançado em cada borrifada (mL);
C_s = Concentração da solução salina (g/mL);
M_s = Massa de sal (g).

Os provadores foram alunos e funcionários da UNICAMP, de ambos os sexos, com idade entre 18 e 45 anos. As fichas utilizadas para a avaliação sensorial encontram-se nos **Anexos A e B**.

3.2.10. AVALIAÇÃO DOS "SNACKS" POR MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

Os "snacks" previamente secos a 90ºC por 1 h foram fracionados em pedaços de 3,0 mm de espessura e colocados em porta-amostras de alumínio. Feito isso, realizou-se o recobrimento (taxa de recobrimento de 0,5 Angstrom/s) do material com uma camada de Ouro-Paládio, com espessura de 92 Angstrom. Posteriormente, as amostras foram introduzidas no microscópio eletrônico de varredura LEO e a visualização das estruturas foi realizada utilizando-se aumentos variáveis, de forma a melhor caracterizar os extrusados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS

4.1.1. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Os resultados obtidos nas análises granulométricas das matérias-primas estão demonstrados nas **Tabelas 5 e 6.**

Tabela 5: Distribuição granulométrica da farinha de milho*

Mesh	Abertura (mm)	Material retido (g)	Retenção (%)
20	0,840	0,41	0,82
32	0,500	1,84	3,68
35	0,420	1,97	3,94
60	0,250	19,87	39,74
100	0,149	22,84	45,68
Fundo	---	3,07	6,14
Total	---	50,00	100,00

Tabela 6: Distribuição granulométrica do farelo de trigo*

Mesh	Abertura (mm)	Material retido (g)	Retenção (%)
10	1,680	3,48	6,96
20	0,840	29,57	59,14
32	0,500	15,08	30,16
35	0,420	0,38	0,76
60	0,250	1,02	2,04
Fundo	---	0,47	0,94
Total	---	50,00	100,00

A utilização de seqüências diferentes de peneiras nos testes granulométricos ocorreu em função da grande diferença de granulometria entre as matérias-primas. A farinha de milho apresentou granulometria predominantemente entre 0,149 mm e 0,420 mm (85,4% de suas partículas). O farelo de trigo apresentou partículas maiores, sendo que 96,2% das partículas apresentaram tamanho superior a 0,500 mm. Booth (1990) e Riaz (2002) afirmam que o tamanho das partículas das matérias-primas influencia na textura dos produtos extrusados, sendo que quanto maior o tamanho, menor a maciez do produto final.

Partículas muito finas, quando submetidas a um aumento de umidade, como o que ocorre no processo de condicionamento, podem se aglomerar, formando grumos. Já, as partículas de diâmetro maior, são mais difíceis de serem condicionadas (RIAZ, 2002).

Segundo Mercier, Linko e Harper (1998), partículas muito pequenas são mais facilmente fundidas, resultando numa massa pegajosa, difícil de ser deslocada no interior do extrusor. Além disso, partículas maiores que 0,5 mm podem ser fundidas de maneira incompleta durante o processamento. Os autores também afirmam que partículas grandes, como no caso do farelo de trigo, tendem a romper as paredes das células no extrusado, causando uma redução na taxa de expansão.

4.1.2. COMPOSIÇÃO QUÍMICA CENTESIMAL

A composição química centesimal das matérias-primas está descrita na **Tabela 7**.

Tabela 7: Composição química centesimal das matérias-primas*

Componentes	Farinha de milho		Farelo de trigo	
	% base úmida	% base seca	% base úmida	% base seca
Umidade	11,3 ± 0,1	---	11,7 ± 0,1	---
Proteína bruta	7,4 ± 0,2	8,3 ± 0,3	15,3 ± 0,2	17,3 ± 0,2
Lipídios	3,6 ± 0,3	4,1 ± 0,3	4,0 ± 0,3	4,6 ± 0,3
Cinzas	0,3 ± 0,05	0,35 ± 0,05	5,5 ± 0,03	6,3 ± 0,03
Fibra alimentar**	2,8 ± 0,2	3,16 ± 0,2	46,3 ± 0,1	52,4 ± 0,1
Carboidratos***	77,4 ± 0,5	87,3 ± 0,6	63,5 ± 0,3	71,9 ± 0,2

* Média de 3 determinações

** Média de 4 determinações

*** Calculado por diferença (inclui a fração fibra alimentar)

Os resultados obtidos para a composição centesimal da farinha de milho apontam que a mesma apresenta um elevado teor de carboidratos e baixos teores de fibra alimentar e de proteína. Os resultados encontrados para a farinha de milho são próximos aos encontrados por Alvim, Sgarbieri e Chang (2002) e Callegaro et al. (2005), excetuando-se apenas o teor de cinzas (0,3 % em base úmida), bem abaixo dos reportados pelos autores previamente citados (entre 0,7 e 0,9 %).

O farelo de trigo apresentou grande quantidade de fibra alimentar, fato este que justifica a utilização do mesmo como ingrediente no desenvolvimento de “snacks” com alto teor de fibras; além de um teor protéico significativo. A composição centesimal do farelo de trigo é muito próxima da apontada na base de dados do United States Department of Agriculture (USDA) (Estados Unidos, 2005).

4.1.3. ÍNDICE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA (IAA) DAS MATÉRIAS-PRIMAS

Os valores encontrados na determinação, em duplicata, para o IAA da farinha de milho e do farelo de trigo foram de 3,3 e de 7,1 g água/g material seco, respectivamente.

O valor do IAA encontrado para a farinha de milho é um pouco superior ao encontrado por Alvim, Sgarbieri e Chang (2002), que foi próximo de 2,7 g água/g material seco. Valores baixos de IAA para a farinha de milho são esperados devido ao fato de que nas condições de teste (30ºC) não há gelatinização do amido, com conseqüente exposição dos grupos hidrofílicos (-OH) das moléculas de amilose e de amilopectina. Processos térmicos, como o processo de extrusão, elevam os valores do IAA devido à gelatinização dos grânulos de amido e da desnaturação das proteínas. Grânulos gelatinizados absorvem mais água que grânulos no estado nativo e as proteínas, devido a mudanças conformacionais e estruturais, têm o seu balanço hidrofílico/hidrofóbico alterado (ALVIM, SGARBIERI, CHANG, 2002).

Para o farelo de trigo, o valor de IAA está em conformidade com o proposto por Anderson e Eastwood (1987). O valor de 7,1 g água/g material seco encontrado para o IAA do farelo de trigo indica que o mesmo apresenta boa capacidade de retenção de água. Esta propriedade também foi relacionada por Anderson e Eastwood (1987) ao fato do farelo de trigo aumentar o volume do bolo fecal e diminuir o tempo de trânsito intestinal.

4.1.4. ÍNDICE DE SOLUBILIDADE EM ÁGUA (ISA) DAS MATÉRIAS-PRIMAS

Os valores encontrados na determinação, em duplicata, para o ISA da farinha de milho e do farelo de trigo foram de 2,7 e de 15,8%, respectivamente.

O valor encontrado para o ISA da farinha de milho é próximo ao encontrado por Alvim, Sgarbieri e Chang (2002) que foi de 2,2%. O valor de 2,7% é baixo e justifica-se pelo fato da farinha de milho ser constituída basicamente de amido na forma nativa, composto de amilose e amilopectina, polímeros de alto peso molecular, insolúveis em água nas condições do teste (30ºC). O ISA é influenciado pela presença de compostos solúveis, de baixo peso molecular. O processo de extrusão, por promover a gelatinização do amido, contribui para a liberação dos mesmos; além de favorecer a ocorrência de reações de dextrinização dos componentes do amido (amilose e amilopectina), levando à formação de compostos de baixo peso molecular (ALVIM, SGARBIERI, CHANG, 2002).

Em relação ao ISA encontrado para o farelo de trigo, destaca-se que o mesmo está um pouco acima do valor encontrado por Souza e Steel (2005), que foi de 12,3%. O valor do ISA para o farelo de trigo deve-se, basicamente, à fração solúvel da fibra alimentar.

4.2. RESULTADOS EXPERIMENTAIS – EXTRUSÃO

Os resultados obtidos para as variáveis dependentes (respostas) em função das variáveis independentes utilizadas no processo de extrusão, estão descritos na **Tabela 8**. Destaca-se nesta tabela que o valor axial negativo ($-\alpha = -1,682$) para a variável independente X_1, ou seja, para a umidade da matéria-prima não foi utilizado, em função de limitação do equipamento (o valor de 16,3% de umidade foi muito baixo) e o material não passou pelo extrusor. O valor mínimo recomendado pelo fabricante para a umidade da matéria-prima foi é 16% (BRABENDER,1995). Sendo assim, as condições utilizadas para a umidade, a temperatura na 3ª zona do extrusor e para o teor de farelo de trigo para o ensaio 9 foram de 19%, 130ºC e 12,3%, respectivamente. Esta alteração não apresenta prejuízos na avaliação estatística.

Tabela 8: Resultados experimentais obtidos para as diferentes condições de extrusão

	Variáveis independentes						Variáveis dependentes				
Ensaio	**Valores codificados**			**Valores reais**			**IE**	**IAA**	**ISA**	**Dureza[1]**	**L***
	X_1	X_2	X_3	x_1	x_2	x_3					
1	-1	-1	-1	19	115	5	3,6	5,8	39,1	3,9	54,69
2	+1	-1	-1	27	115	5	2,9	6,2	26,8	4,0	46,51
3	-1	+1	-1	19	145	5	3,3	5,6	47,0	1,6	50,93
4	+1	+1	-1	27	145	5	1,9	6,7	33,2	2,9	64,41
5	-1	-1	+1	19	115	19,6	3,1	5,2	43,4	2,8	42,77
6	+1	-1	+1	27	115	19,6	2,5	5,9	37,1	3,2	48,20
7	-1	+1	+1	19	145	19,6	2,9	4,8	52,1	1,7	55,31
8	+1	+1	+1	27	145	19,6	1,8	6,5	33,5	2,2	61,37
9	-1,682	0	0	16,3*	130	12,3	3,0	5,2	43,5	3,4	48,93
10	+1,682	0	0	29,7	130	12,3	1,7	6,4	24,5	3,6	52,83
11	0	-1,682	0	23	104,8	12,3	3,4	5,9	35,0	4,8	44,97
12	0	+1,682	0	23	155,2	12,3	2,2	6,0	45,2	2,4	62,19
13	0	0	-1,682	23	130	0,0	3,7	6,9	35,8	3,0	60,59
14	0	0	+1,682	23	130	24,6	2,4	5,7	42,6	2,8	52,84
15 (C)	0	0	0	23	130	12,3	2,7	6,5	34,6	2,8	49,84
16 (C)	0	0	0	23	130	12,3	2,5	6,0	38,5	2,6	48,30
17 (C)	0	0	0	23	130	12,3	2,7	6,3	41,5	2,6	53,87

[1] A unidade utilizada para a dureza foi o kilograma-força (kgf);

X_1, x_1 = Umidade da matéria-prima (%);

X_2, x_2 = Temperatura na 3ª zona do extrusor (ºC);

X_3, x_3 = Farelo de trigo (%);

(C) = Ponto central;

IE = Índice de expansão;

IAA = Índice de Absorção de Água (g água/g de amostra seca);

ISA = Índice de Solubilidade em Água (%);

L* = Luminosidade;

* O material não passou pelo extrusor com este valor de umidade. Logo, foi utilizado o valor de 19%.

4.3. AVALIAÇÃO DOS “SNACKS” EXTRUSADOS

A avaliação dos “snacks” extrusados permitiu o agrupamento de suas características da seguinte forma: tecnológicas físicas (IE, dureza e cor); tecnológicas funcionais (IAA e ISA); visuais e microscópicas; as quais estão descritas a seguir. Na **Tabela 8**, previamente citada, encontram-se os resultados encontrados para a caracterização tecnológica física e caracterização tecnológica funcional.

4.4. AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS FÍSICAS DOS "SNACKS" EXTRUSADOS

4.4.1. ÍNDICE DE EXPANSÃO (IE)

Os dados referentes ao IE dos "snacks" extrusados encontram-se na **Tabela 8**. Estes dados foram tratados estatisticamente, sendo que os coeficientes de regressão encontram-se na **Tabela 9.**

Tabela 9: Coeficientes de regressão para o Índice de Expansão (IE)

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão (residual)	t (7)	p
Média	2,62*	0,10	26,20	0,0000
Umidade (L)	-0,45*	0,06	-7,97	0,0001
Umidade (Q)	-0,06	0,07	-0,95	0,3727
Temperatura (L)	-0,32*	0,05	-6,39	0,0004
Temperatura (Q)	0,05	0,05	0,96	0,3648
Farelo de trigo (L)	-0,27*	0,05	-5,38	0,0010
Farelo de trigo (Q)	0,14*	0,05	2,56	0,0372
Umidade (L) x Temperatura (L)	-0,15	0,06	-2,30	0,0542
Umidade (L) x Farelo (L)	0,05	0,06	0,73	0,4884
Temperatura (L) x Farelo (L)	0,05	0,06	0,69	0,5107

* Valores estatisticamente significativos a 95% de significância ($p<0,05$)

L = linear

Q = quadrático

Analisando a **Tabela 9**, constata-se que os fatores quadráticos umidade (Q) e temperatura (Q); e os fatores de interação umidade (L) x temperatura (L), umidade (L) x farelo (L) e temperatura (L) x farelo (L) não foram estatisticamente significativos em um

intervalo de 95% de confiança. Sendo assim, os fatores não significativos foram descartados, obtendo-se novos coeficientes de regressão **(Tabela 10)**.

Tabela 10: Coeficientes de regressão ajustados para o Índice de Expansão (IE)

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão (residual)	t (13)	p
Média	2,73	0,06	46,85	0,0000
Umidade (L)	-0,48	0,07	-6,82	0,0001
Temperatura (L)	-0,32	0,06	-4,89	0,0030
Farelo de trigo (L)	-0,27	0,06	-4,11	0,0121

Obs.: Valores estatisticamente significativos a 95% de significância ($p<0,05$)

A análise de variância (ANOVA) foi realizada para verificar se o modelo obtido é estatisticamente significativo e preditivo **(Tabela 11).** Comparando os valores de $F_{calculado}$ e de $F_{tabelado}$, verificou-se que o modelo é válido, pois o valor do primeiro é 5,9 vezes maior que o do segundo. Além disso, os desvios relativos para o modelo codificado foram, em média, baixos (6,6 %) **(Tabela 12).**

Tabela 11: ANOVA para o Índice de Expansão (IE)

Fonte de variação	Soma quadrática	Graus de liberdade	Média quadrática	$F_{calculado}$	$F_{tabelado\ (0,95;\ 3;\ 13)}$
Regressão	4,81	3	1,60	20	3,41
Resíduos	0,98	13	0,08		
Falta de ajuste	0,72	11	0,07		
Erro puro	0,26	2	0,13		
Total	5,79	16			

% Variação explicada (R^2) = 0,871

O coeficiente de determinação do modelo (R^2) encontrado para o IE (0,871), por se tratar de processo de extrusão, pode ser considerado um bom valor, mas não é suficiente para garantir a validade do modelo em função do número de amostragem ser pequeno. Isto justifica a utilização do teste F e dos desvios relativos previamente citados.

Tabela 12: IE experimental x IE predito

Ensaio	IE experimental	IE predito (modelo codificado)	% Desvio relativo (modelo codificado)
1	3,55	3,79	-6,9
2	2,91	2,84	2,4
3	3,27	3,16	3,4
4	1,90	2,20	-16,0
5	3,08	3,26	-5,8
6	2,50	2,30	7,8
7	2,85	2,62	8,0
8	1,80	1,67	7,3
9	3,03	3,21	-5,9
10	1,72	1,93	-12,1
11	3,42	3,27	4,5
12	2,16	2,20	-1,7
13	3,70	3,18	14,0
14	2,36	2,28	3,4
15 (C)	2,71	2,73	-0,8
16 (C)	2,49	2,73	-9,7
17 (C)	2,65	2,73	-3,1

O modelo representado pela **Equação 9**, a ser utilizada com valores codificados, é válido, ou seja, o IE pode ser estimado em função da umidade da matéria-prima, da

temperatura na 3ª zona do extrusor e do teor de farelo de trigo na formulação; desde que essas variáveis sejam avaliadas nas faixas de variação propostas neste projeto.

$$IE = 2{,}73 - 0{,}48 * U - 0{,}32 * T - 0{,}27 * F \qquad \textbf{(Equação 9)}$$

Onde:

U = Umidade da matéria-prima (%)
T = Temperatura na 3ª zona do extrusor (ºC)
F = Farelo de trigo (%)

A partir do modelo obtido foi possível a construção das superfícies de resposta, que permitem visualizar as melhores condições para as variáveis independentes estudadas.

Em geral, a expansão do produto, no caso dos “snacks” extrusados, relaciona-se diretamente à sua textura, sendo que produtos com grande expansão são mais crocantes devido ao fato da estrutura interna apresentar células maiores com paredes finas. A estrutura de produtos extrusados expandidos depende do grau de gelatinização do amido e da fusão deste no interior do extrusor, pois a gelatinização, seguida da fusão, aumentam as características elásticas da massa. Sendo assim, o vapor de água gerado durante o processo forma bolhas no interior da massa fundida, relacionando-se diretamente à expansão dos extrusados. As bolhas maiores tendem a crescer às custas das pequenas, gerando células grandes, observadas no produto final. Uma estrutura de miolo fina é obtida com produtos de baixa viscosidade. A pressão no interior do extrusor pode variar de 30 a 110 atm em função da restrição ao fluxo imposta pela matriz. Sendo assim, o amido fundido, ou melhor, o produto que contém o amido fundido em sua composição, ao emergir pela matriz, tem parte de sua água rapidamente evaporada. Esta perda de água é de 3 a 5 % e contribui para o resfriamento do produto. O resfriamento subseqüente ocorre mais lentamente devido à baixa condutividade térmica do extrusado. Além disso, ao emergir, o extrusado sofre uma queda brusca de pressão que também contribui para a sua expansão (MERCIER, LINKO, HARPER, 1998).

O produto final expandido apresenta células de ar que são formadas devido à pressão do vapor de água superaquecida. À medida que o extrusado tem a sua temperatura reduzida para abaixo da de transição vítrea (T_g), o mesmo se solidifica e mantém a sua forma expandida (RIAZ, 2002).

O máximo grau de expansão do extrusado relaciona-se ao conteúdo de amido, sendo o limite inferior do conteúdo de amido para a expansão entre 60 e 70 % (RIAZ, 2002).

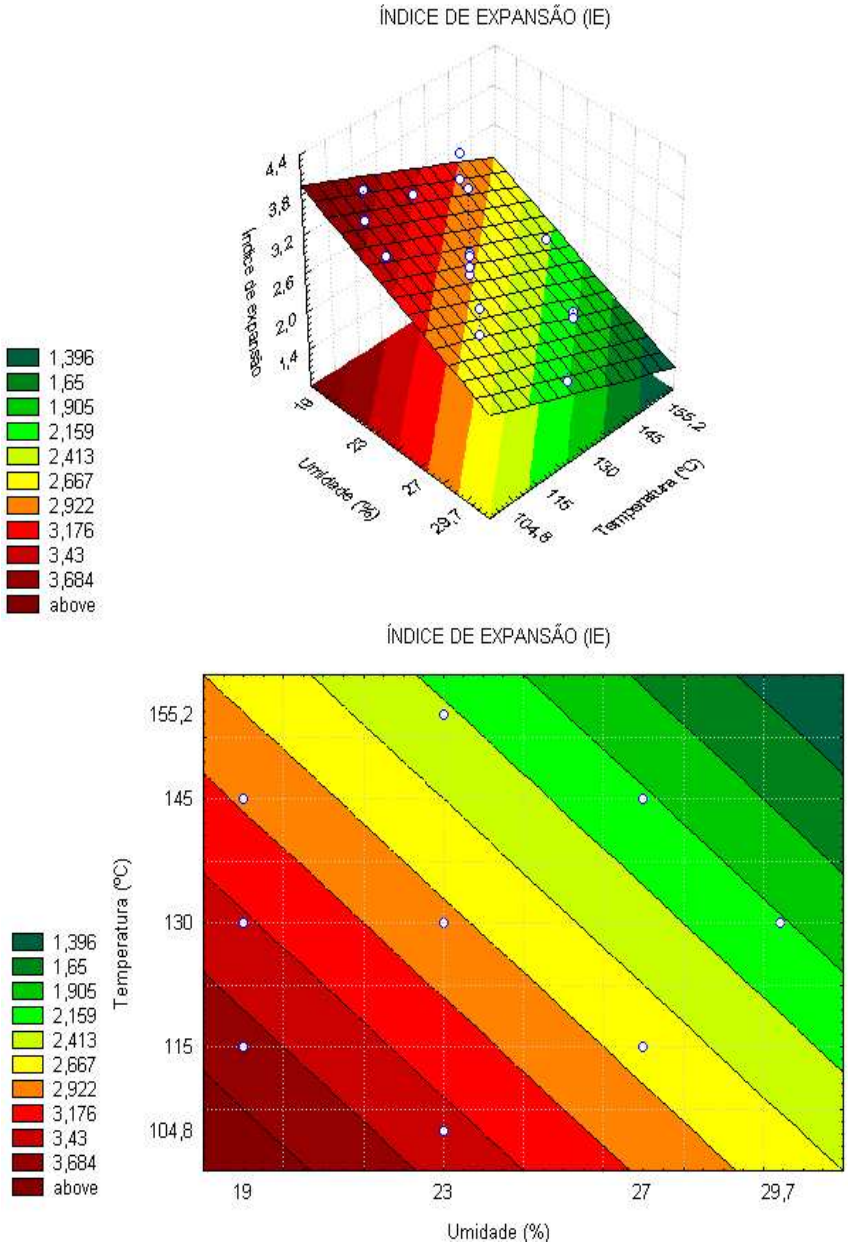


Figura 4: Efeito da umidade da matéria-prima e da temperatura de extrusão no IE dos "snacks"

Analisando a **Figura 4**, observa-se que o IE variou de maneira linear, em função da umidade e da temperatura. Os maiores valores de IE foram obtidos com os menores valores de umidade e de temperatura; enquanto que os menores valores de IE foram resultantes de valores de umidade e de temperatura elevados.

De acordo com Riaz (2002), a expansão do extrusado não ocorre até que a temperatura de cerca de 100ºC tenha sido alcançada.

Mercier e Feillet (1975) observaram durante o processo de extrusão, utilizando "grits" de milho como matéria-prima, que o IE dos extrusados elevou-se em função do aumento de temperatura, tendo chegado ao máximo em 190ºC e diminuindo para valores de temperatura mais elevados. Em temperaturas muito elevadas, a massa fundida de material não consegue reter o vapor no seu interior ao sair pela matriz, em função da ocorrência de dextrinização e do enfraquecimento da estrutura. Sendo assim, o IE é reduzido.

Os valores de IE encontrados na **Figura 4** estão de acordo com os propostos por Sebio e Chang (2000), que avaliando os efeitos de alguns parâmetros de processo na extrusão de farinha de inhame, encontraram que valores de umidade na alimentação inferiores a 21 % e temperaturas inferiores a 130ºC aumentaram a expansão dos extrusados; enquanto que valores de umidade acima de 21 % e temperaturas elevadas resultaram em menor expansão.

Ding et al. (2005) encontraram que a umidade é o principal fator que afeta a densidade do extrusado e a sua expansão. Neste trabalho, a umidade também foi a principal variável que afetou o IE. De acordo com os autores, a alta dependência da densidade e da expansão em relação à umidade seria o resultado de sua influência nas características elásticas dos materiais. Valores elevados de umidade podem reduzir a elasticidade da massa através da plasticização do material fundido, resultando em redução da energia mecânica específica, com conseqüente redução da gelatinização.

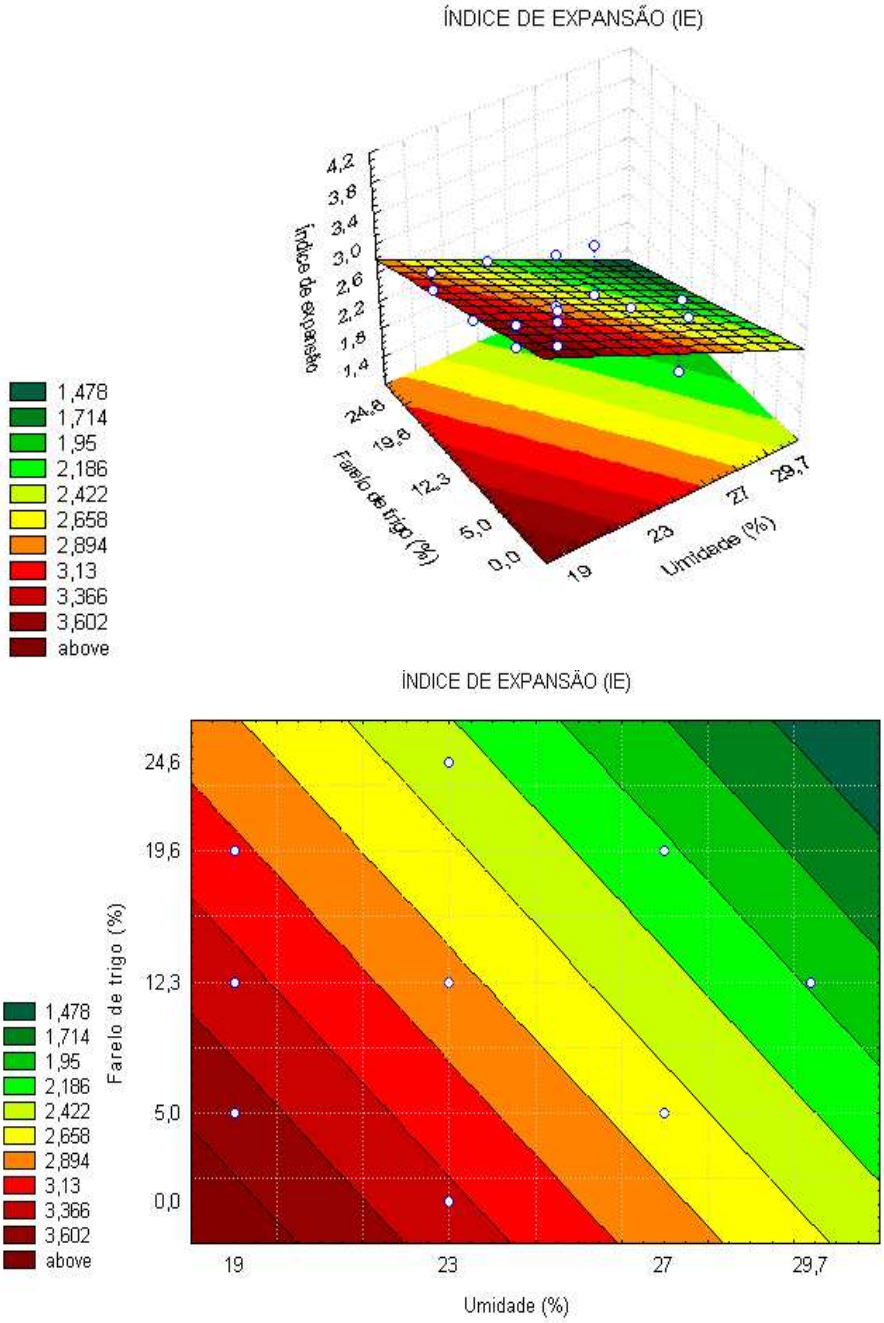


Figura 5: Efeito da umidade da matéria-prima e do teor de farelo de trigo no IE dos “snacks”

A **Figura 5** mostra que o IE foi afetado linearmente pela umidade e pelo farelo de trigo. Para valores baixos de umidade e de farelo de trigo, os valores de IE foram maiores. Por outro lado, os menores valores encontrados para a resposta avaliada foram resultantes de maiores valores de umidade e de farelo de trigo.

Segundo Riaz (2002), partículas na forma de farelo tendem a romper as paredes das células do extrusado, causando uma redução no IE.

Os valores mostrados na **Figura 5** estão de acordo com o proposto por Berglund, Fastnaught e Holm (1994), que avaliando extrusados 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. Segundo os mesmos, a redução na expansão deveu-se ao aumento nas quantidades de fibra alimentar, umidade e temperatura. A presença de fibras proporciona o rompimento das paredes das células e previne que as bolhas de gás expandam até o seu potencial máximo.

Chang et al. (1998), desenvolvendo “snacks” extrusados utilizando misturas de farinha de jatobá (rico em fibras) e amido de mandioca, encontraram que o IE foi reduzido linearmente à medida que a concentração de farinha de jatobá, o teor de umidade e a temperatura de extrusão aumentaram.

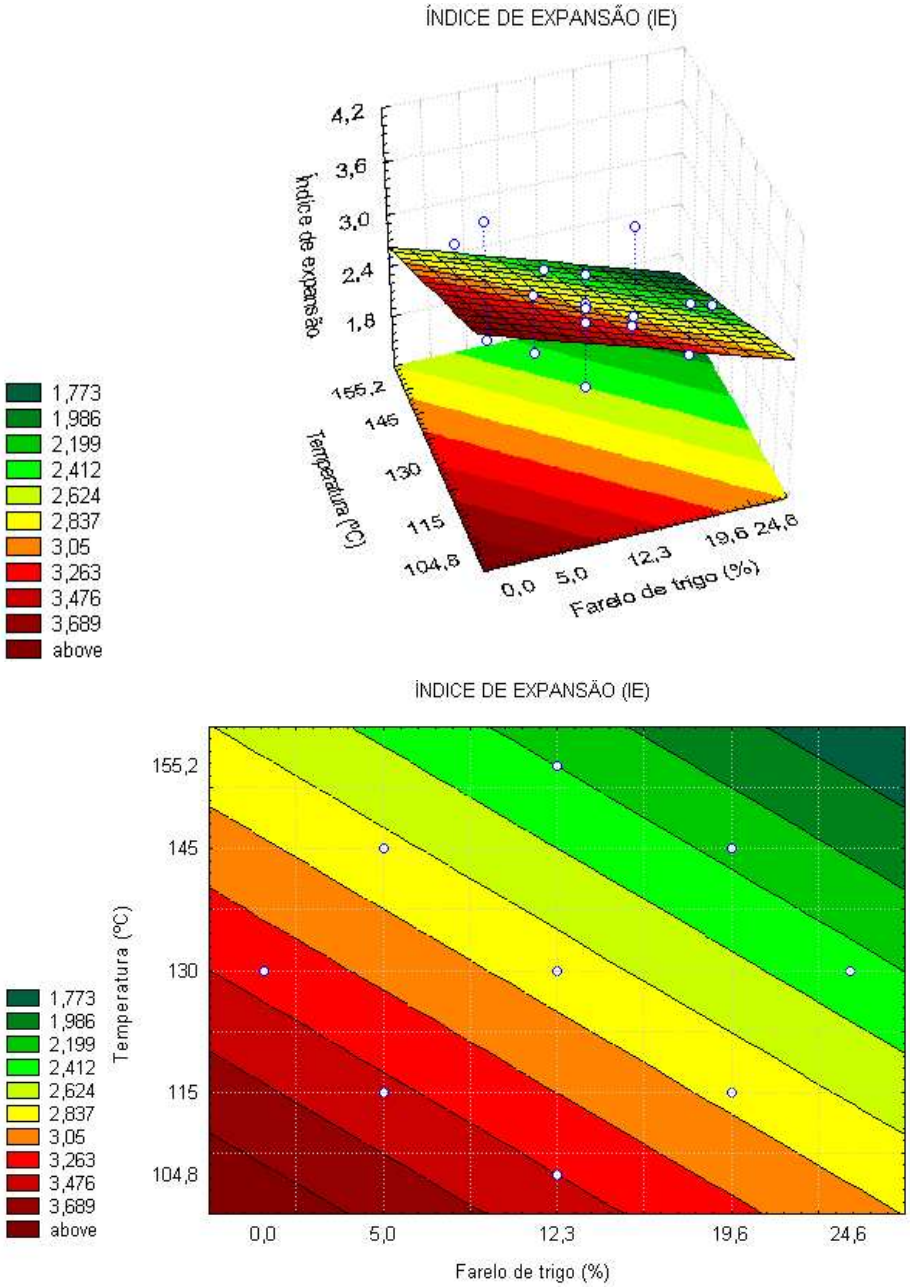


Figura 6: Efeito do teor de farelo de trigo e da temperatura de extrusão no IE dos “snacks”

Na **Figura 6**, demonstra-se de maneira clara, assim como na **Figura 5**, que o aumento de farelo de trigo na formulação tende a diminuir o IE. Relacionando farelo de trigo e temperatura, constata-se que os menores valores de IE foram encontrados para temperaturas elevadas (acima de 140 ºC) e altos teores de farelo de trigo (acima de 20 %). A redução nos valores do IE devido ao aumento no teor de farelo de trigo e da temperatura de processo está de acordo com o que foi proposto por Berglund, Fastnaught e Holm (1994).

4.4.2. DUREZA

Os valores apresentados na **Tabela 8** para a dureza dos "snacks" foram tratados estatisticamente, considerando um intervalo de confiança de 95% ($p<0,05$). Os coeficientes de regressão estão descritos na **Tabela 13.**

Tabela 13: Coeficientes de regressão para a dureza dos "snacks" extrusados

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão (erro puro)	t (2)	p
Média	2,89*	0,05	57,33	0,0003
Umidade (L)	0,24*	0,03	8,40	0,0139
Umidade (Q)	0,03	0,03	0,76	0,5279
Temperatura (L)	-0,69*	0,02	-27,70	0,0013
Temperatura (Q)	0,16*	0,03	6,02	0,0265
Farelo de trigo (L)	-0,22*	0,02	-8,60	0,0132
Farelo de trigo (Q)	-0,09	0,03	-3,38	0,0777
Umidade (L) x Temperatura (L)	0,16*	0,03	5,01	0,0376
Umidade (L) x Farelo (L)	-0,07	0,03	-2,03	0,1797
Temperatura (L) x Farelo (L)	0,19*	0,03	5,70	0,0294

* Valores estatisticamente significativos a 95% de significância ($p<0,05$)

Os fatores quadráticos umidade (Q) e farelo de trigo (Q), e o fator de interação umidade (L) x farelo (L) foram descartados por não serem significativos. Os coeficientes de regressão ajustados encontram-se na **Tabela 14**.

Tabela 14: Coeficientes de regressão ajustados para a dureza dos "snacks" extrusados

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão (erro puro)	t (2)	p
Média	2,82	0,03	92,44	0,0001
Umidade (L)	0,25	0,03	9,32	0,0113
Temperatura (L)	-0,69	0,02	-27,70	0,0013
Temperatura (Q)	0,18	0,03	6,99	0,0199
Farelo de trigo (L)	-0,22	0,02	-8,60	0,0132
Umidade (L) x Temperatura (L)	0,16	0,03	5,01	0,0376
Temperatura (L) x Farelo (L)	0,19	0,03	5,70	0,0294

* Valores estatisticamente significativos a 95 % de significância ($p<0,05$)

Na **Tabela 14**, verifica-se que a dureza foi influenciada significativamente pelos efeitos lineares de todas as variáveis independentes. Além disso, houve influência do efeito quadrático da temperatura; e das interações: umidade (L) x temperatura (L) e temperatura (L) x farelo (L).

Tabela 15: ANOVA para a dureza dos "snacks" extrusados

Fonte de variação	Soma quadrática	Graus de liberdade	Média quadrática	$F_{calculado}$	$F_{tabelado\ (0,95;\ 3;\ 13)}$
Regressão	8,78	6	1,46	7,68	3,22
Resíduos	1,85	10	0,19		
Falta de ajuste	1,83	8	0,23		
Erro puro	0,02	2	0,01		
Total	10,63	16			

% Variação explicada (R^2) = 0,827

Na **Tabela 15** (ANOVA), demonstra-se que o $F_{calculado}$ foi 2,4 vezes maior que o $F_{tabelado}$ e a porcentagem de variação explicada pelo modelo foi de 82,7%. Embora o valor de $F_{calculado}$ não tenha sido tão superior em relação ao valor de $F_{tabelado}$, o valor de R^2 é um bom valor, principalmente por se tratar de um processo complexo, como é o processo de extrusão Portanto, o modelo pode ser considerado significativo, ou seja, a dureza dos "snacks" pode ser estimada em função da umidade da matéria-prima, da temperatura de extrusão e do teor de farelo de trigo na formulação.

Tabela 16: Dureza experimental x dureza predita

Ensaio	Dureza experimental	Dureza predita (modelo codificado)	% Desvio relativo (modelo codificado)
1	3,94	4,00	-1,6
2	4,03	4,18	-3,6
3	1,60	1,92	-19,9
4	2,89	2,75	4,9
5	2,79	3,20	-14,7
6	3,16	3,37	-6,8
7	1,74	1,86	-6,9
8	2,22	2,69	-21,2
9	3,43	2,57	25,2
10	3,62	3,24	10,5
11	4,79	4,49	6,3
12	2,42	2,16	10,8
13	3,01	3,18	-5,6
14	2,78	2,46	11,7
15 (C)	2,80	2,82	-0,6
16 (C)	2,64	2,82	-6,7
17 (C)	2,64	2,82	-6,7

Os desvios relativos para a dureza (média de 10,9 %) descritos na **Tabela 16** podem ser considerados baixos em se tratando de um processo de extrusão. Este fato, aliado aos valores de $F_{calculado}$ e de R^2, também indica que o modelo se ajusta bem às condições propostas para o processamento. A **Equação 10** representa o modelo codificado proposto para a dureza dos "snacks".

$$\mathbf{DUREZA = 2{,}82 + 0{,}25 * U - 0{,}69 * T - 0{,}22 * F + 0{,}16 * U * T + 0{,}19 * T * F + 0{,}18 * T^2}$$

(Equação 10)

A equação acima é válida e possibilita a construção de superfícies de resposta.

A expansão está diretamente relacionada à textura do produto. Produtos com grande expansão podem se desintegrar facilmente devido às finas paredes de suas células; enquanto que produtos densos, com baixa expansão, são freqüentemente duros (RIAZ, 2002).

A dureza representa a força, geralmente dada em kgf ou N, requerida por um "probe" para penetrar o extrusado. A dureza do extrusado aumenta à medida que o teor de umidade aumenta, o que se relaciona com a redução de expansão (DING et al., 2005).

De acordo com Meilgaard, Civille e Carr (1999), a dureza é um parâmetro de textura e pode ser definida tanto fisicamente, quanto sensorialmente. Fisicamente, representa a força necessária para produzir uma certa deformação; enquanto que, sensorialmente, representa a força requerida para a compressão de uma substância entre os dentes molares (para sólidos) ou entre a língua e o palato (para semi-sólidos).

A água atua como plastificante para o material amiláceo que é deslocado no interior do extrusor. Com um aumento no teor de umidade, ocorre uma redução da viscosidade da massa. Sendo assim, a gelatinização do amido é reduzida e o crescimento das bolhas é suprimido, resultando em um produto final mais denso e de baixa crocância. É esperado que um aumento na temperatura reduza a viscosidade do material fundido, o que favorece o crescimento das bolhas e produz "snacks" de baixa densidade, com células finas e grandes; e com maior crocância (DING et al., 2005).

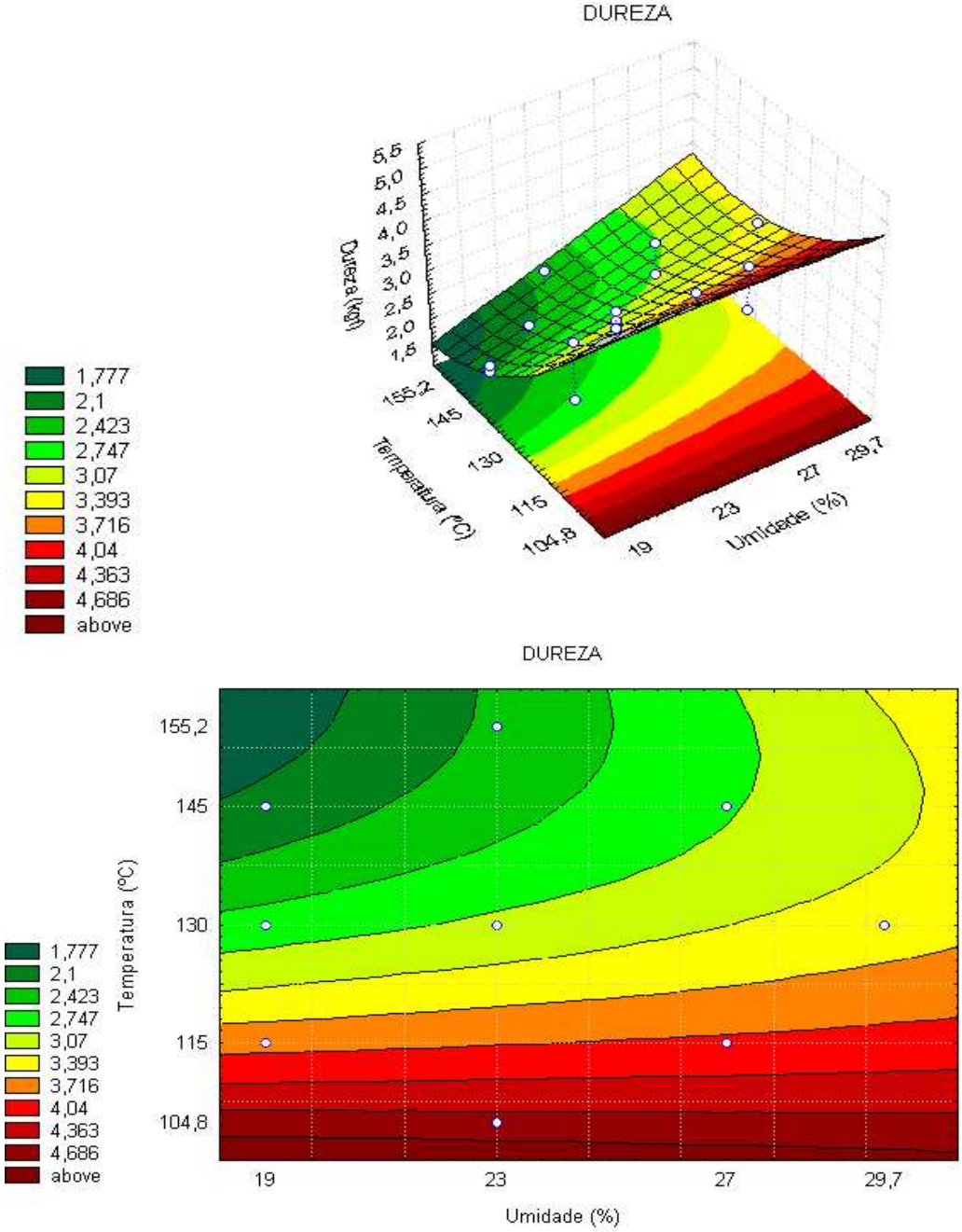


Figura 7: Efeito da umidade da matéria-prima e da temperatura de extrusão na dureza dos "snacks"

Segundo a **Figura 7**, a dureza foi influenciada apenas pela temperatura de extrusão até aproximadamente 120ºC, independendo da umidade. Com um aumento na temperatura, a dureza diminuiu. Acima de 120ºC, nota-se a influência da umidade na dureza, sendo que temperaturas mais elevadas e valores de umidade menores resultaram em menor dureza para os “snacks”.

Ding et al. (2005), que encontraram que a umidade foi o fator mais significativo na dureza dos extrusados expandidos à base de arroz e que um aumento no teor de umidade resultou em aumento de dureza. Além disso, encontraram que uma elevação na temperatura de processo aumentou a crocância, ou seja, reduziu a dureza. O mesmo comportamento foi observado por Sebio e Chang (2000), na extrusão de farinha de inhame, e por Badrie e Mellowes (1991), na extrusão de farinha de mandioca.

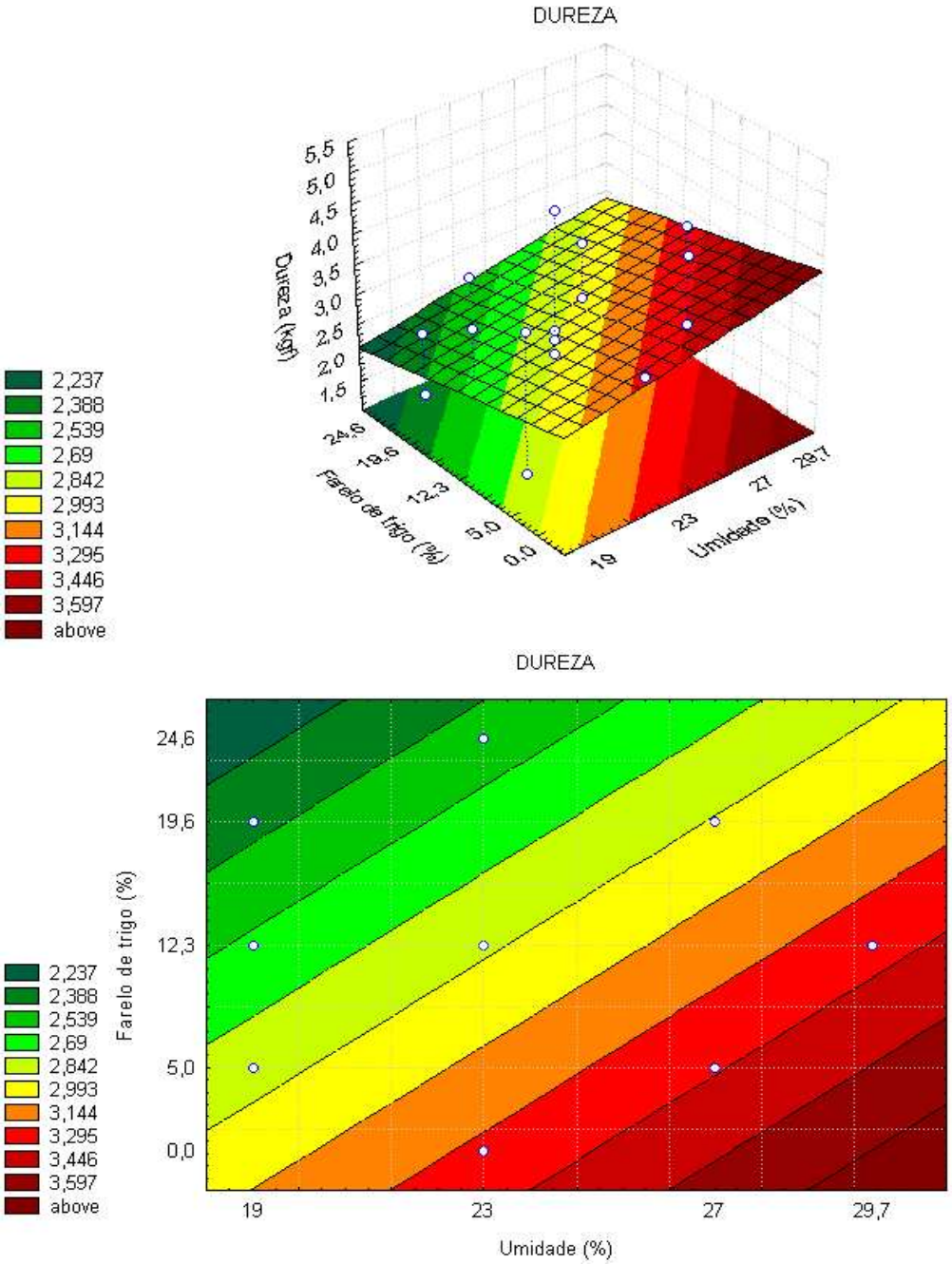


Figura 8: Efeito da umidade da matéria-prima e do teor de farelo de trigo na dureza dos "snacks"

Avaliando-se a **Figura 8,** constata-se que com um aumento do teor de farelo de trigo associado a uma redução de umidade, “snacks” menos duros foram gerados. Por outro lado, para valores maiores de umidade e menores teores de farelo de trigo, a dureza foi maior. Isto pode ter ocorrido pelo fato do farelo de trigo não sofrer gelatinização, ou seja, nas regiões dos extrusados onde havia maior concentração de farelo de trigo, haviam maiores chances de ocorrência de rupturas.

Os resultados não estão de acordo com o proposto por Mercier, Linko e Harper (1998) e Riaz (2002), visto que os autores relacionam a presença de fibra alimentar à redução de expansão de “snacks”, indicando como conseqüência um aumento na dureza dos mesmos. Além disso, afirmam que as fibras geralmente reduzem a expansão do produto devido à ruptura das paredes das células antes que as bolhas de gás possam expandir até o seu potencial máximo, resultando em produtos compactos, duros, não crocantes e com textura indesejável sensorialmente.

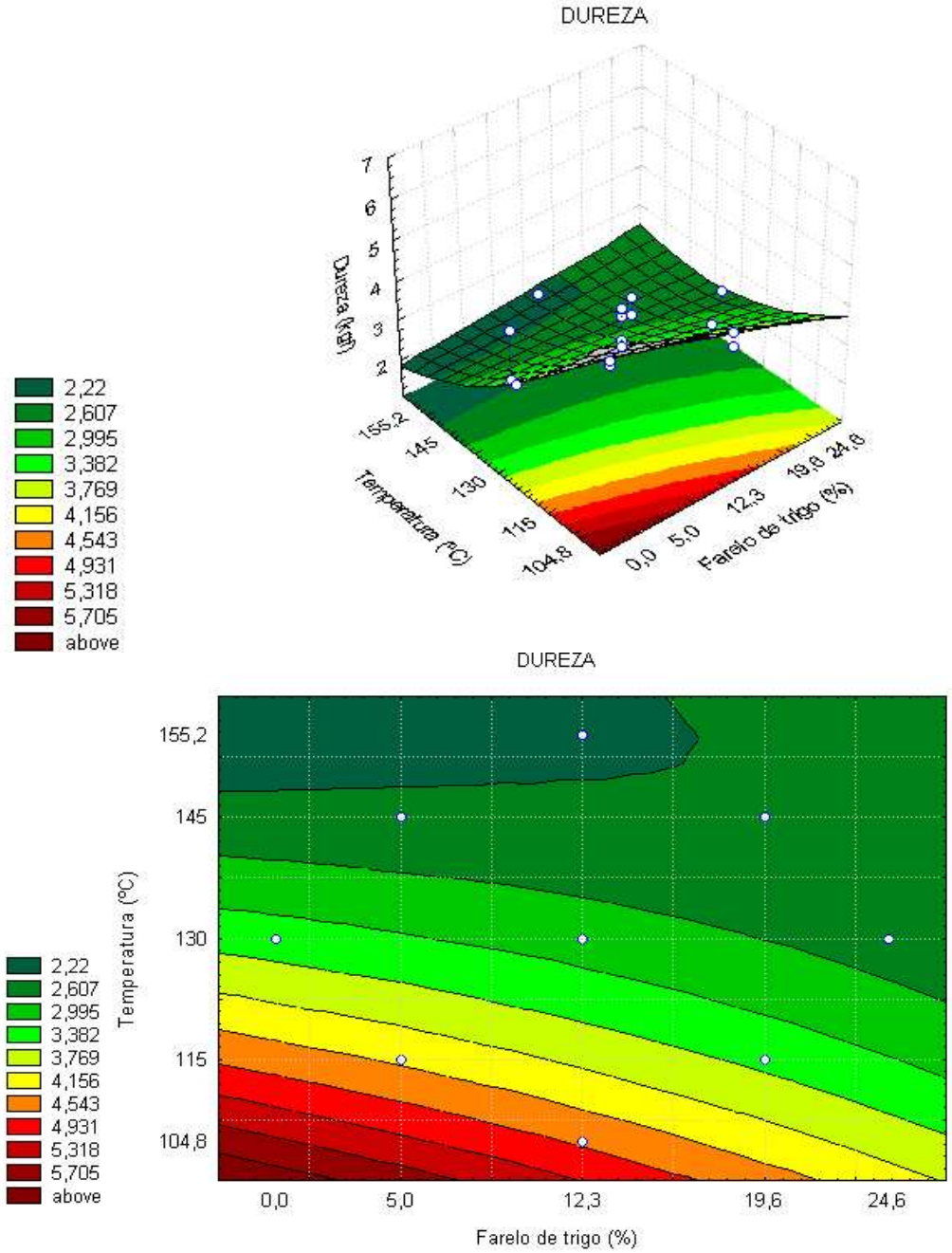


Figura 9: Efeito do teor de farelo de trigo e da temperatura na dureza dos “snacks”

Na **Figura 9**, verifica-se que até 140°C, quantidades decrescentes de farelo de trigo e temperaturas mais baixas de processo tiveram como resultado “snacks” mais duros. Já, entre 140°C e 147°C, não houve influência do teor de farelo na dureza. E, acima de 147°C, houve até uma inversão na influência da porcentagem de farelo de trigo, observando-se a produção de “snacks” menos duros com menores porcentagens. Estes “snacks” foram obtidos em temperaturas acima de 147ºC e teor de farelo de trigo de até 17%.

Embora tenha sido constatado que teores crescentes de farelo de trigo reduziram a expansão dos “snacks”, a dureza dos mesmos não foi necessariamente aumentada; pelo contrário, entre 104,8°C e 140°C, a mesma foi reduzida.

4.4.3. LUMINOSIDADE (L)*

Os valores relativos à luminosidade (L*) dos “snacks” estão descritos na **Tabela 8**. Os coeficientes de regressão calculados a partir destes valores estão demonstrados na **Tabela 17**. Destaca-se que o intervalo de confiança utilizado foi de 90 % (p<0,10).

Tabela 17: Coeficientes de regressão para a luminosidade (L*) dos “snacks” extrusados

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão (residual)	t (7)	p
Média	50,84*	1,81	28,02	0,0000
Umidade (L)	2,05*	1,02	2,00	0,0859
Umidade (Q)	-0,57	1,22	-0,47	0,6524
Temperatura (L)	5,04*	0,90	5,59	0,0008
Temperatura (Q)	0,89	0,96	0,93	0,3839
Farelo de trigo (L)	-1,61	0,90	-1,78	0,1179
Farelo de trigo (Q)	2,00*	0,96	2,08	0,0761
Umidade (L) x Temperatura (L)	2,79*	1,18	2,37	0,0498
Umidade (L) x Farelo (L)	0,77	1,18	0,66	0,5319
Temperatura (L) x Farelo (L)	1,45	1,18	1,23	0,2589

* Valores estatisticamente significativos a 90 % de significância (p<0,10).

Os coeficientes de regressão ajustados encontram-se na **Tabela 18**. Os fatores quadráticos umidade (Q) e temperatura (Q), linear farelo de trigo (L), e de interação umidade (L) x farelo (L) e temperatura (L) x farelo (L) foram descartados por não serem significativos a 90%.

Tabela 18: Coeficientes de regressão ajustados para a luminosidade (L*) dos "snacks" extrusados

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão (residual)	t (12)	p
Média	51,29	1,16	44,22	0,0000
Umidade (L)	1,84	1,02	1,79	0,0980
Temperatura (L)	5,04	0,95	5,30	0,0002
Farelo de trigo (Q)	1,86	0,97	1,90	0,0813
Umidade (L) x Temperatura (L)	2,79	1,24	2,24	0,0447

* Valores estatisticamente significativos a 90 % de significância (p<0,10).

Na **Tabela 18**, nota-se que a luminosidade não foi influenciada pelo efeito linear do farelo de trigo; apenas pelo seu efeito quadrático. Enquanto isso, a umidade e a temperatura de extrusão influenciaram o valor de L* dos "snacks" de maneira linear.

Tabela 19: ANOVA para a luminosidade (L*) dos "snacks" extrusados

Fonte de variação	Soma quadrática	Graus de liberdade	Média quadrática	$F_{calculado}$	$F_{tabelado\ (0,90;\ 4;\ 12)}$
Regressão	489,81	4	122,45	9,91	2,48
Resíduos	148,37	12	12,36		
Falta de ajuste	131,82	10	13,18		
Erro puro	16,55	2	8,28		
Total	638,18	16			

% Variação explicada (R^2) = 0,768

A **Tabela 19** (ANOVA) mostra que o valor de $F_{calculado}$ foi 4,0 vezes maior que o valor de $F_{tabelado}$. Portanto, o modelo pode ser considerado estatisticamente significativo.

Tabela 20: Luminosidade (L*) experimental x luminosidade (L*) predita

Ensaio	L* experimental	L* predita (modelo codificado)	% Desvio relativo (modelo codificado)
1	54,69	49,06	10,29
2	46,51	47,16	-1,40
3	50,93	53,56	-5,16
4	64,41	62,82	2,47
5	42,77	49,06	-14,70
6	48,20	47,16	2,16
7	55,31	53,56	3,16
8	61,37	62,82	-2,36
9	48,93	49,45	-1,06
10	52,83	54,39	-2,94
11	44,97	42,81	4,80
12	62,19	59,77	3,90
13	60,59	56,55	6,66
14	52,84	56,55	-7,03
15 (C)	49,84	51,29	-2,91
16 (C)	48,30	51,29	-6,19
17 (C)	53,87	51,29	4,79

As porcentagens de desvio relativo foram baixas **(Tabela 20)** e o valor de R^2 pode ser considerado como satisfatório por se tratar de um processo complexo, como é o processo de extrusão. Embora os “snacks” tenham sido dispostos na forma de feixes, resultando em um material não uniforme, os valores experimentais encontram-se próximos aos valores preditos. Portanto, o modelo proposto se ajusta bem às condições utilizadas no processo.

A luminosidade (L*) está representada de forma codificada pelo modelo proposto pela **(Equação 11)**.

$$L^* = 51{,}29 + 1{,}84 * U + 5{,}04 * T + 2{,}79 * U * T + 1{,}86 * F^2 \qquad \textbf{(Equação 11)}$$

Sendo o modelo proposto válido estatisticamente, as superfícies de resposta puderam ser obtidas.

A cor dos produtos extrusados é influenciada pela temperatura, composição da matéria-prima, tempo de residência, pressão e força de cisalhamento (GUY, 2001; MERCIER, LINKO, HARPER, 2001).

A cor é uma qualidade visual (atributo) importante dos produtos alimentícios. Existem muitas reações que ocorrem durante a extrusão, que afetam a cor. Dentre elas, as mais comuns são as reações de escurecimento não-enzimático (reação de Maillard e caramelização) e a degradação de pigmentos. As condições de processamento utilizadas na extrusão (alta temperatura e 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. Também, as mudanças de cor durante o processo de extrusão podem ser um indicador para avaliar a intensidade do processo em relação às mudanças químicas e nutricionais (ILO, BERGHOFER, 1999).

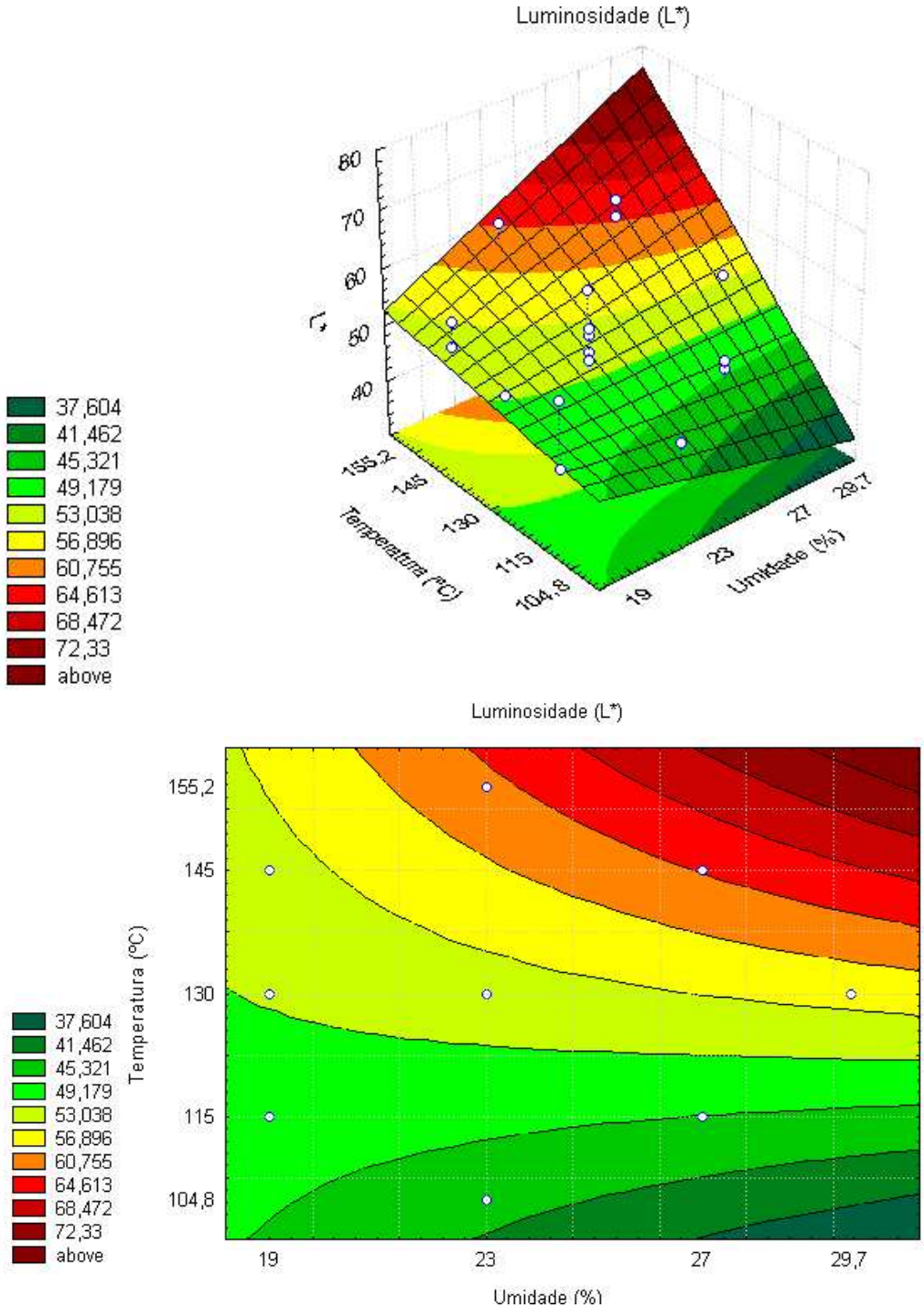


Figura 10: Efeito da umidade da matéria-prima e da temperatura de extrusão no valor de L* dos “snacks”

Avaliando a **Figura 10**, verifica-se que o aumento de umidade, quando avaliada junto com a temperatura, exerceu pouca influência no valor de L*, sendo que apenas valores elevados de umidade interagiram com a temperatura, resultando em maior ou menor luminosidade. Para valores de umidade acima de 27%, o valor de L* praticamente varia apenas em função da temperatura, uma vez que com um aumento desta, o valor de L* aumenta. Portanto, o aumento de temperatura nas condições de processo utilizadas proporcionou “snacks” mais claros. Isto pode ser relacionado à perda de cor devido à severidade do tratamento térmico. Destaca-se que, visualmente, pôde ser observado que “snacks” provenientes de altas temperaturas apresentavam-se esbranquiçados.

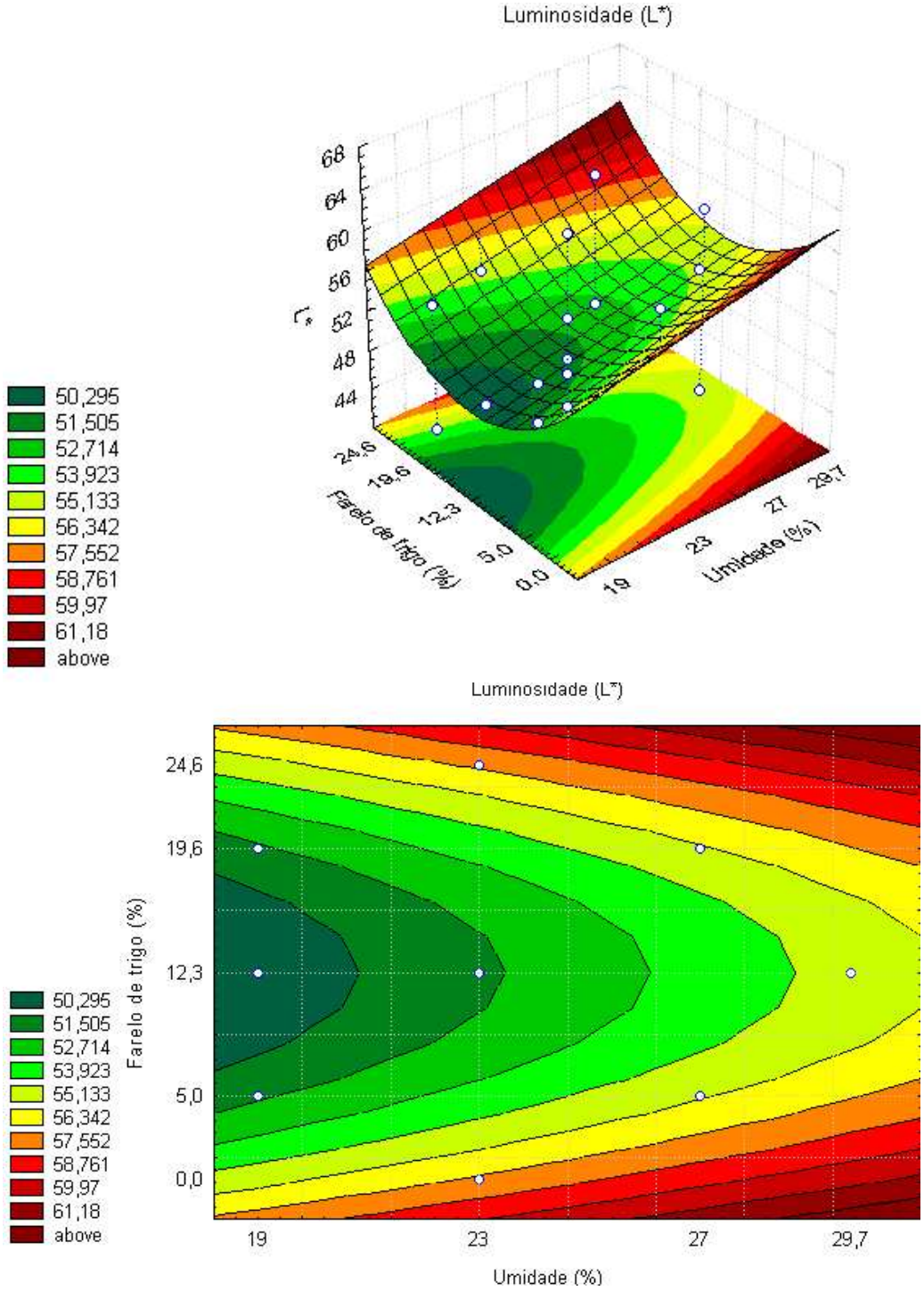


Figura 11: Efeito da umidade da matéria-prima e do teor de farelo de trigo no valor de L* dos "snacks"

Segundo a **Figura 11**, para um mesmo teor de farelo de trigo, um aumento da umidade indica uma tendência de aumento no valor de L*, ou seja, “snacks” mais claros. Nota-se, também, que os menores valores de L* são obtidos para baixos valores de umidade, em associação com valores intermediários de farelo de trigo (entre 10 e 15%). Os resultados não estão de acordo com o proposto por Liu et al. (2000), que avaliaram extrusados à base de farinha integral de aveia e farinha de milho e encontraram que um aumento no teor de umidade da matéria-prima proporcionou uma redução no valor de L*, ou seja, ocorreu o escurecimento do material. Porém, Ilo e Berghofer (1999) propuseram que elevadas temperaturas de processo e baixos valores de umidade favorecem a ocorrência de reações de escurecimento não-enzimático (reação de Maillard).

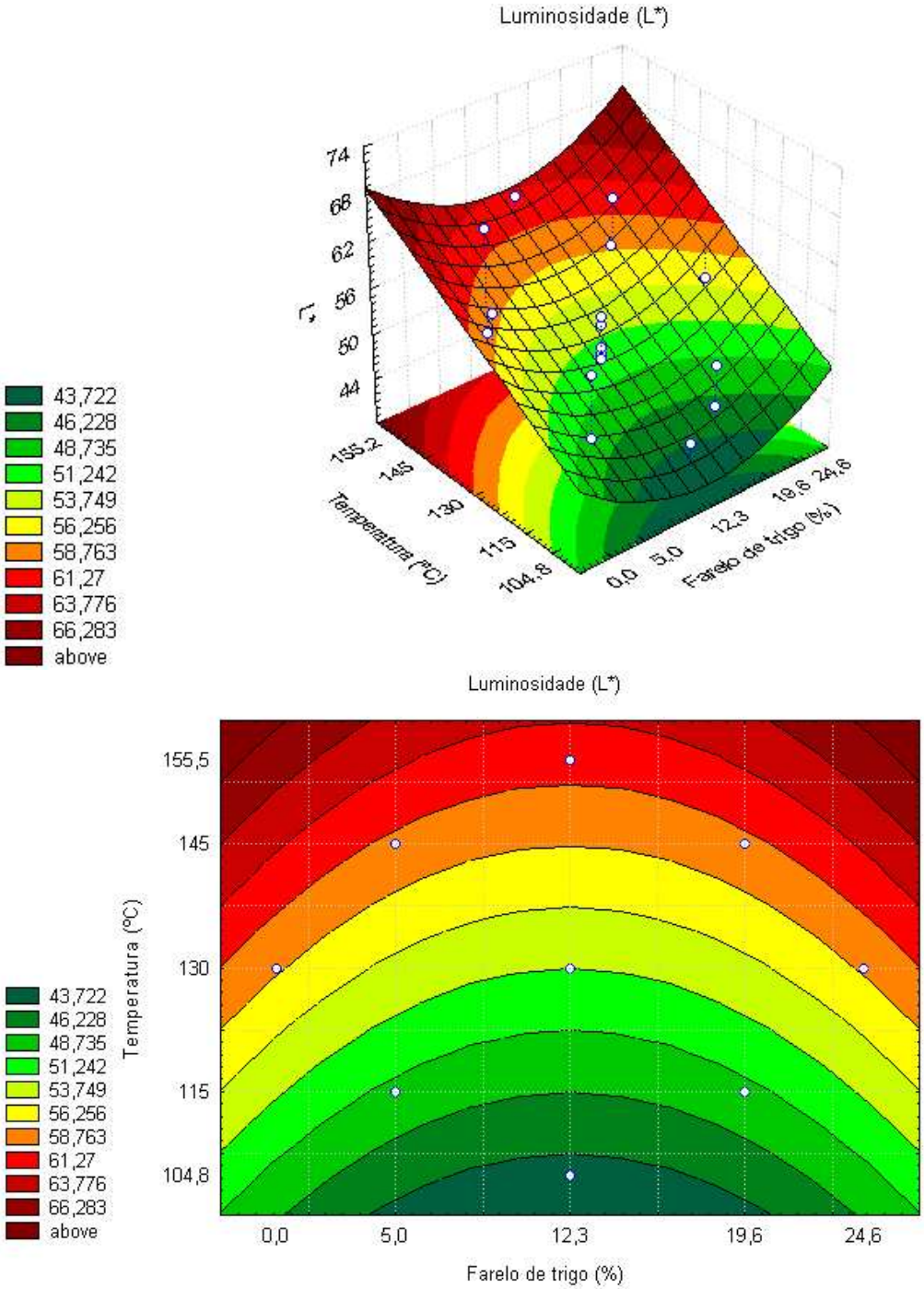


Figura 12: Efeito do teor de farelo de trigo e da temperatura no valor de L* dos “snacks”

Na **Figura 12**, novamente verifica-se que os menores valores de L* ocorreram para valores intermediários de farelo de trigo; e que um aumento na temperatura resultou em “snacks” mais claros, demonstrando perda de cor dos mesmos. Os resultados encontrados não estão de acordo com o proposto por Grenus, Hsieh e Huff (1993), que estudando a extrusão de farinha e de farelo de arroz encontraram que um aumento nos níveis de farelo resultou em extrusados mais escuros. Na figura acima, nota-se que o valor de L* foi basicamente influenciado pela temperatura de extrusão.

Embora Ilo e Berghofer (1999) tenham afirmado que elevadas temperaturas de processo favorecem reações de escurecimento não-enzimático, na figura acima verifica-se um aumento no valor de L* (aumento da claridade do produto) em função do aumento de temperatura, devido possivelmente à degradação de pigmentos.

4.5. AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS FUNCIONAIS DOS EXTRUSADOS

4.5.1. ÍNDICE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA (IAA)

Os coeficientes de regressão para o IAA foram obtidos estatisticamente a partir dos dados presentes na **Tabela 8**. O intervalo de confiança considerado foi de 90 % ($p<0,10$).

Tabela 21: Coeficientes de regressão para o Índice de Absorção de Água (IAA)

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão (residual)	t (7)	p
Média	6,18*	0,11	57,28	0,0000
Umidade (L)	0,53*	0,06	8,74	0,0001
Umidade (Q)	-0,27*	0,07	-3,72	0,0075
Temperatura (L)	0,05	0,05	0,98	0,3587
Temperatura (Q)	-0,09	0,06	-1,63	0,1482
Farelo (L)	-0,28*	0,05	-5,29	0,0011
Farelo (Q)	0,03	0,06	0,48	0,6490
Umidade (L) x Temperatura (L)	0,22*	0,07	3,16	0,0159
Umidade (L) x Farelo (L)	0,09	0,07	1,30	0,2333
Temperatura (L) x Farelo (L)	-0,02	0,07	-0,30	0,7701

* Valores estatisticamente significativos a 90% de significância ($p<0,10$)

Foram descartados os fatores linear temperatura (L), quadráticos temperatura (Q) e farelo (Q), e de interação umidade (L) x farelo (L) e temperatura (L) x farelo (L), por não serem significativos a 90% de confiança. Portanto, a **Tabela 22** apresenta apenas os coeficientes de regressão ajustados e significativos.

Tabela 22: Coeficientes de regressão ajustados para o IAA

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão (residual)	t (12)	p
Média	6,12	0,07	85,46	0,0000
Umidade (L)	0,53	0,06	8,32	0,0001
Umidade (Q)	-0,26	0,07	-3,47	0,0046
Farelo (L)	-0,28	0,06	-5,04	0,0003
Umidade (L) x Temperatura (L)	0,22	0,07	3,01	0,0108

* Valores estatisticamente significativos a 90 % de significância (p<0,10)

De acordo com a **Tabela 22**, observa-se que o IAA foi influenciado significativamente pelos efeitos lineares e quadráticos da umidade, pelo efeito de interação entre a umidade e a temperatura; além da influência do efeito linear do farelo de trigo.

Tabela 23: ANOVA para o IAA

Fonte de variação	Soma quadrática	Graus de liberdade	Média quadrática	$F_{calculado}$	$F_{tabelado\ (0,90;\ 4;\ 12)}$
Regressão	4,36	4	1,09	18,17	2,48
Resíduos	0,67	12	0,06		
Falta de ajuste	0,54	10	0,05		
Erro puro	0,13	2	0,07		
Total	5,03	16			

% Variação explicada (R^2) = 0,897

A **Tabela 23** (ANOVA), demonstra que o $F_{calculado}$ foi 7,3 vezes maior que o $F_{tabelado}$. Sendo assim, o modelo obtido para o IAA pode ser considerado estatisticamente significativo para as condições utilizadas no processo de extrusão. Além disso, a porcentagem de variação explicada pelo modelo (R^2), de 0,897, pode ser considerada um bom valor.

Tabela 24: IAA experimental x IAA predito

Ensaio	IAA experimental	IAA predito (modelo codificado)	% Desvio relativo (modelo codificado)
1	5,77	5,83	-1,1
2	6,19	6,45	-4,3
3	5,58	5,39	3,4
4	6,74	6,90	-2,3
5	5,24	5,27	-0,5
6	5,88	5,89	-0,1
7	4,82	4,82	-0,1
8	6,49	6,33	2,5
9	5,16	5,33	-3,3
10	6,40	6,29	1,8
11	5,87	6,12	-4,2
12	5,97	6,12	-2,5
13	6,86	6,60	3,9
14	5,66	5,64	0,3
15 (C)	6,45	6,12	5,2
16 (C)	5,95	6,12	-2,8
17 (C)	6,27	6,12	2,4

Analisando a **Tabela 24**, verifica-se que os desvios relativos entre os valores observados nos ensaios e os valores preditos pelo modelo codificado foram baixos. Valores baixos de desvio representam que o modelo proposto se ajusta bem às condições propostas no processamento.

A **Equação 12** apresenta os coeficientes de regressão ajustados e indica os efeitos das variáveis independentes (umidade da matéria-prima, temperatura na 3ª zona do extrusor e teor de farelo de trigo) sobre o IAA.

$$IAA = 6,12 + 0,53 * U – 0,28 * F + 0,22 * U * T – 0,26 * U^2 \quad \text{(Equação 12)}$$

As superfícies de resposta referentes ao IAA foram obtidas a partir do modelo matemático proposto pela equação acima.

O IAA depende da exposição de grupos hidrofílicos (-OH) da moléculas de amilose e de amilopectina e da capacidade de formação de gel de tais moléculas. Este índice está relacionado à capacidade de absorção e retenção de água pelos constituintes da matéria-prima. Durante a extrusão, os grânulos de amido sofrem gelatinização e as proteínas são desnaturadas. O amido gelatinizado absorve mais água do que em seu estado natural e as proteínas, devido a mudanças conformacionais e estruturais, têm o seu balanço hidrofílico/hidrofóbico alterado, podendo contribuir para o aumento ou diminuição do IAA (ALVIM, SGARBIERI, CHANG, 2002).

Mercier, Linko e Harper (1998) afirmam que o IAA de amidos extrusados encontra-se na faixa entre 3 e 10 g de água por grama de material seco.

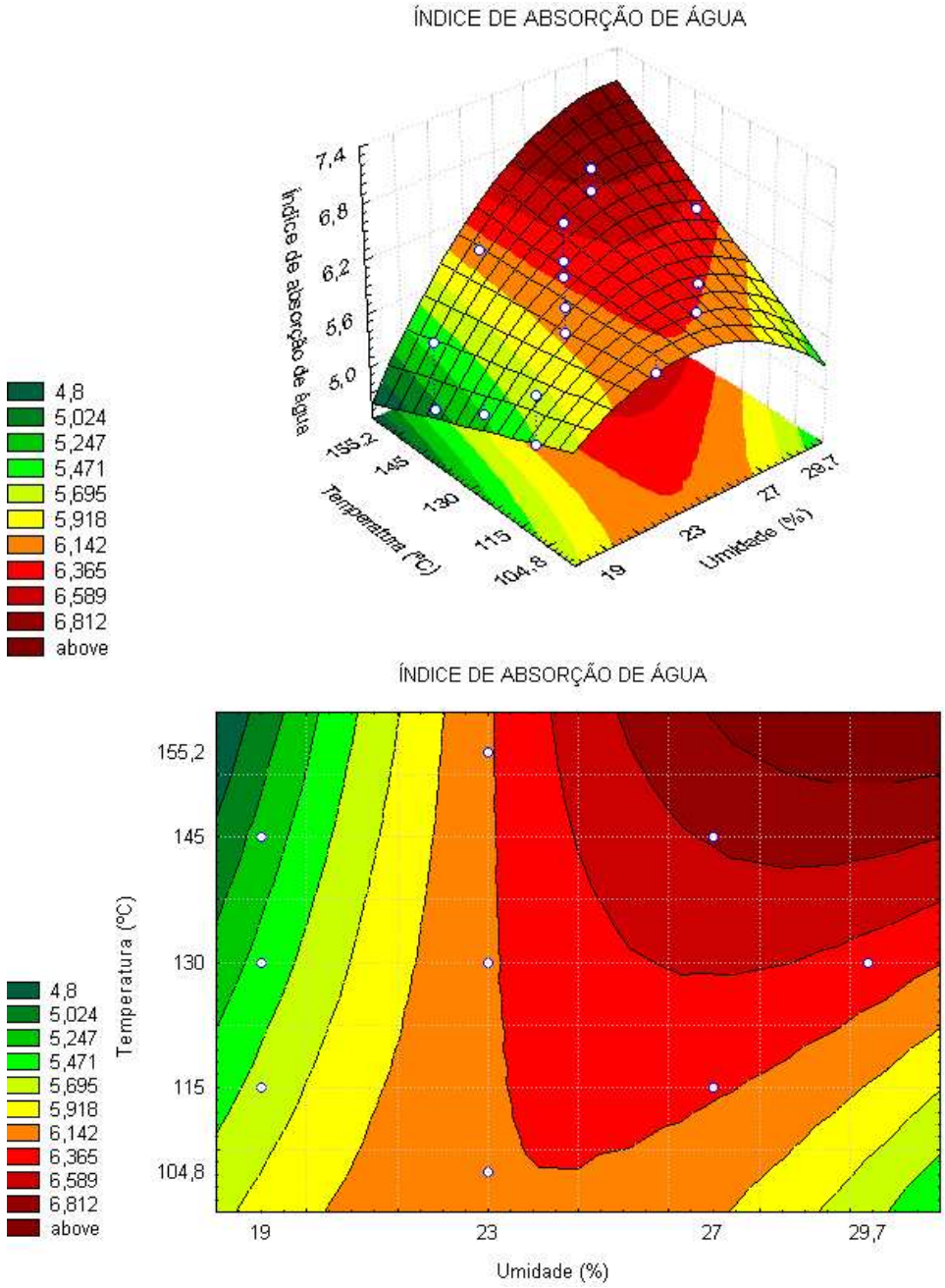


Figura 13: Efeito da umidade da matéria-prima e da temperatura de extrusão no IAA dos "snacks"

Segundo a **Figura 13**, os maiores valores de IAA foram obtidos para os mais altos valores de umidade e de temperatura, acima de 26% e de 140ºC, respectivamente. Isto pode ser explicado pela exposição de grupos hidrofílicos (-OH) das cadeias de amilose e amilopectina nos grânulos amido submetidos aos efeitos do tratamento térmico.

A influência das variáveis de processo nos valores do IAA pode ser melhor entendida se forem levados em consideração a estrutura dos grânulos de amido e como ocorre o processo de gelatinização.

Os grânulos de amido apresentam em sua composição moléculas de amilose e de amilopectina, as quais apresentam grupos hidroxila (-OH), que, por sua vez, apresentam propriedades hidrofílicas. Estas propriedades estão diretamente relacionadas à capacidade de dispersão do amido em água. Além disso, os grupos hidroxila tendem a se atrair, formando pontes de hidrogênio entre as moléculas de amido adjacentes e, portanto, inibindo a dissolução dos grânulos de amido em água fria.

Os grânulos de amido apresentam uma característica de “birrefringência”, ou seja, a ocorrência de áreas cristalinas e amorfas. O processo de gelatinização do amido inicia-se quando os grânulos, na presença de água e submetidos a uma elevação de temperatura, perdem a sua característica de “birrefringência” e se intumescem.

O processo de intumescimento inicia-se na região amorfa e depois passa a ocorrer também na região cristalina, através do rompimento das ligações entre as moléculas de amido. Este processo continua até que um máximo de viscosidade seja atingido. Porém, à medida que o aquecimento e o cisalhamento continuam, os grânulos de amido começam a se romper e a colapsar, resultando em aumento do teor de sólidos solúveis. Normalmente, o processo de gelatinização do amido é avaliado através da utilização de viscoamilógrafo (VAN BEYNUM, ROELS, 1985).

É interessante observar que para valores de umidade mais baixos, o IAA cai com o aumento da temperatura. Já para valores de umidade mais altos, o IAA aumenta com o aumento da mesma. Isto relaciona-se ao processo de gelatinização, pois teores de umidade baixos e elevadas temperaturas, aliados ao cisalhamento ocorrido no processo de extrusão, contribuem para o rompimento e o colapso da estrutura dos grânulos de amido, promovendo

a formação de dextrinas e diminuindo a capacidade de absorção de água. Enquanto isso, valores de umidade mais elevados diminuem o efeito do cisalhamento sobre os grânulos de amido e em combinação com temperaturas mais elevadas favorecem o processo de gelatinização e, por conseqüência, a liberação de grupos (-OH).

Mercier e Feillet (1975) observaram que com um aumento na temperatura do processo de extrusão, utilizando “grits” de milho como matéria-prima, o IAA elevou-se até atingir um valor ótimo em 170ºC, diminuindo, para valores de temperatura mais elevados. Além disso, observaram que a viscosidade a 50ºC, diminuiu com o aumento de temperatura de processo.

O aumento dos valores do IAA observados neste trabalho em função do aumento da umidade e da temperatura está de acordo com os resultados apresentados por Singh e Smith (1997), que, comparando amido de trigo, farinha de trigo integral e farinha de aveia no processo de extrusão, encontraram que a interação entre umidade e temperatura foi altamente significativa; e apontaram que o IAA de todos os materiais avaliados aumentou com o aumento nos valores destas duas variáveis.

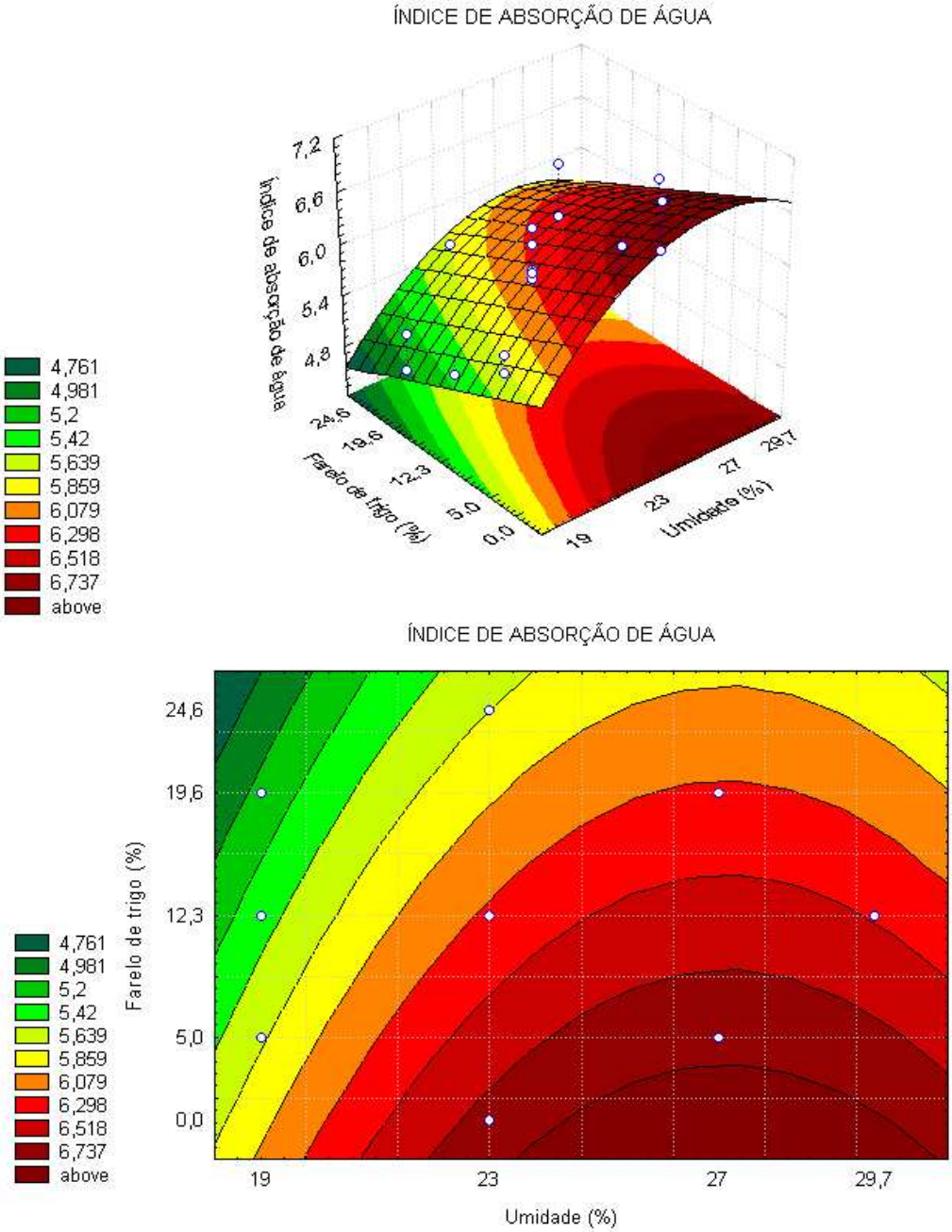


Figura 14: Efeito da umidade da matéria-prima e do teor de farelo de trigo no IAA dos "snacks"

De acordo com a **Figura 14**, os valores de IAA mais elevados foram obtidos para uma umidade maior (acima de 23%) e para teores de farelo de trigo baixos (inferiores a 9%). Considerando um mesmo valor de umidade, constata-se que um aumento no teor de farelo de trigo promove uma redução no IAA. Ding et al. (2006) destacam que o IAA é um índice que está diretamente relacionado à umidade da matéria-prima e à temperatura de processo, os quais exercem grande influência no processo de gelatinização do amido. Sendo assim, pode-se concluir que o IAA é influenciado diretamente pela presença de amido na formulação, sendo maior para formulações com menores teores de farelo de trigo.

Neste trabalho, verificou-se que o farelo de trigo influenciou de maneira negativa o IAA dos produtos extrusados. 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 do farelo de trigo nos valores do IAA dos "snacks" justifica-se, uma vez que o aumento no teor de farelo de trigo ocorre concomitantemente à diminuição da quantidade de farinha de milho. Os valores encontrados para o IAA da farinha de milho **(Item 4.1.3)** e para o "snack" contendo apenas farinha de milho **(Item 4.8.3)** permitem verificar a grande influência do processo de extrusão no aumento do IAA, pois tal processo possibilitou um aumento de 2,2 vezes em tal índice. Além disso, de acordo com Anderson e Eastwood (1987), o farelo de trigo, quando submetido a tratamento térmico, como a extrusão termoplástica, e quando tem o seu tamanho de partícula reduzido, como o que ocorre devido ao cisalhamento, tem a sua capacidade de absorção de água reduzida.

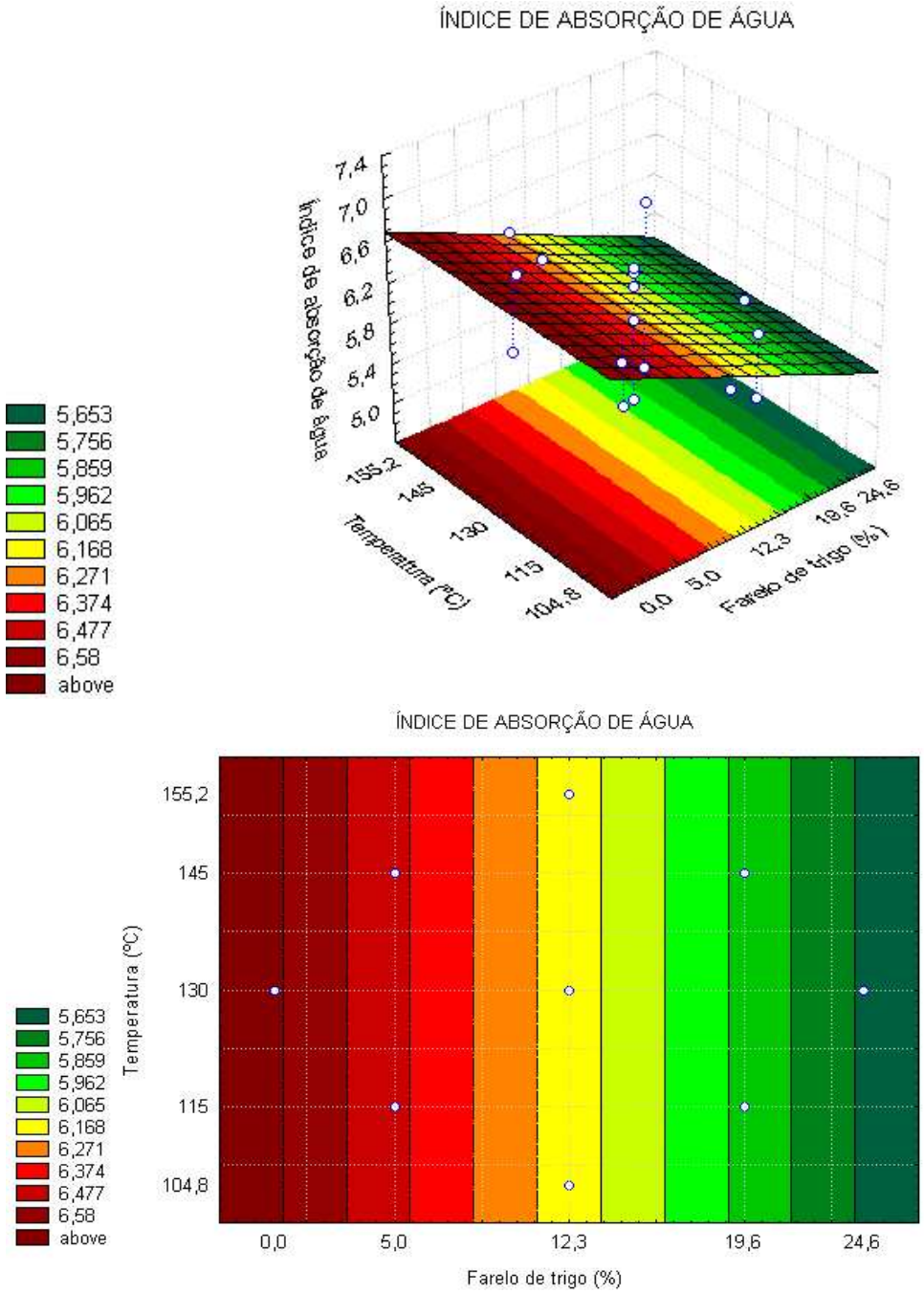


Figura 15: Efeito do teor de farelo de trigo e da temperatura de extrusão no IAA dos “snacks”

Na **Figura 15**, observa-se que os valores do IAA foram independentes da temperatura, quando esta foi relacionada ao teor de farelo de trigo. Sendo assim, verifica-se que a temperatura provavelmente exerceu pouca ou nenhuma influência na redução de absorção de água por parte do farelo de trigo; enquanto que a redução do tamanho de partícula ocasionada pela extrusão exerceu. Além disso, nota-se que o aumento na quantidade de farelo de trigo aliado à redução do teor de farinha de milho promove uma redução no IAA. Destaca-se que a farinha de milho, devido ao processo de extrusão, tem o seu IAA aumentado devido à liberação dos grupos hidrofílicos das macromoléculas de amido, conforme proposto por Alvim, Sgarbieri e Chang (2002). Enquanto isso, o farelo de trigo tem a sua capacidade de retenção de água reduzida durante o processo, de acordo com Anderson e Eastwood (1987).

4.5.2. ÍNDICE DE SOLUBILIDADE EM ÁGUA (ISA)

Os coeficientes de regressão apresentados na **Tabela 25** foram obtidos estatisticamente a partir dos valores experimentais do ISA **(Tabela 8).** No tratamento estatístico desta variável dependente (resposta) utilizou-se um intervalo de confiança de 95 % ($p<0,05$).

Tabela 25: Coeficientes de regressão para o Índice de Solubilidade em Água (ISA)

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão (residual)	t (7)	p
Média	38,04*	0,10	28,41	0,0000
Umidade (L)	-6,49*	0,06	-8,59	0,0001
Umidade (Q)	-0,71	0,07	-0,79	0,4541
Temperatura (L)	-2,67*	0,05	4,02	0,0050
Temperatura (Q)	0,86	0,05	1,22	0,2629
Farelo de trigo (L)	2,31*	0,05	3,47	0,0104
Farelo de trigo (Q)	0,55	0,05	0,78	0,4613
Umidade (L) x Temperatura (L)	-1,71	0,06	-1,97	0,0896
Umidade (L) x Farelo (L)	0,14	0,06	0,16	0,8765
Temperatura (L) x Farelo (L)	-1,14	0,06	-1,31	0,2307

* Valores estatisticamente significativos a 95 % de significância ($p<0,05$)

Por não serem estatisticamente significativos, os fatores quadráticos umidade (Q), temperatura (Q) e farelo de trigo (Q), e de interação umidade (L) x temperatura (L), umidade (L) x farelo (L) e temperatura (L) x farelo (L) foram descartados. Sendo assim, a partir dos fatores significativos, novos coeficientes de regressão foram gerados **(Tabela 26)**.

Tabela 26: Coeficientes de regressão ajustados para o ISA

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão (residual)	t (13)	p
Média	38,70	0,65	59,35	0,0000
Umidade (L)	-6,75	0,78	-8,64	0,0000
Temperatura (L)	2,67	0,73	3,68	0,0028
Farelo de trigo (L)	2,31	0,73	3,18	0,0073

* Valores estatisticamente significativos a 95 % de significância ($p<0,05$)

De acordo com a **Tabela 26**, verifica-se que o ISA foi influenciado apenas pelos efeitos lineares das variáveis independentes (umidade, temperatura e farelo de trigo).

Tabela 27: ANOVA para o ISA

Fonte de variação	Soma quadrática	Graus de liberdade	Média quadrática	$F_{calculado}$	$F_{tabelado\ (0,95;\ 3;\ 13)}$
Regressão	708,5	3	236,17	32,76	3,41
Resíduos	93,73	13	7,21		
Falta de ajuste	69,98	11	6,36		
Erro puro	23,75	2	11,88		
Total	802,23	16			

% Variação explicada (R^2) = 0,883

Realizando-se a análise de variância **(Tabela 27)**, verifica-se que o modelo obtido para o ISA é válido estatisticamente para as faixas de variação propostas neste trabalho, pois o $F_{calculado}$ foi 9,6 vezes maior que o $F_{tabelado}$. Além disso, o valor de R^2 foi elevado (próximo de 0,9).

Tabela 28: ISA experimental x ISA predito

Ensaio	ISA experimental	ISA predito (modelo codificado)	% Desvio relativo (modelo codificado)
1	39,13	40,47	-3,4
2	26,81	26,96	-0,6
3	46,97	45,82	2,5
4	33,20	32,31	2,7
5	43,44	45,10	-3,8
6	37,07	31,58	14,8
7	52,11	50,43	3,2
8	33,51	36,93	-10,2
9	43,51	45,45	-4,5
10	24,43	27,34	-11,9
11	34,98	34,20	2,2
12	45,20	43,20	4,4
13	35,79	34,82	2,7
14	42,63	42,58	0,1
15 (C)	34,56	38,70	-12,0
16 (C)	38,47	38,70	-0,6
17 (C)	41,43	38,70	6,6

As porcentagens de desvio relativo entre os valores experimentais e os preditos para a variável ISA foram relativamente baixos (média de 5,1 %). Isto demonstra novamente a validade do modelo proposto.

A **Equação 13** representa o modelo codificado para o ISA. Destaca-se a presença apenas de fatores lineares.

$$ISA = 38,70 – 6,75 * U + 2,68 * T + 2,31 * F \quad \text{(Equação 13)}$$

A partir do modelo proposto acima foi possível a construção de superfícies de resposta.

O ISA depende da quantidade de moléculas solúveis e também da intensidade e do tipo de reações que ocorrem durante o processo de extrusão. O processo de extrusão pode promover a dextrinização dos componentes, conduzindo à formação de compostos de baixo peso molecular, como no caso de açúcares, destacando-se a maltose. Composto de baixo peso molecular influenciam o ISA (ALVIM, SGARBIERI, CHANG, 2002).

Ralet, Valle e Thibault (1993), citados por Larrea, Chang e Martínez-Bustos (2005), afirmam que os materiais solúveis são constituídos principalmente de substâncias pécticas e hemiceluloses. Os autores apontam que o processo de extrusão aumenta a concentração dos componentes solúveis da fibra (xilose, galactose e ácido urônico), ou seja, o ISA aumenta. Além disso, indicam que este aumento pode ocorrer em função da solubilização de substâncias pécticas neutras ou de ligações laterais, e não devido à degradação das ligações centrais de ramnogalacturonas e da cadeia central de celulose.

De acordo com Mercier, Linko e Harper (1998), o ISA situa-se na faixa entre 10 e 50% e aumenta com o aumento da severidade do tratamento térmico.

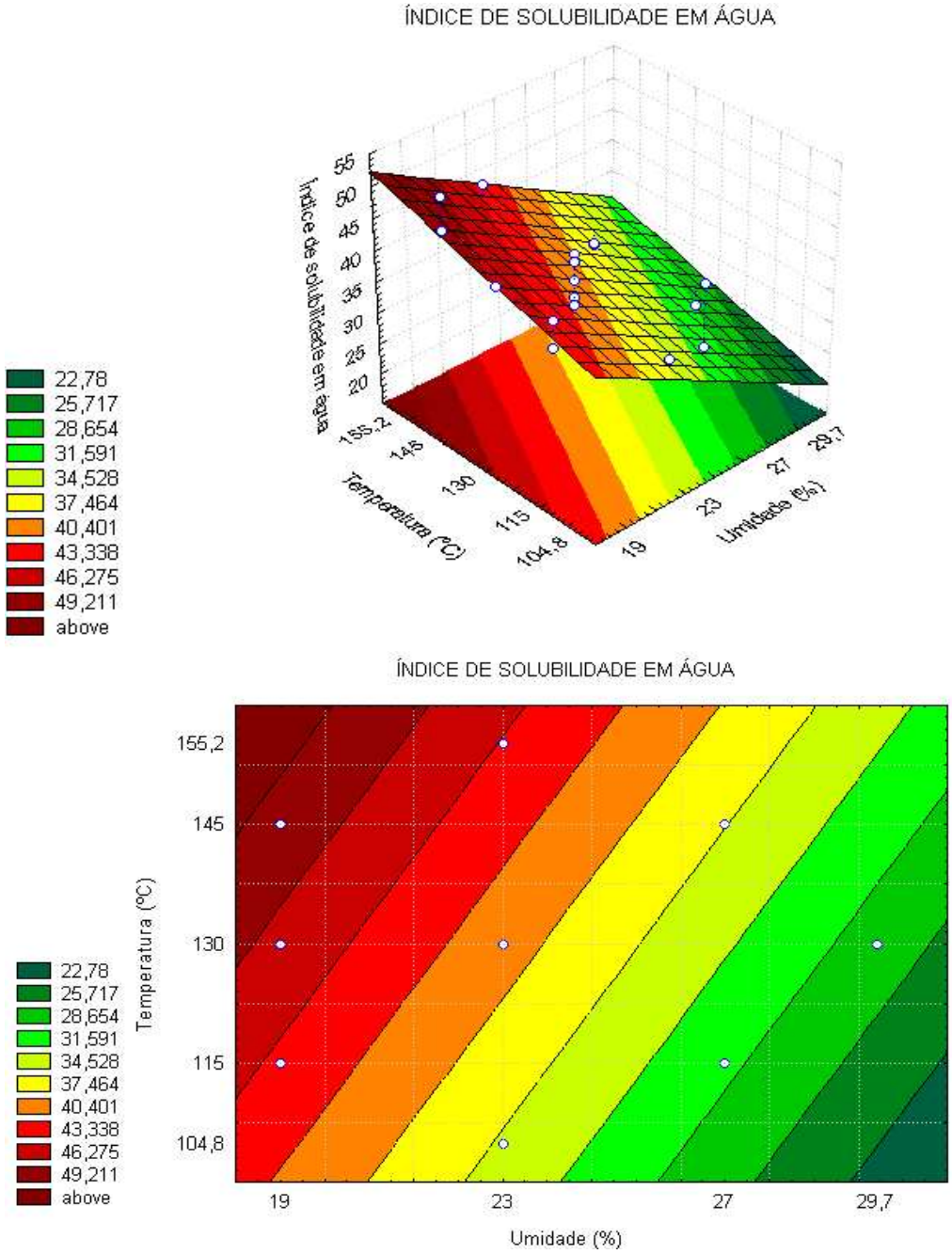


Figura 16: Efeito da umidade da matéria-prima e da temperatura de extrusão no ISA dos "snacks"

De acordo com a **Figura 16**, o ISA aumentou à medida que temperaturas mais elevadas de processo aliadas a baixos valores de umidade foram utilizadas.

A redução nos valores do ISA em função do aumento da umidade observada neste trabalho está em conformidade com o proposto por Mercier, Linko e Harper (1998).

Ding et al. (2005) observaram que um aumento no teor de umidade resultou em uma redução do ISA de extrusados expandidos à base de arroz; e que o ISA foi significativamente aumentado devido a um aumento na temperatura de processo. O aumento de temperatura também resultou em aumento do ISA neste trabalho.

Larrea, Chang e Martínez-Bustos (2005), avaliando algumas propriedades funcionais de extrusados de polpa de laranja (alto teor de fibra alimentar) encontraram que o ISA aumentou com o aumento da temperatura de extrusão e teores de umidade abaixo de 27%. De acordo com os autores, tais condições possibilitaram um aumento na fração solúvel de fibra alimentar, como no caso da pectina solúvel.

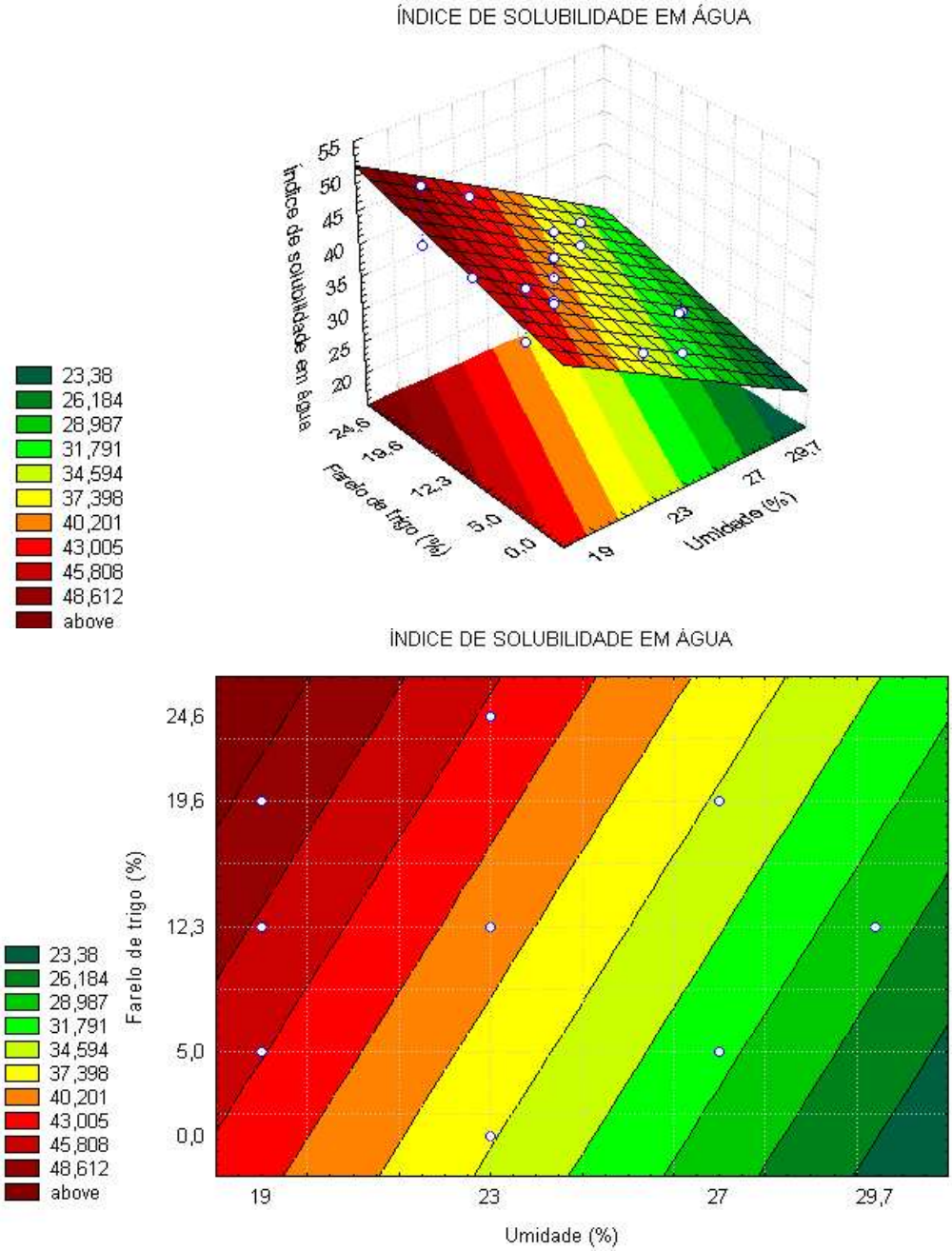


Figura 17: Efeito da umidade da matéria-prima e do teor de farelo de trigo no ISA dos "snacks"

Na **Figura 17**, observa-se que os menores valores para o ISA foram obtidos para os maiores valores de umidade associados a baixos teores de farelo de trigo na formulação. Já, os maiores valores para o ISA foram resultantes de baixa umidade e elevado teor de farelo de trigo. Embora as formulações com maior teor de farelo de trigo tenham menor quantidade de amido disponível para sofrer os processos de gelatinização e de dextrinização, os valores do ISA obtidos para tais formulações foram maiores. Isto deve-se às características das matérias-primas utilizadas no processo, pois conforme demonstrado no **Item 4.1.4**, o valor do ISA para o farelo de trigo é aproximadamente 6,0 vezes maior que para a farinha de milho.

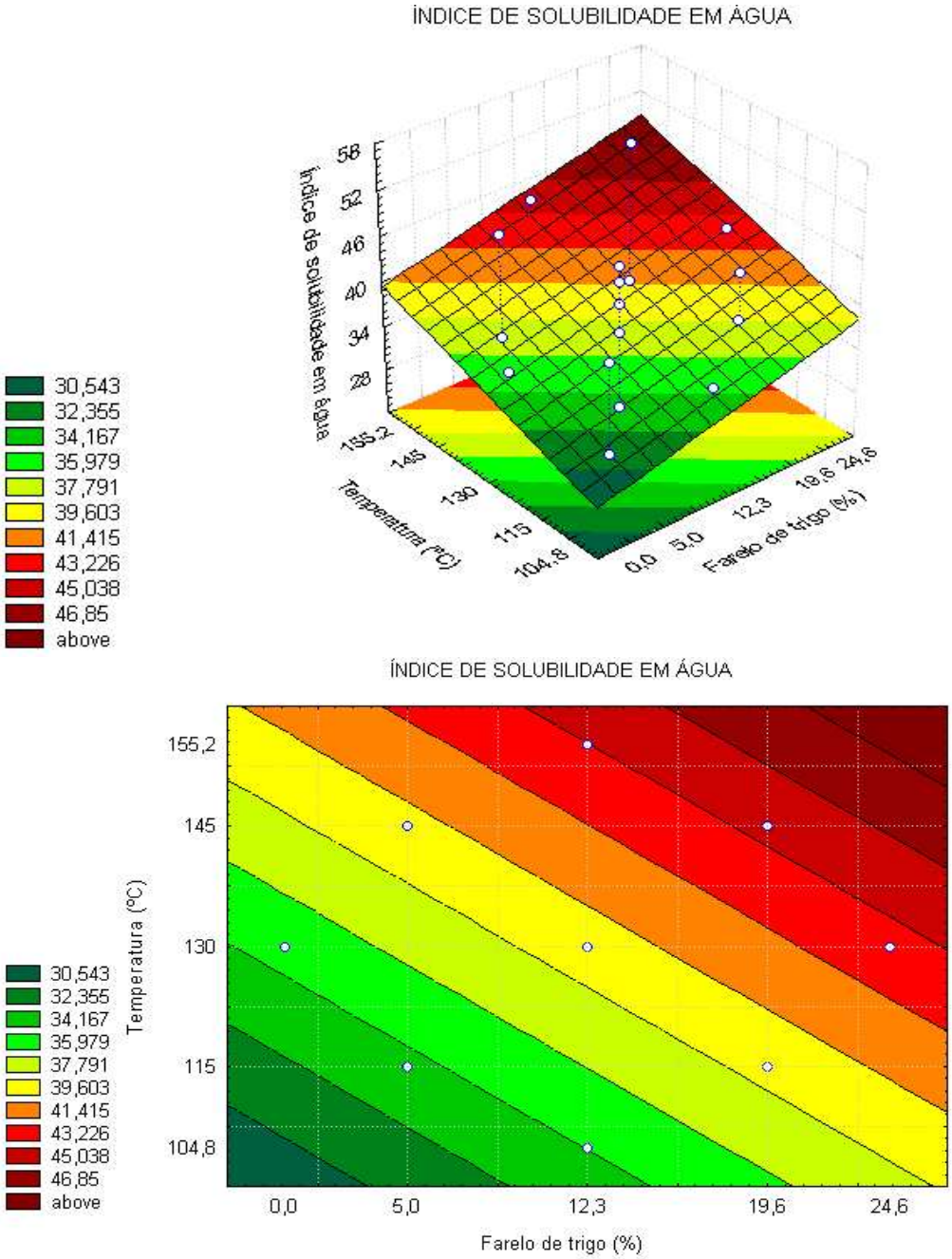


Figura 18: Efeito do teor de farelo de trigo e da temperatura de extrusão no ISA dos “snacks”

Os valores do ISA representados na **Figura 18** aumentaram à medida que o teor de farelo de trigo e a temperatura de processo aumentaram. Com a redução dessas variáveis, o ISA diminuiu. Os valores maiores do ISA devem-se à maior liberação de compostos de baixo peso molecular, resultantes da dextrinização dos componentes do amido. Temperaturas elevadas de processamento favorecem a ocorrência de reações de dextrinização (RIAZ, 2002). Além disso, comparando-se as matérias-primas, observa-se que o ISA do farelo de trigo é aproximadamente 6,0 vezes maior que o da farinha de milho. Logo, uma maior incorporação de farelo de trigo na formulação favorece a elevação do ISA.

4.6. CARACTERIZAÇÃO VISUAL DOS EXTRUSADOS

A **Figura 19** apresenta os “snacks” extrusados sob diferentes condições de processamento. Visualmente, nota-se que as variáveis consideradas neste trabalho (umidade, temperatura e teor de farelo de trigo) exerceram grande influência nas características dos mesmos, no que diz respeito à expansão e a cor. Portanto, é possível a obtenção de produtos com características diferenciadas variando-se as condições de processamento. Nota-se que, embora a condição de 16,3 % de umidade tenha sido indicada no planejamento experimental, nenhum “snack” nesta condição foi obtido, devido à limitação do extrusor – dificuldade de deslocamento da matéria-prima com nível de umidade tão baixo no interior do equipamento. Em Brabender (1995), aponta-se que o limite inferior de umidade para a passagem de material pelo extrusor mono-rosca, modelo 20 DN – GNF 1014/2 é de 16 %.

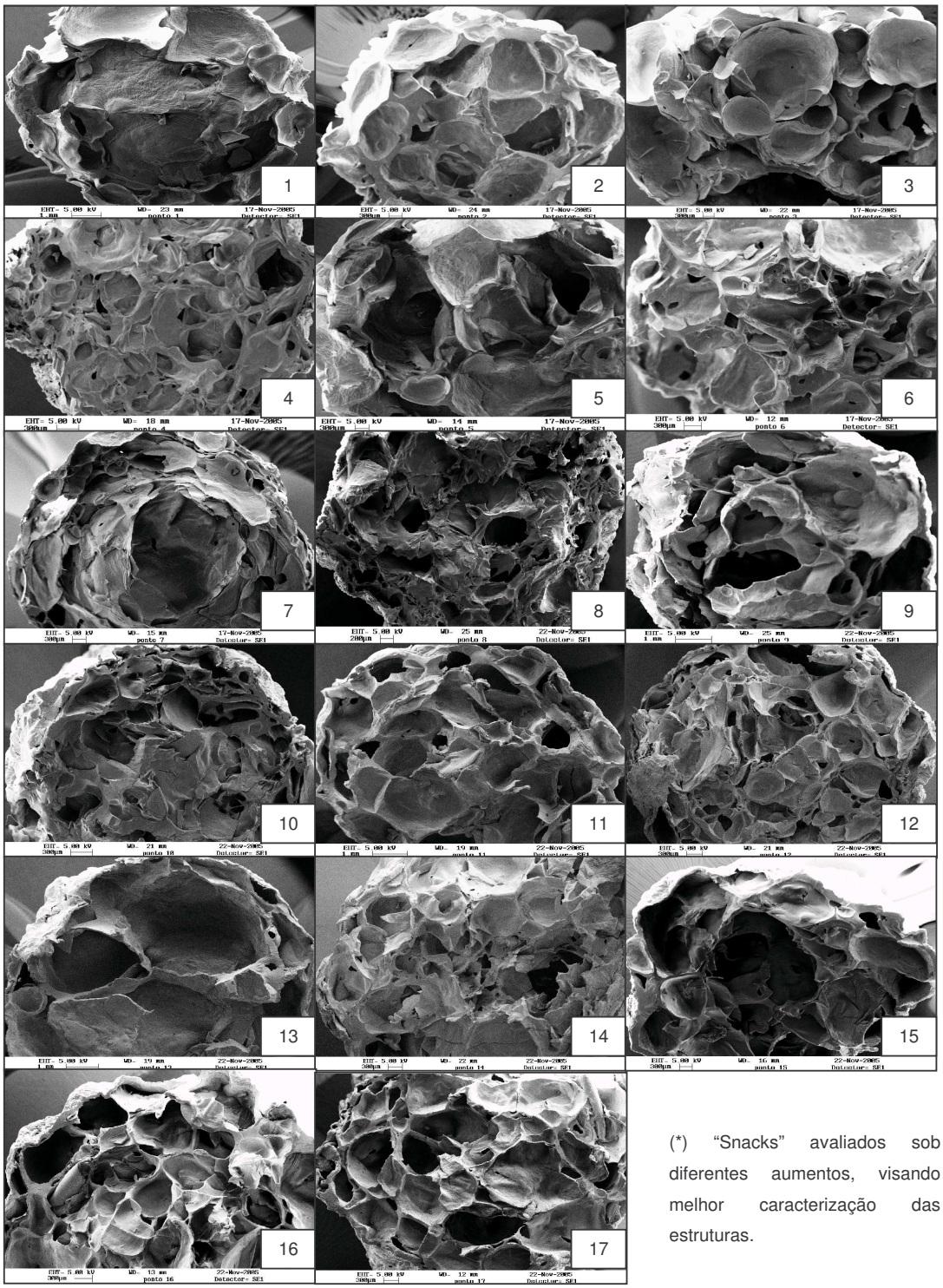
Em linhas gerais, visualmente, os “snacks” com maior teor de farelo de trigo apresentaram-se mais escuros; altas temperaturas de extrusão resultaram em “snacks” esbranquiçados; e baixos teores de farelo de trigo e de umidade proporcionaram maior expansão dos extrusados.

	VARIÁVEIS DE EXTRUSÃO E EXTRUSADOS										
	Temperatura	→	104,8	115		130			145		155,2
Umidade	Farelo de trigo	→	12,3	5,0	19,6	0,0	12,3	24,6	5,0	19,6	12,3
↓											
16,3											
19,0											
23,0											
27,0											
29,7											

Figura 19: “Snacks” extrusados expandidos sob diferentes condições de processamento

4.7. AVALIAÇÃO MICROSCÓPICA DOS EXTRUSADOS

Os “snacks” extrusados expandidos obtidos nos 17 ensaios experimentais foram avaliados em relação às suas respectivas estruturas internas através de microscopia eletrônica de varredura (MEV). Destaca-se que, visando uma melhor caracterização da estrutura interna dos mesmos, diferentes aumentos foram utilizados. As micrografias dos extrusados estão demonstradas na **Figura 20.**



(*) “Snacks” avaliados sob diferentes aumentos, visando melhor caracterização das estruturas.

Figura 20: Micrografias demonstrando a estrutura interna dos extrusados*

* Na **Figura 19**, estão representados os ensaios experimentais de 1 a 17. Ensaios 1 (24x), 9 (30x), 11 (30x) e 13 (30x) (barra = 1 mm); Ensaios 2 (40x), 3 (35x), 4 (60x), 5 (34x), 6 (50x), 7 (45x), 10 (70x), 12 (50x), 14 (50x), 15 (40x), 16 (60x) e 17 (50x) (barra = 300 μm); Ensaio 8 (60x) (barra = 200 μm).

Na **Figura 20**, verifica-se que as diferentes condições de processamento utilizadas nos diversos ensaios tiveram grande influência na estrutura interna dos "snacks" extrusados. Em linhas gerais, elevados teores de umidade, 27% (ensaios 2, 4, 6 e 8) e 29,7% (ensaio 10) resultaram em "snacks" com estrutura densa e pobre formação de células. Isto se deve possivelmente à elevada viscosidade da massa no interior do extrusor, que prejudica a conversão e o crescimento das bolhas. Nos ensaios com o menor teor de umidade, 19% (ensaios 1, 3, 5, 7, 9) foram obtidos extrusados com estrutura menos densa e com tendência de formação de células bem estruturadas, com tamanho maior ou igual a 500 μm. Os pontos com valor intermediário de umidade (23%) apresentaram células com características intermediárias (tendência para maior densidade; porém, com células definidas).

A temperatura também exerceu destacada influência na estrutura dos extrusados. No ensaio 3 observou-se que a temperatura, aliada à baixa umidade, possibilitou a obtenção de um "snack" com células grandes (maiores que 500 μm) e com paredes finas. Isto possivelmente ocorreu devido à reduzida viscosidade do material fundido. Em outros pontos experimentais que utilizaram temperaturas elevadas, como os ensaios 4, 7, 8 e 12, a formação de células grandes e finas foi suprimida por outros fatores (umidade elevada e/ ou farelo de trigo). O ensaio 11, que foi produzido sob a menor temperatura (104,8 ºC) foi o que apresentou a maior dureza, ao ser avaliado por texturômetro (4,8 kgf).

Além disso, o farelo de trigo também influenciou a formação das células no interior dos extrusados, sendo que teores elevados de farelo, como no caso dos ensaios 8 e 14 (19,6 e 24,6% de farelo, respectivamente), contribuíram para a formação de estruturas densas; tamanho médio de células reduzido (próximo de 300 μm) e grande número de orifícios nas paredes das mesmas. O ensaio 13, que representa um "snack" sem farelo de trigo, apresentou poucas células, mas grandes (maiores que 1 mm), com superfície relativamente lisa e sem orifícios entre células adjacentes. No ensaio 13, também pôde ser observado que

as bolhas de ar foram envoltas por uma estrutura endurecida, a qual também foi visualisada a olho nu.

Os resultados indicaram que o grau de expansão do extrusado é dependente da presença e da quantidade de farelo de trigo na formulação; e está associado ao tamanho das células presentes no seu interior. Além disso, Lue et al. (1990) afirmam que o farelo nos extrusados tende a romper as paredes das células a uma espessura crítica antes que a célula tenha se expandido até o seu potencial máximo. Além disso, destacam que aumentando-se o conteúdo de fibra alimentar ocorre a redução do tamanho médio das células; além de um aumento na freqüência de flocos incompletos e orifícios. Segundo Mercier, Linko e Harper (1998), partículas grandes de farelo de trigo, como as utilizadas neste trabalho (96,2% das partículas maiores que 0,50 mm), contribuem para uma maior susceptibilidade à ruptura das células no extrusado. Os resultados deste trabalho estão de acordo com os autores previamente citados.

4.8. COMPARAÇÃO ENTRE "SNACKS" ENRIQUECIDO ÓTIMO E CONTROLE SEM FARELO

4.8.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Visando avaliar a influência do farelo de trigo nas características físicas, tecnológicas e sensoriais dos "snacks" extrusados, foram comparados "snacks" com farelo de trigo (12,3%) e sem farelo (0,0%). As condições de umidade e de temperatura foram as mesmas para ambos (23,0% e 130ºC, respectivamente). Estes valores de umidade e de temperatura foram escolhidos por se tratarem de valores intermediários. Na escolha de tais valores foram levados em consideração os valores obtidos para as respostas (IE, IAA, ISA, Dureza e Luminosidade – L*). Conforme demonstrado na **Tabela 8,** em linhas gerais, os valores obtidos para as respostas geradas sob condições experimentais intermediárias (pontos centrais) foram intermediários, quando comparados aos demais ensaios. Além disso, os valores intermediários de umidade e de temperatura foram escolhidos para evitar que tais variáveis levassem à conclusões não verdadeiras em termos da influência do farelo de trigo na qualidade do produto final.

O “snack” contendo 12,3% de farelo de trigo na sua formulação, processado sob condições de umidade e de temperatura intermediárias, previamente descritas, foi escolhido como ponto ótimo por se tratar de um produto que atende a legislação brasileira, no que diz respeito à definição de alimento “alto teor em fibras” proposta por Agência Nacional de Vigilância Sanitária (1998). De acordo com a legislação, um produto pode ser considerado como “alto teor em fibras” se apresentar no mínimo 6 g de fibras alimentares na sua composição por 100 g de produto. O “snack” proposto neste trabalho, contendo 12,3% de farelo de trigo apresenta 8,7% (valor em base úmida) de fibra alimentar.

Considerou-se como “snack” controle o que não apresentava farelo de trigo na sua formulação e como ótimo aquele que apresentava 12,3%.

4.8.2. COMPOSIÇÃO CENTESIMAL

A composição centesimal foi determinada para o “snack” contendo farelo de trigo e os dados estão presentes na **Tabela 29**.

Tabela 29: Composição centesimal – “snack” com farelo de trigo

Componentes	“Snack” com farelo de trigo (Ótimo)*	
	% base úmida	% base seca
Umidade	4,16 ± 0,07	
Proteína bruta	4,61 ± 0,34	4,78 ± 0,26
Lipídios	1,74 ± 0,36	1,81 ± 0,36
Cinzas	0,72 ± 0,20	0,75 ± 0,20
Fibra alimentar**	8,68	8,87
Carboidratos***	88,79 ± 0,37	92,65 ± 0,37

* Média de 3 determinações

** Média de 2 determinações

*** Calculado por diferença (inclui a fração fibra alimentar)

Na tabela demonstrada acima, constata-se que o “snack” contendo um teor de farelo de trigo de 12,3% supre o mínimo estabelecido pela legislação brasileira (6,0% em base úmida) proposto por Agência Nacional de Vigilância Sanitária (1998) para que o produto possa ser considerado como “alto teor de fibras”, uma vez que o “snack” ótimo apresenta aproximadamente 8,7% de fibra alimentar em sua composição.

4.8.3. COMPARAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS FÍSICAS E FUNCIONAIS DOS "SNACKS" EXTRUSADOS

Os valores obtidos para as características tecnológicas físicas e funcionais dos "snacks" extrusados estão presentes na **Tabela 30**.

Tabela 30: Comparação entre "snacks" controle sem farelo e enriquecido ótimo

Produto	IE	IAA	ISA (%)	Dureza (kgf)	L*	a*	b*
Controle (sem farelo de trigo)	3,11[a]	7,20[a]	28,93[a]	3,59[a]	58,30[a]	8,26[a]	43,52[a]
Ótimo (com farelo de trigo)	2,27[b]	6,86[a]	22,21[a]	2,96[b]	55,91[a]	5,06[b]	24,28[b]

Letras iguais na mesma coluna indicam que não existe diferença significativa entre as amostras a 95% de significância ($p<0,05$).

No quadro acima, verifica-se que o IAA, o ISA e L* não diferiram significativamente a 95% de significância; enquanto que os demais fatores diferiram. Portanto, de acordo com os resultados expressos na **Tabela 30,** verifica-se que o farelo de trigo exerce influência significativa no IE e na Dureza dos "snacks", sendo que o controle apresentou maior expansão e maior dureza em comparação ao ótimo. Os valores obtidos para a dureza apresentaram comportamento inverso ao proposto na literatura (MERCIER, LINKO, HARPER, 1998; RIAZ, 2002). Provavelmente, isto se deve à influência do farelo na estrutura interna dos extrusados, porque embora o farelo tenha contribuído para reduzir a expansão, a sua granulometria elevada pode ter favorecido a ocorrência de pontos de ruptura.

Tendo sido utilizadas as mesmas condições de umidade e de temperatura durante a extrusão dos "snacks" (controle e ótimo), verifica-se que o valor de L* não foi significativamente alterado em função da utilização de farelo de trigo na formulação. Porém, os valores de a* e b* diferiram significativamente a 95% de significância, sendo que ambos foram maiores para o padrão (sem farelo de trigo). Portanto, em termos de cromaticidade, o

“snack” controle (sem farelo de trigo) apresenta uma tendência maior para o vermelho e para o amarelo em comparação ao “snack” ótimo (com farelo de trigo).

4.8.4. AVALIAÇÃO SENSORIAL

Os “snacks” extrusados no ponto controle e no ponto ótimo foram avaliados sensorialmente por 40 provadores não-treinados em relação à aceitação dos seguintes atributos: cor, aparência (expansão), textura, sabor e aceitação global. Além disso, fora requisitado aos provadores que indicassem a intenção de compra. As fichas apresentadas aos provadores encontram-se nos **Anexos 1 e 2.** Na **Tabela 31,** estão indicados os valores médios e os desvios padrão em relação a cada atributo avaliado.

Tabela 31: Resultados do teste de aceitação sensorial dos “snacks” controle e ótimo

Ponto	Cor		Aparência (expansão)		Textura		Sabor		Aceitação global	
	Média[1,2]	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Padrão (sem farelo de trigo)	7,43[a]	1,58	6,88[a]	1,47	5,03[a]	2,18	5,75[a]	1,79	5,85[a]	1,61
Ótimo (com farelo de trigo)	5,95[b]	2,05	5,30[b]	1,87	5,40[a]	1,98	5,73[a]	1,89	5,65[a]	1,66

[1] Letras iguais na mesma coluna indicam que não existe diferença significativa entre as amostras a 95% de significância ($p<0,05$)

[2] Valores entre 1 e 9 (1 = desgostei muitíssimo e 9 = gostei mutíssimo)

DP = desvio padrão

Os resultados obtidos através da avaliação sensorial dos “snacks” controle e ótimo demonstraram que as amostras diferiram significativamente a 95% de significância no que diz respeito à cor e à aparência (expansão). As melhores notas foram atribuídas à amostra controle, ou seja, sem farelo de trigo, que apresentou-se mais clara e amarela; e com maior expansão. Isto pode ter ocorrido pelo fato dos provadores utilizarem como referência “snacks” à base de milho comumente encontrados no mercado brasileiro, que não contêm farelo de trigo em sua composição; e são claros e com boa expansão. Em relação à cor, o “snack” controle foi classificado entre gostei moderadamente e gostei muito; enquanto que o

ótimo foi classificado como gostei ligeiramente. A aparência (expansão) dos “snacks” foi classificada entre gostei ligeiramente e gostei moderadamente para o controle; e entre nem gostei/nem desgostei e gostei ligeiramente para o ótimo.

Os demais atributos - textura, sabor e aceitação global – não diferiram significativamente. Nota-se que os valores médios para estes atributos situaram-se entre 5 e 6, ou seja, os provadores classificaram os “snacks” entre nem gostei/nem desgostei e gostei ligeiramente. Diversos provadores comentaram que os “snacks” eram duros. Esta avaliação pode estar, também, relacionada ao referencial utilizado pelos mesmos, visto que “snacks” à base de milho encontrados no mercado são menos duros.

Na **Figura 21**, mostra-se a intenção de compra em relação às amostras avaliadas por parte dos provadores (potenciais consumidores).

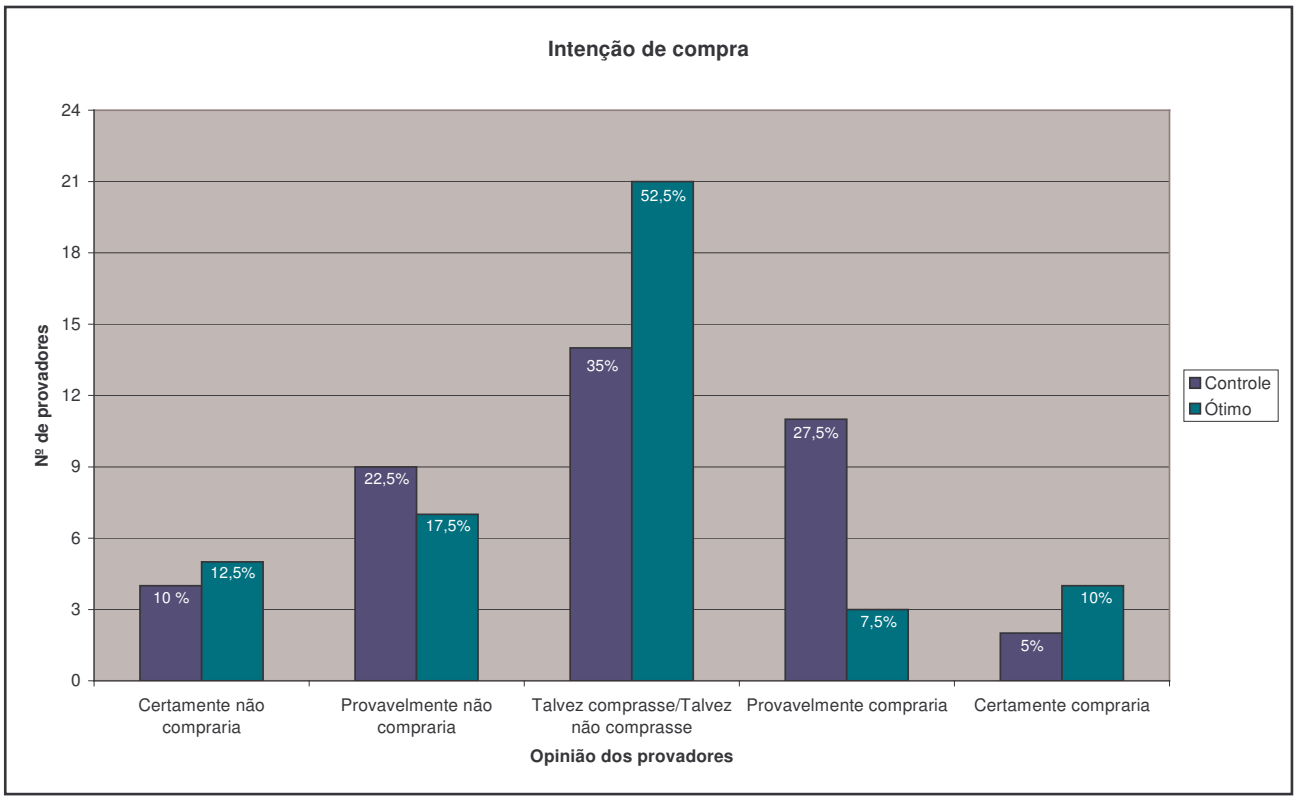


Figura 21: Intenção de compra – “snacks” controle e ótimo

De acordo com a **Figura 21**, tanto para o “snack” padrão, quanto para o ótimo, os provadores opinaram predominantemente como talvez comprasse/talvez não comprasse. Isto pode ter ocorrido pelo fato do produto não apresentar outros ingredientes, como gordura e aromatizantes, normalmente utilizados na fabricação de “snacks” à base de milho pelas

indústrias. Destaca-se que a idade dos provadores encontrou-se na faixa entre 20 e 40 anos. O maior consumo de “snacks” é realizado por indivíduos com idade abaixo de 20 anos. Comparando as amostras, verifica-se que a maior aceitação ocorreu em relação ao “snack” controle, com uma maior porcentagem de provadores (32,5%) observando que “provavelmente compraria” ou “certamente compraria”. Possivelmente, isto ocorreu em função do padrão se assemelhar mais aos “snacks” comumente encontrados no mercado brasileiro, principalmente em termos de cor e expansão. Além disso, a aceitação de ambos poderia ter sido melhor se a textura fosse mais macia. Os “snacks” avaliados apresentaram-se mais duros que os encontrados no mercado nacional. Provavelmente, os provadores, por não serem treinados, utilizaram como referencial a dureza de “snacks” encontrados no mercado.

4.8.5. COMPARAÇÃO VISUAL

Na **Figura 22**, estão representados os “snacks” controle e ótimo. Visualmente, observa-se uma diferença de cor entre os mesmos, sendo que o controle é mais claro e amarelo devido à influência do milho; enquanto que o ótimo é mais escuro e tende para o marrom em função do farelo de trigo presente em sua composição. Além disso, o controle apresentou maior expansão que o ótimo, o que era esperado devido ao maior conteúdo de amido no primeiro.

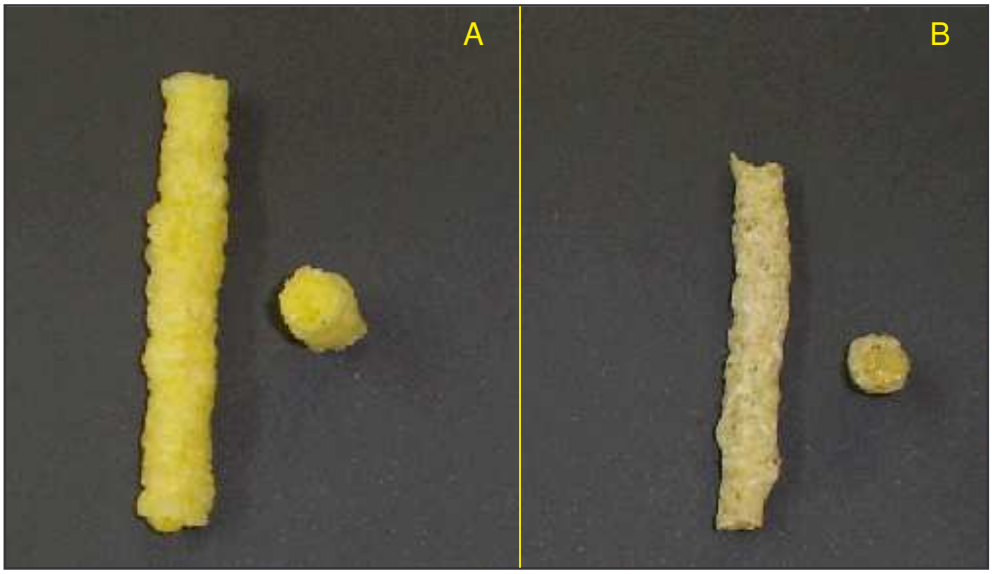


Figura 22: Comparação visual entre “snacks” – controle (A) e ótimo (B)

4.8.6. COMPARAÇÃO MICROSCÓPICA

A **Figura 23** representa as micrografias dos “snacks” padrão e ótimo. Comparando tais micrografias, observa-se que o padrão apresenta células com estruturas melhor definidas e maiores; enquanto que o ótimo apresenta fendas entre as células. Sendo assim, para as mesmas condições de umidade e temperatura, verificou-se que o farelo de trigo favoreceu o rompimento das paredes das células, sem que as mesmas tenham se expandido até o seu potencial máximo. Além disso, o “snack” padrão apresentou paredes de célula mais espessas, formando estruturas mais rígidas, que também puderam ser notadas a olho nu. Este fato contribuiu para que o padrão fosse mais duro que o ótimo, conforme demonstrado na **Tabela 31**. O ótimo exibiu uma estrutura interna com flocos de estrutura alongada e incompleta, que o tornou mais frágil. Logo, a sua dureza foi menor que a do padrão.

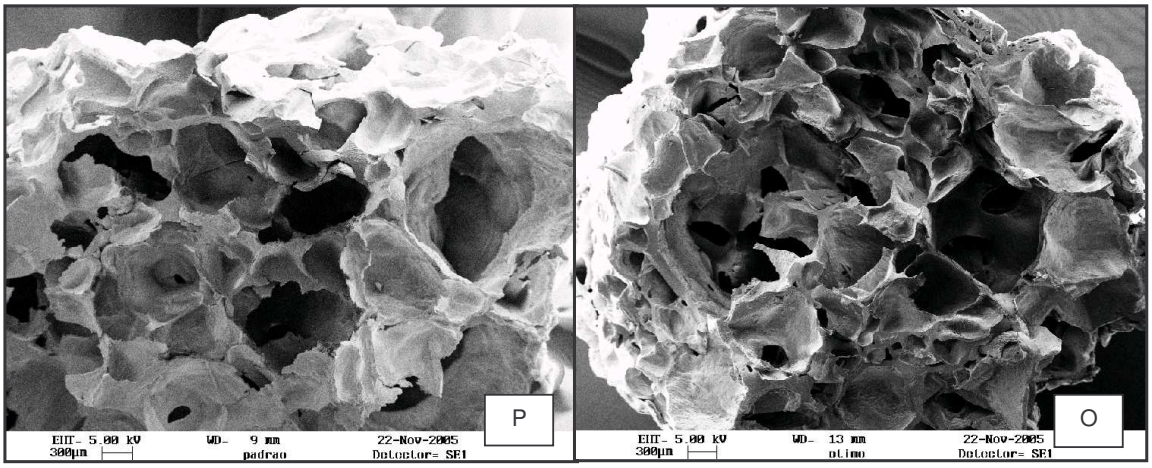


Figura 23: Micrografias dos “snacks” padrão (P) e ótimo (O) (50x, barra = 300 µm)

5. CONCLUSÃO

Todas as variáveis dependentes (respostas) avaliadas apresentaram modelos estatisticamente significativos a 95 ou 90% de significância. Além disso, as porcentagens de variação explicadas pelos modelos foram elevadas (R^2 entre 0,75 e 0,90).

Apenas os efeitos lineares da umidade, da temperatura e do teor de farelo de trigo influenciaram significativamente o Índice de Expansão (IE). Os maiores valores do IE foram obtidos para os menores valores de umidade, temperatura e porcentagens de farelo de trigo.

A dureza foi influenciada pelos efeitos lineares de todas as variáveis independentes; pelo efeito quadrático da temperatura; e pelos efeitos de interação entre a umidade e a temperatura e entre a temperatura e o farelo de trigo. Os extrusados mais crocantes foram resultantes dos menores valores de umidade, maiores valores de temperatura e maiores teores de farelo de trigo. Destaca-se que maiores teores de farelo de trigo resultaram em "snacks" de estrutura mais fechada, porém, de menor dureza, com maior fragilidade.

A luminosidade (L*) foi significativamente influenciada pelos efeitos lineares da umidade e da temperatura e não pelo efeito linear do farelo de trigo, que apresentou influência apenas pelo seu efeito quadrático. O valor de L* também foi influenciado pelo efeito de interação entre a umidade e a temperatura. O aumento da temperatura na 3ª zona de extrusão proporcionou "snacks" mais claros, possivelmente devido à perda de cor ocorrida em função da severidade do tratamento térmico. O aumento de umidade apresentou tendência de aumento no valor de L*, ou seja, extrusados mais claros. Os menores valores de L* foram obtidos para valores intermediários de farelo de trigo.

Os efeitos lineares da umidade e do farelo de trigo; e os efeitos quadrático da umidade e de interação entre a umidade e a temperatura foram os efeitos que influenciaram significativamente o Índice de Absorção de Água (IAA). Os maiores valores do IAA foram obtidos para os maiores valores de umidade e de temperatura; e para os menores teores de farelo de trigo.

O Índice de Solubilidade em Água (ISA) foi influenciado apenas pelos efeitos lineares das variáveis independentes, sendo que o ISA aumentou em função da elevação da temperatura do processo e do teor de farelo de trigo; e da redução nos valores de umidade.

As condições de processo apresentaram influência nas características internas dos extrusados, sendo que, em linhas gerais, elevados teores de umidade proporcionaram a obtenção de “snacks” com estrutura densa e pobre formação de células; altas temperaturas contribuíram para o enfraquecimento da estrutura dos extrusados; e elevados teores de farelo de trigo levaram à formação de estruturas densas, mas não duras.

Comparando os “snacks” controle e ótimo, extrusados sob as mesmas condições de umidade (23%) e de temperatura (130ºC), mas com diferentes teores de farelo de trigo (0,0 e 12,3%, respectivamente) pôde-se concluir que os mesmos não diferiram significativamente a 95% de significância em relação ao IAA, ao ISA e ao valor de L*, enquanto que em relação ao IE e à dureza, os mesmos diferiram.

Na avaliação sensorial envolvendo os “snacks” controle e ótimo verificou-se que os mesmos diferiram significativamente a 95% de significância em relação à cor e à aparência (expansão), sendo que as maiores notas foram atribuídas ao controle. Para os demais atributos (textura, sabor e aceitação global) não houve diferença significativa, sendo que as notas médias foram intermediárias. Em relação à intenção de compra o controle foi melhor aceito.

A aceitação dos “snacks” com farelo de trigo pode ser melhorada através da adição de outros ingredientes, como a gordura vegetal, principalmente em relação à textura.

Tanto visualmente, quanto microscopicamente, foi possível verificar que os “snacks” controle e ótimo diferiram entre si, sendo que o controle apresentou boa expansão e células maiores; enquanto que o ótimo apresentou baixa expansão e células menores.

A utilização de farinha de milho e de farelo de trigo na condição considerada como ótima neste trabalho possibilitou a obtenção de um “snack” extrusado expandido com alto teor de fibras alimentares. Destaca-se que os “snacks” extrusados expandidos, geralmente encontrados no mercado, são pobres em fibra alimentar.

Este trabalho demonstrou que “snacks” com alto teor de fibras podem ser produzidos, desde que sob condições adequadas de processo. Estes “snacks”, podem ser utilizados como alternativa para a incorporação de fibra alimentar na alimentação de parte da população, principalmente crianças e adolescentes, fornecendo parte da IDR de fibras alimentares.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A.A.C.C. – American Association of Cereal Chemists. **Approved methods of the American Association of Cereal Chemists.** 9ª ed.. St. Paul: Approved Methods Committee, 1995. v. 1 e 2.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA Portaria n º 27, de 13 de janeiro de 1998. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 16 jan. 1998. Disponível em: <http://e-legis.bvs.br/leisref/public/search.php>. Acesso em: 05 ago. 2005.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA Resolução n° 18, de 30 de abril de 1999. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 03 mai. 1999. Disponível em: <http://e-legis.bvs.br/leisref/public/showAct.php>. Acesso em: 22 mai. 2005.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA Resolução RDC nº 360, de 23 de dezembro de 2003. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 26 dez. 2003. Disponível em: <http://e-legis.bvs.br/leisref/public/search.php>. Acesso em: 18 out. 2005.

ALVIM, I. D.; SGARBIERI, V. C.; CHANG, Y. K. Desenvolvimento de farinhas mistas extrusadas à base de farinha de milho, derivados de levedura e caseína. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas: SBCTA, v. 22, nº 2, p. 170-176, Maio-Agosto 2002.

ANDERSON, R. A.; CONWAY, H. F.; PFEIFER, V. V.; GRIFFIN JR., E. L. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. **Cereal Science Today,** Minneapolis: American Association of Cereal Chemists, v. 14, nº 1, p. 4-7, 1969.

ANDERSON, A.; EASTWOOD, M. A. Flow characteristics and the water retention properties of wheat bran. **Journal of the Science of Food and Agriculture,** Essex: Elsevier, v. 39, nº 2, p. 185-194, 1987.

ANDLAUER, W.; FÜRST, P. Nutraceuticals: a piece of history, present status and outlook. **Food Research International**, London, v.35, n. 2/3, p.171-176, 2002.

ANDRÉ, S. B.; RODRIGUEZ, T. N.; MORAES FILHO, J. P. P. Constipação intestinal. **Revista Brasileira de Medicina**, São Paulo, v.57, p.53-63, dez., 2000.

A.O.A.C. – Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis of the AOAC International.** 16ª ed.. Arlington: AOAC International, 1995. v. 1.

BADRIE, N.; MELLOWES, W. A. Texture and microstructure of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) flour extrudates. **Journal of Food Science,** Chicago: Institute of Food Technologists, v. 56, nº 5, p. 1319-1322, 1991.

BAIK, B.; POWERS, J.; NGUYEN, L. T. Extrusion of regular and waxy barley flours for production of expanded cereals. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.81, nº1, p.94-99, 2004.

BARROS NETO, B.; SCARMÍNIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos** – Pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria. 2º ed.. Campinas: Editora Unicamp, 2003. 401 p.

BATISTUTI, J. P.; BARROS, R. M. C.; ARÊAS, J. A. G. Optimization of extrusion cooking process for chickpea (*Cicer arietinum*, L.) defatted flour by response surface methodology. **Journal of Food Science**, v.56, nº 6, p. 1695-1698, 1991.

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.

BOOTH, R. G. **Snack food.** New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 401 p.

BOX, G. E .P.; DRAPER, N. R. **Empirical model-building and response surface.** New York: John Wiley & Sons, 1987. 669 p.

BRABENDER **Laboratory food extruders.** Duisburg: Brabender OHG, 1995. 8 p.

CALLEGARO, M. G. K.; DUTRA, C. B.; HUBER, L. S.; BECKER, L. V.; ROSA, C. S.; KUBOTA, E. H.; HECKTHEUR, L. H. Determinação da fibra alimentar insolúvel, solúvel e total de produtos derivados do milho. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas: SBCTA, v. 25, nº 2, p. 271-274, Abril-Junho 2005.

CHANG, Y. K.; HASHIMOTO, J. M.; ACIOLI-MOURA, R.; MARTÍNEZ-FLORES, H. E.; MARTÍNEZ-BUSTOS, F. Influence of extrusion conditions on cassava starch and soybean protein concentrate blends. **Acta Alimentaria**, Budapest**,** v. 30, nº 2, p. 189-203, 2001.

CHANG, Y. K.; SILVA, M. R.; GUTKOSKI, L. C.; SEBIO, L.; DA SILVA, M. A. A. P. Development of extruded snacks using jatobá (*Hymenaea stigonocarpa* Mart) flour and cassava starch blends. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v.78, nº 1, p.59-66, sep., 1998.

CHARALAMPOPOULOS, D.; WANG, R.; PANDIELLA, S. S. WEBB, C. Application of cereals and cereal components in functional foods: a review. **International Journal of Food Microbiology**, Oxford, v. 79, p. 131-141, 2002.

CHO, S.; DEVRIES, J. W.; PROSKY, L. **Dietary fiber analysis and applications**. Maryland, USA: AOAC International, 1997. 202p.

CHO, S. S.; CLARK, C.; URIBE-SAUCEDO, S. Gastrointestinal and other physiological effects of wheat bran. **Cereal Foods World**, St. Paul, v. 49, nº 3, p. 140-143, may-june 2004.
CLARK, J. P. Texturization by extrusion. **Journal of Texture Studies**, Dordrecht, v. 9, nº 1 e 2, p.109-123, 1978.

COLAVITTI, F. Alimentos superpoderosos. **Revista Galileu**, São Paulo: Editora Globo, nº 165, abr. 2005.

COLLUCCI, C.; BASSETTE, F. Até crianças já sofrem redução de estômago. **Folha On Line - Cotidiano**, São Paulo: Folha de São Paulo. Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/folha/cotidiano/ult95u108557.shtml>. Acesso em 02 mar. 2006.

DA SILVA, M. A. A. P. **Análise Sensorial: aulas teóricas.** Campinas: Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP, 2002. Paginação irregular.

DING, Q.; AINSWORTH, P.; PLUNKETT, A.; TUCKER, G.; MARSON, H. The effect of extrusion conditions on the functional and physical properties of wheat-based expanded snacks. **Journal of Food Engineering,** Oxford: Elsevier, v. 73, nº 2, p. 142-148, Mar. 2006. (Disponível on-line em Mar. 2005).

DING, Q.; 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,** Oxford: Elsevier, v. 66, nº 3, p. 283-289, Feb. 2005.

EL-DASH, A. A. Application and control of thermoplastic extrusion of cereals for food and industrial uses. In: POMERANZ, Y.; MUNICH, L. (Ed.). **Cereals**: a renewable resource, theory and practice. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1981. p.165-216.

ESTADOS UNIDOS United States Department of Agriculture. **USDA National Nutrient Database for Standard Reference.** Disponível em: <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/search/>. Acesso em: 28 Set. 2005.

FELLOWS, P. J. **Food processing technology**: principles and practice. 2º ed.. Cambridge, UK: Midway Technology, 2000. 608p.

GRAY, L. E.; WALKER, B. S.; AWIPI, G. M. Assessment of dietary fiber intake among university students. **Journal of the American Dietetic Association**, Chicago, v. 104, nº 8, p. A26, aug. 2004. Supplement 2.

GRENUS, K. M.; HSIEH, F.; HUFF, H. E. Extrusion and extrudate properties of rice flour. **Journal of Food Engineering**, Essex: Elsevier, v. 18, nº 3, p. 229-245, Jan. 1993.

GUY, R. **Extrusion cooking**: technologies and applications. Cambridge, UK: Woodhead Publishing, 2001. 288p.

HARPER, J. M. Extrusion processing of food. **Food Technology**, Chicago, v. 32, nº 7, p.62-72, jul.,1978.

ILO, S.; BERGHOFER, E. Kinetics of colour changes during extrusion cooking of maize grits. **Journal of Food Engineering,** Oxford: Elsevier, v. 39, nº 1, p. 73-80, 1999.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz.** 2ª ed, São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 1976. v. 1.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL DE MINAS GERAIS. Investindo em Minas Gerais. **Principais setores: agroindústria**. Disponível em: <http://www.indi.mg.gov.br/perfil/setores/ai.html>. Acesso em: 05 dez. 2005.

LAJOLO, F. M. Functional foods: Latin American perspectives. **British Journal of Nutrition**, London, v.88, p. S145-S150, 2002. Supplement 2.

LAJOLO, F. M.; SAURA-CALIXTO, F.; PENNA, E. W.; MENEZES, E. W. **Fibra dietética en iberoamérica**: tecnología y salud. São Paulo: Livraria Varela, 2001. 469p.

LARREA, M. A.; CHANG, Y. K.; MARTÍNEZ-BUSTOS, F. Effect of some operational extrusion parameters on the constituents of orange pulp. **Food Chemistry**, Oxford: Elsevier, v. 89, nº 2, p. 301-308, Feb. 2005.

LIU, Y.; HSIEH, F.; HEYMANN, H.; HUFF, H. E. Effect of process conditions on the physical and sensory properties of extruded oat-corn puff. **Journal of Food Science,** Chicago: Institute of Food Technologists, v. 65, nº 7, p. 1253-1259, 2000.

LUE, S.; HSIEH, F.; PENG, I. C.; HUFF, H. E. Expansion of corn extrudates containing dietary fiber: A microstructure study. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie,** London: Academic Press, v. 23, nº 2, p. 165-173, 1990.

LUSAS, R. W.; ROONEY, L. W. (Ed.). **Snack foods processing**. 2ª ed.. Boca Raton: CRC Press, 2002. 639 p.

MARLETT, J. A.; McBURNEY, M. I.; SLAVIN, J. L. Position of the American Dietetic Association: health implications of dietary fiber. **Journal of the American Dietetic Association**, Chicago, v. 102, nº 7, p. 993-1000, jul. 2002.

MAZZA, G. (Ed.). **Functional foods** – biochemical and processing aspects. Lancaster, PA: Technomic Publishing, 1998. 460 p.

MEILGAARD, M.; CIVILLE, G. V.; CARR, B. T. **Sensory evaluation techniques.** 3a ed., Boca Raton, USA: CRC Press, 1999. 387 p.

MENDONÇA, S.; GROSSMANN, M. V. E.; VERHÉ, R. Corn bran as a fibre source in expanded snacks. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie**, London, v. 33, nº 1, p. 2-8, 2000.

MERCIER, C.; CANTARELLI, C. **Pasta and extrusion cooked foods** – some technological and nutritional aspects. London, UK: Elsevier Applied Science Publishers, 1986. 199p.

MERCIER, C.; FEILLET, P. Modification of carbohydrate components by extrusion –cooking of cereal products. **Cereal Chemistry**, Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, v. 52, nº 3, p. 283-297, May-June 1975.

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

NESTLÉ Fibras em nutrição enteral. **Nestlé clínica: publicações**. Disponível em: <http://www.nutricaoclinica.nestle.com.br/publicacoes/fibrasnutricaoenteral>. Acesso em: 25 de abr. 2004.

OLIVEIRA, D.; FERNANDES, D. Revolução na mesa. **Istoé Dinheiro**. Disponível em: <http://www.terra.com.br/istoedinheiro/333/negocios/333_revolucao_mesa.htm>. Acesso em: 21 jul. 2004.

ONWULATA, C. I.; KONSTANCE, R. P.; STRANGE, E. D.; SMITH, P.W.; HOLSINGER, V.H. High-fiber snacks extruded from triticale and wheat formulations. **Cereal Foods World**, St. Paul, v. 45, nº 10, p. 470-473, out., 2000.

RALET, M. C.; VALLE, D. G.; THIBAULT, J. F. Raw and extruded fibre from pea hull. Part I: Composition and physicochemical properties. **Carbohydrate Polymers,** Oxford: Elsevier, v. 20, nº 1, p. 17-23, Jan.1993. Citados por: LARREA, M. A.; CHANG, Y. K.; MARTÍNEZ-BUSTOS, F. Effect of some operational extrusion parameters on the constituents of orange pulp. **Food Chemistry,** Oxford: Elsevier, v. 89, nº 2, p. 301-308, Feb. 2005.

RHEE, K. S.; CHO, S. H.; PRADAHN, A. M. Expanded extrudates from corn starch-lamb blends: process optimization using response surface methodology. **Meat Science,** Oxford: Elsevier Science, v. 52, nº 2, p. 127-134, jun., 1999.

RIAZ, M. N. Selecting the right extruder. In: GUY, R. (Ed.). **Extrusion cooking**: technologies and applications. Cambridge: Woodhead Publishing, 2001.

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

RODRIGUES, M. I.; IEMMA, A. F. **Planejamento de experimentos e otimização de processos: uma estratégia seqüencial de planejamentos.** Campinas, SP: Casa do Pão Editora, 2005.

SGARBIERI, V. C.; PACHECO, M. T. B. Revisão: Alimentos funcionais fisiológicos. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 2, n. 1-2, p. 7-19, 1999.

SEBIO L.; CHANG, Y. K. Effects of selected process parameters in extrusion of yam flour (*Dioscorea rotundata*) on physicochemical properties of the extrudates. **Nahrung,** Weinheim: Wiley-VCH, v.44, nº 2, p. 96-101, Apr. 2000.

SINGH, N.; SMITH, A. C. A comparison of wheat starch, whole wheat meal and oat flour in the extrusion cooking process. **Journal of Food Engineering,** Oxford: Elsevier, v. 34, nº 1, p. 15-32, Oct. 1997.

SOUZA, A. B.; STEEL, C. J. Caracterização dos resíduos da extração úmida de amido de diferentes leguminosas e sua aplicação como fonte de fibras em produtos extrusados. In: **XIII Congresso Interno de Iniciação Científica da Unicamp**, 2005 (CD-ROM).

STANLEY, D. W. Chemical and structural determinants of texture of fabricated foods. **Food Technology**, Chicago, v. 40, n. 3, p.65-68, mar., 1986.

VAN BEYNUM, G. M. A.; ROELS, J.A. **Starch conversion technology.** New York: Marcel Dekker, 1985. 362 p.

WILLIAMS, C. L.; BOLLELLA, M.; WYNDER, E. L. A new recommendation for dietary fiber in childhood. **Pediatrics**, Elk Grove Village, v. 96, nº 5, p. 985-988, nov., 1995.

ANEXOS

Anexo A: Avaliação sensorial de “snack” de milho

Nome:_____ Idade:_____
E-mail:_____ Data:_____

Você está recebendo uma amostra codificada de “snack” de milho. Por favor, prove-a. Agora, utilize a escala abaixo para indicar o quanto você gostou ou desgostou da mesma em relação aos atributos indicados.

Amostra:_____

9 – gostei muitíssimo
8 – gostei muito
7 – gostei moderadamente
6 – gostei ligeiramente
5 – nem gostei/nem desgostei
4 – desgostei ligeiramente
3 – desgostei moderadamente
2 – desgostei muito
1 – desgostei muitíssimo

Cor:____
Aparência (expansão):____
Textura (dureza):____
Sabor:____
Avaliação global:____

Comentários:_____

Se este produto estivesse à venda, o que você faria?
- Certamente compraria ( )
- Provavelmente compraria ( )
- Talvez comprasse/talvez não comprasse ( )
- Provavelmente não compraria ( )
- Certamente não compraria ( )

Comentários:_____
_____

Anexo B: Avaliação sensorial de “snack” de milho contendo fibras

Nome:_____ Idade:_____
E-mail:_____ Data:_____

Você está recebendo uma amostra codificada de “snack” de milho contendo fibras. Por favor, prove-a. Agora, utilize a escala abaixo para indicar o quanto você gostou ou desgostou da mesma em relação aos atributos indicados.

Amostra:_____

9 – gostei muitíssimo
8 – gostei muito
7 – gostei moderadamente
6 – gostei ligeiramente
5 – nem gostei/nem desgostei
4 – desgostei ligeiramente
3 – desgostei moderadamente
2 – desgostei muito
1 – desgostei muitíssimo

Cor:____
Aparência (expansão):____
Textura (dureza):____
Sabor:____
Avaliação global:____

Comentários:_____

Se este produto estivesse à venda, o que você faria?
- Certamente compraria ( )
- Provavelmente compraria ( )
- Talvez comprasse/talvez não comprasse ( )
- Provavelmente não compraria ( )
- Certamente não compraria ( )

Comentários:_____
_____