


UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

Parecer

Este exemplar corresponde a redação final da Tese defendida por Maria de Nazaré Hoelz Jackix e aprovada pela Comissão Julgadora em 29.06.89.

Campinas, 29 de junho de 1989.


Presidente da Banca

"DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS PROTÉICOS DE TREMOCO DOCE
(Lupinus albus L.) POR EXTRUSÃO TERMOPLÁSTICA:
INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS DE PROCESSO
NAS PROPRIEDADES FUNCIONAIS"

Marisa de Nazaré Hoelz Jackix
Engenheira de Alimentos
Mestre em Tecnologia de Alimentos

17/89

Prof. Dr. Ahmed A. El-Dash
Orientador

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas para obtenção do título de Doutor em Tecnologia de Alimentos.

CAMPINAS - SÃO PAULO
1989

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

Ao

Rubens

Marcela

André

Daniel e

Thaís,

com profunda gratidão e amor

*"O Universo me responde quando oro,
o mundo se move quando me movo"*

M. Taniguchi

AGRADECIMENTOS

- . Ao Prof. Dr. Ahmed A. El-Dash, pela orientação segura e precisa, apoio e incentivo.
- . À Profa Inês Carvalho de Azevedo, pela valiosa colaboração no trabalho estatístico e computacional.
- . Aos Profs. Drs. Admar Costa de Oliveira, Evódio Ribeiro Vilela, João Shojiro Tango, José Alfredo Gomes Arêas, Maria Antonia M. Galeazzi e Valdemiro Carlos Sgarbieri, pelas sugestões na redação final deste trabalho.
- . A Eduardo San Martin e Valdecí P. dos Santos, pelo auxílio nos ensaios de extrusão.
- . À Profa Dra. Débora de Queiroz Tavares, pela colaboração nos trabalhos de microscopia.
- . A Rosa Maria P. C. Canto, pela colaboração nos ensaios laboratoriais.
- . À Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas, pelas facilidades oferecidas.
- . Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela ajuda econômica facultada.
- . Ao Centro Nacional de Pesquisa do Trigo da EMBRAPA, na pessoa do Dr. Augusto Carlos Baier, pelo fornecimento da matéria-prima e incentivo à realização deste trabalho.
- . À Associação Brasileira da Indústria de Alimentos (ABIA), pelo auxílio financeiro para a impressão deste trabalho.
- . Aos colegas e amigos do Departamento de Tecnologia de Alimentos da FEA, pelo apoio e compreensão.
- . Aos meus pais, pelo exemplo de coragem e fê.
- . A todos que, de alguma forma, contribuíram para a concretização deste trabalho.

ÍNDICE

	Página
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
ÍNDICE DE QUADROS	viii
RESUMO	ix
SUMMARY	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1. Tremoço	5
2.1.1. Características agronômicas	5
2.1.2. Composição química	6
2.1.3. Aspectos nutricionais	10
2.1.4. Propriedades funcionais da proteína	13
2.2. Proteína vegetal texturizada	15
2.2.1. Propriedades funcionais	15
2.2.2. Aplicações e consumo	17
2.2.3. Definição e legislação	19
2.3. Extrusão termoplástica	20
2.3.1. Texturização por extrusão	20
2.3.2. Elementos básicos do extrusor	22
2.3.3. Efeito de extrusão no valor nutricional da proteí- na	25
2.3.4. Alterações microestruturais provocadas pela extru- são	27
2.3.5. Efeito das variáveis do processo de extrusão nas propriedades funcionais dos produtos texturizados.	31
3. MATERIAL E MÉTODOS	38
3.1. Material	38
3.1.1. Matéria-prima	38
3.1.2. Reagentes	38
3.1.3. Equipamentos e aparelhos	38
3.2. Métodos analíticos	39
3.2.1. Amostragem dos grãos do tremoço	39

	Página
3.2.2. Densidade aparente dos grãos	39
3.2.3. Peso e dimensão do grão	40
3.2.4. Constituição do grão	40
3.2.5. Umidade	40
3.2.6. Proteína bruta	40
3.2.7. Lipídios	40
3.2.8. Fibra bruta	40
3.2.9. Cinzas	41
3.2.10. pH	41
3.2.11. Alcalóides	41
3.2.12. Granulometria	41
3.2.13. Absorção de água dos produtos texturizados	41
3.2.14. Densidade aparente	42
3.2.15. Absorção de água da farinha	42
3.2.16. Índice de solubilidade da farinha	43
3.2.17. Índice de nitrogênio solúvel	43
3.2.18. Absorção de gordura	43
3.2.19. Grau de desintegração durante a autoclavagem	44
3.2.20. Avaliação instrumental da textura	44
3.2.21. Avaliação da microestrutura	45
3.3. Métodos experimentais	46
3.3.1. Produção de farinha desengordurada de tremoço doce	46
3.3.2. Testes de extrusão	46
3.3.2.1. Condicionamento da farinha	46
3.3.2.2. Equipamentos de extrusão	47
3.3.2.3. Delineamento experimental	47
3.4. Análise estatística dos resultados	50
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
4.1. Matéria-prima	53
4.1.1. Características físicas e componentes estruturais do grão	53
4.1.2. Composição química	53
4.1.3. Alcalóides	55
4.1.4. Granulometria da farinha desengordurada	55
4.1.5. Propriedades funcionais da farinha desengordurada de tremoço doce	56

	Página
4.2. Efeito das variáveis do processo de extrusão nas propriedades funcionais dos produtos texturizados	57
4.2.1. Absorção de água	57
4.2.1.1. Absorção de água a 40C	58
4.2.1.2. Absorção de água à temperatura ambiente .	62
4.2.1.3. Absorção de água à temperatura de ebulição	69
4.2.2. Densidade	76
4.2.3. Índice de solubilidade do nitrogênio	80
4.2.4. Absorção de gordura	85
4.2.5. Solubilidade	86
4.2.6. Grau de desintegração durante a autoclavagem	89
4.2.7. Textura	96
4.2.7.1. Avaliação instrumental da textura	96
4.2.7.2. Condições operacionais de extrusão para formação de produtos texturizados de tremoço de diferentes classes de textura em função da mastigabilidade	99
. Classificação da textura em função da mastigabilidade	99
. Propriedades funcionais de produtos texturizados de tremoço de alta, média e baixa mastigabilidade	102
. Hipótese para a formação da textura ...	102
4.3. Umidade	117
4.4. Torque	117
5. CONCLUSÃO	129
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	131

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1 - Diagrama de um extrusor de cozimento	23
FIGURA 2 - Curva de hidratação a 40C de produtos texturizados de tremoço sob diferentes condições de extrusão.....	59
FIGURA 3 - Efeito do diâmetro da matriz, da umidade da farinha e da temperatura de extrusão na absorção de água (g de água/g de matéria seca) a 40C, de produtos texturizados de tremoço	63
FIGURA 4 - Curva de hidratação à temperatura ambiente (250C) de produtos texturizados de tremoço sob diferentes condições de extrusão	64
FIGURA 5 - Efeito do diâmetro da matriz, da umidade da farinha e da temperatura de extrusão na absorção de água (g de água/g de matéria seca) à temperatura ambiente (250C) de produtos texturizados de tremoço	68
FIGURA 6 - Curva de hidratação à temperatura de ebulição (980C) de produtos texturizados de tremoço sob diferentes condições de extrusão	70
FIGURA 7 - Efeito do diâmetro da matriz, da umidade da farinha e da temperatura de extrusão na absorção de água (g de água/g de matéria seca) à temperatura de ebulição (980C) de produtos texturizados de tremoço	75
FIGURA 8 - Efeito do diâmetro da matriz, da umidade da farinha e da temperatura de extrusão na densidade (g/cm ³) de produtos texturizados de tremoço	79

FIGURA 9 - Efeito do diâmetro da matriz, da velocidade do parafuso e da temperatura de extrusão no índice de solubilidade do nitrogênio de produtos texturizados de tremoço	84
FIGURA 10 - Efeito do diâmetro da matriz, da umidade da farinha e da temperatura de extrusão no grau de desintegração (%) durante a autoclavagem (121°C - 1h) de produtos texturizados de tremoço - Velocidade do parafuso = 50rpm.....	95
FIGURA 11 - Efeito do diâmetro da matriz, da umidade da farinha e da temperatura de extrusão no grau de desintegração (%) durante a autoclavagem (121°C - 1h) de produtos texturizados de tremoço - Velocidade do parafuso = 100rpm	95
FIGURA 12 - Efeito do diâmetro da matriz, da umidade da farinha e da temperatura de extrusão no grau de desintegração (%) durante a autoclavagem (121°C - 1h) de produtos texturizados de tremoço - Velocidade do parafuso = 150rpm	95
FIGURA 13 - Curva típica de textura obtida no "Instron" com célula do "OTMS" para produtos texturizados de tremoço	97
FIGURA 14 - Efeito das condições de extrusão na formação de produtos texturizados de tremoço com alta, média e baixa mastigabilidade	127
FIGURA 15 - Aspecto macroscópico e microscópico de produtos texturizados de tremoço com alta mastigabilidade	129

	Página
FIGURA 16 - Aspecto dos produtos texturizados de tremoço com alta mastigabilidade, obtidos sob diferentes condições de extrusão	110
FIGURA 17 - Aspecto dos produtos texturizados de tremoço com média mastigabilidade, obtidos sob diferentes condições de extrusão	111
FIGURA 18 - Aspecto macroscópico e microscópico de produtos texturizados de tremoço com média mastigabilidade (Tipo Expandido)	112
FIGURA 19 - Aspecto macroscópico e microscópico de produtos texturizados de tremoço com média mastigabilidade (Tipo Fibroso)	114
FIGURA 20 - Aspecto macroscópico e microscópico de produtos texturizados de tremoço com baixa mastigabilidade	115
FIGURA 21 - Aspecto dos produtos texturizados de tremoço com baixa mastigabilidade, obtidos sob diferentes condições de extrusão	116
FIGURA 22 - Efeito da umidade da farinha e da temperatura de extrusão na umidade (%) dos produtos texturizados de tremoço	120
FIGURA 23 - Efeito do diâmetro da matriz, umidade da farinha e da temperatura de extrusão no torque (gf.m) durante a extrusão da farinha desengordurada de tremoço - Velocidade do parafuso = 100rpm	124

ÍNDICE DE QUADROS

	Página
QUADRO 1 - Composição química do tremoço integral (I) e descascado (D)	7
QUADRO 2 - Teor de aminoácidos de tremoço integral (I) e descascado (D).....	9
QUADRO 3 - Projeções do mercado americano de proteína vegetal texturizada	18
QUADRO 4 - Valores das variáveis para a análise das superfícies de resposta	48
QUADRO 5 - Condições operacionais de extrusão	49
QUADRO 6 - Composição química do tremoço doce <i>Lupinus albus</i> cv. Precoz Original	54
QUADRO 7 - Efeito do sistema de moagem na granulometria da farinha desengordurada de tremoço	56
QUADRO 8 - Propriedades funcionais da farinha desengordurada de tremoço doce <i>Lupinus albus</i> cv. Precoz Original.	57
QUADRO 9 - Influência das variáveis do processo de extrusão na absorção de água a 40C de produtos texturizados de tremoço	60
QUADRO 10 - Análise de variância e estimativa dos coeficientes da regressão para a absorção de água a 40C (g de água/g matéria seca)	61
QUADRO 11 - Influência das variáveis de extrusão na absorção de água à temperatura ambiente (250C) de produtos texturizados de tremoço	66

	Página
QUADRO 12 - Análise de variância e estimativa dos coeficientes da regressão para absorção de água à temperatura ambiente (25°C) (g água/g matéria seca)	67
QUADRO 13 - Efeitos das condições de extrusão na taxa de hidratação à ebulição de produtos texturizados de tremoço	71
QUADRO 14 - Influência das variáveis do processo de extrusão na absorção de água à ebulição (98°C) de produtos texturizados de tremoço	73
QUADRO 15 - Análise de variância e estimativa dos coeficientes da regressão para absorção de água a 98°C (g de água/g de matéria seca)	74
QUADRO 16 - Influência das variáveis do processo de extrusão na densidade de produtos texturizados de tremoço	77
QUADRO 17 - Análise de variância e estimativa dos coeficientes da regressão para a densidade (g de matéria seca/cm ³).	78
QUADRO 18 - Influência das variáveis do processo de extrusão no índice de solubilidade de nitrogênio (ISN) de produtos texturizados de tremoço	82
QUADRO 19 - Análise de variância e estimativa dos coeficientes da regressão para o índice de solubilidade do nitrogênio	83
QUADRO 20 - Influência das variáveis do processo de extrusão na absorção de gordura (ml de óleo/g de matéria seca) de produtos texturizados de tremoço	87

QUADRO 21 - Análise de variância e estimativa dos coeficientes da regressão para a absorção de gordura (ml de óleo/g de matéria seca)	88
QUADRO 22 - Influência das variáveis do processo de extrusão na solubilidade de produtos texturizados de tremoço ...	90
QUADRO 23 - Análise de variância e estimativa dos coeficientes da regressão para a solubilidade (%)	91
QUADRO 24 - Influência das variáveis do processo de extrusão no grau de desintegração durante a autoclavagem (1h a 121°C) de produtos texturizados de tremoço	93
QUADRO 25 - Análise de variância e estimativa dos coeficientes da regressão para o grau de desintegração (%)	94
QUADRO 26 - Influência das variáveis de extrusão na textura de produtos texturizados de tremoço, conforme valores "OTMS" obtidos no "Instron"	98
QUADRO 27 - Análise de variância dos resultados da força máxima média (kgf), obtidos no "Instron" com célula do "OTMS"	100
QUADRO 28 - Análise de variância dos resultados de mastigabilidade (cm ²), obtidos no "Instron" com célula do "OTMS" ..	101
QUADRO 29 - Classificação quanto à textura, segundo valores "OTMS", de produtos texturizados de tremoço sob diferentes condições de extrusão	103
QUADRO 30 - Propriedades funcionais dos produtos texturizados de tremoço com alta mastigabilidade	104

QUADRO 31 - Propriedades funcionais dos produtos texturizados de tremoço com média mastigabilidade.....	105
QUADRO 32 - Propriedades funcionais dos produtos texturizados de tremoço com baixa mastigabilidade	106
QUADRO 33 - Influência das variáveis do processo de extrusão na umidade (%) dos produtos texturizados de tremoço ...	118
QUADRO 34 - Análise de variância e estimativa da regressão para a umidade (%)	119
QUADRO 35 - Influência das variáveis do processo de extrusão de farinha desengordurada de tremoço no torque	121
QUADRO 36 - Análise de variância e estimativa dos coeficientes na regressão para o torque (gf.m)	123
QUADRO 37 - Efeito da velocidade do parafuso e da temperatura no torque (gf.m) exigido durante a extrusão de farinha desengordurada de tremoço	126
QUADRO 38 - Efeito da umidade da farinha e da velocidade do parafuso no torque exigido durante a extrusão de farinha desengordurada de tremoço	127
QUADRO 39 - Efeito da velocidade do parafuso e do diâmetro da matriz no torque exigido durante a extrusão de farinha desengordurada de tremoço	128

RESUMO

O tremço é uma leguminosa que, contendo teores de proteina e de óleo próximos aos da soja, apresenta vantagens de possuir sabor mais agradável e ser pouco exigente quanto à fertilidade do solo. O uso de tremço doce com baixo teor de alcalóides viabiliza a industrialização do óleo e da farinha protéica desengordurada, podendo aumentar a disponibilidade calórico-protéica para a crescente população mundial, especialmente para a das regiões áridas. A transformação da farinha desengordurada em produto texturizado aumenta o potencial de aplicação deste subproduto da indústria de óleos, transformando-o em produto nobre e de baixo custo para alimentação humana.

O objetivo deste trabalho foi estudar a influência das variáveis do processo de extrusão termoplástica nas propriedades funcionais dos produtos texturizados de tremço doce (*Lupinus albus* L.)

O efeito da temperatura de extrusão (150 a 230°C), da umidade da farinha (16 a 28%), do diâmetro da matriz (3 a 7mm) e da velocidade do parafuso (50 a 150rpm) nas propriedades funcionais dos produtos texturizados a partir da farinha desengordurada de tremço doce (50% de proteina, aproximadamente) foi estudado através da metodologia de superfície de resposta utilizando-se um extrusor Brabender.

As propriedades funcionais avaliadas foram a absorção de água a 4, 25 e a 98°C, índice de solubilidade do nitrogênio, absorção de gordura, solubi

lidade em água, grau de desintegração durante autoclavagem, densidade e textura. Foram avaliados também a umidade do produto final e o torque do motor. Foram determinados os modelos matemáticos que explicam o comportamento das propriedades funcionais em função das condições operacionais de extrusão. Os resultados detalhados são apresentados na forma de mapas de contorno, que mostram os valores das diversas propriedades em função das variáveis estudadas.

Produtos texturizados de tremoço de alta mastigabilidade foram obtidos nas condições de alta pressão (matrizes com pequenos diâmetros) e/ou elevado cisalhamento (baixa umidade da farinha) e sob baixa temperatura de extrusão (170°C). Estes produtos caracterizaram-se pela alta densidade, elevada absorção de água a 98°C, baixa absorção de água a 4°C e baixo grau de desintegração durante autoclavagem.

Produtos de média mastigabilidade foram obtidos nas mesmas condições anteriores de pressão e cisalhamento, porém sob temperaturas de extrusão mais elevadas (190 a 230°C). Estes produtos apresentaram baixa densidade e absorção de água a 98°C, alta absorção de água a 4°C e alto grau de desintegração durante a autoclavagem.

Produtos texturizados de tremoço de baixa mastigabilidade foram produzidos sob baixo cisalhamento (alto e médio teor de umidade da farinha) e/ou baixa pressão (matrizes com grandes diâmetros) e sob temperatura de extrusão de 150 a 190°C. Estes produtos apresentaram alta densidade, elevada absorção de água a 4 e 98°C e baixo grau de desintegração durante a autoclavagem.

A otimização do processo de extrusão da farinha desengordurada de tremoço doce, visando atender às propriedades funcionais estabelecidas conforme o interesse de aplicação e as condições de mínimo custo, poderá ser feita

ta pela intersecção das diversas regiões delimitadas nas superfícies de resposta, determinadas para cada caso.

SUMMARY

Lupine has a protein and oil content similar to those of soybeans, but it has the advantage of a more pleasant taste; moreover it can be grown in less fertile soils. The use of sweet lupine with low alkaloid content is quite feasible for the production of oil and defatted flour, which can contribute to the availability of calories and protein for the ever-increasing world population, especially in dry regions. The transformation of the high protein flour into texturized products increases its potential applications and transforms it directly into a relatively low-cost product for human food.

The objective of the present work was to study the influence of certain variables of the thermoplastic extrusion process on the functional properties of texturized products produced from the defatted flour of sweet lupine (*Lupinus albus* L.). The effect of extrusion temperature (150-230°C), flour moisture content (16-20%), die diameter (3-7mm) and screw speed (50-150rpm) on the functional properties of texturized products of defatted sweet lupine flour (approximately 50% protein) was studied utilizing the Brabender laboratory extruder and applying surface response methodology for the analysis of the data.

The functional properties evaluated were water absorption at 4, 25 and 98°C, soluble nitrogen index, fat absorption, solubility in water, degree of desintegration during cooking under pressure, density, and tex

ture. The moisture content of the final product and the torque exerted by the motor during the extrusion process were also analyzed. Mathematical models describing the behavior of these properties in relation to the extrusion variables were developed, and the results are presented in three dimensional graphs.

High chewability of texturized lupine products was obtained through extrusion at a low temperature (170°C) either under high pressure (small die diameter) and/or high shear (low moisture content of flour). These products were dense and had a high water absorption at 98°C, although the absorption at 4°C was low. They were also quite resistant to desintegration during cooking under pressure.

At higher extrusion temperatures (190-230°C), products with medium chewability were obtained. (Other conditions described above remained the same). These products were characterized by a low density and low absorption at 98°C, but a high water absorption at 4°C, and were also resistant to desintegration during cooking under pressure.

When conditions were changed to low extrusion shear (high and medium moisture content of flour) and/or low pressure (large die diameter), under extrusion temperatures of 150-190°C, texturized products with a low chewability were produced. These products were highly dense, and had a high water absorption at both 4 and 98°C, but they were not resistant to desintegration during cooking.

Optimization of the extrusion conditions for the processing of sweet lupine flour to obtain a low cost product and/or specific functional properties can be effected by superposing the three dimensional graphs of the specific properties in question, therefore identifying the operational conditions for the production of a texturized product with the desired characteristics.

1. INTRODUÇÃO

O suprimento protéico para a crescente população mundial pode ser significativamente incrementado através do consumo direto de proteína vegetal. Para produzir 1kg de proteína animal necessita-se aproximadamente 10kg de proteína vegetal, o que implica que se apenas 1% desta última for utilizada diretamente para consumo humano, o suprimento mundial de proteína aumentaria 9% (GRUEWELL, 1974). Aliado a este fato, estudos sobre produção de proteína por hectare de terra revelaram que, independentemente da demanda de mercado e flutuações de preço, será sempre mais dispendioso produzir proteína animal que proteína de leguminosa (CATRON, 1967).

As leguminosas, que entre as plantas são consideradas uma das melhores fontes de proteína, têm sido, por séculos, importante fonte protéico-calórica para diversos povos do mundo (WOLF, 1972).

O tremoço (*Lupinus* spp.), entre outras leguminosas, foi usado como alimento humano por antigas culturas do Mediterrâneo e planaltos andinos. A expansão desta cultura para outras regiões do mundo, no final do século XVIII, se deu provavelmente por se adaptar às mais diversas condições edafoclimáticas e por apresentar especiais propriedades nutricionais (GLADSTONES, 1970). Certas espécies de tremoço apresentam teores de proteína e óleo próximos de 40 e 20%, respectivamente, valores estes, em alguns casos, maiores que os da soja (ORTIZ *et alii*, 1976).

Apesar destas vantagens nutricionais, os cultivares mais comuns de

tremoço contém elevados teores de alcalóides (1-3%), os quais, além de serem tóxicos, atribuem ao grão um gosto amargo (JUNGE, 1973). Assim é que o desenvolvimento de cultivares com baixo teor de alcalóides (os chamados "tremoços doces") por BAUER & SENGBUSH em 1928 (GLADSTONES, 1970), facilitou o aproveitamento desta leguminosa para a alimentação humana e animal e desencadeou sua expansão no mundo moderno. Atualmente, vários países, tais como Alemanha, França, Rússia, Austrália, Chile e Peru têm amplos programas de pesquisa com tremoço doce (AGUILERA & TRIER, 1978).

No Brasil, o aproveitamento do tremoço como fonte alternativa de proteína de baixo custo, por ser uma leguminosa de inverno, conta com as vantagens agrônomicas de se enquadrar no esquema de rotação de culturas, ao mesmo tempo que melhora as propriedades do solo (SCHERER, 1982). A cultura do tremoço no Brasil está voltada principalmente para adubação verde por apresentar vantagens em relação a várias leguminosas, como, por exemplo, ser pouco exigente em relação à fertilidade do solo, ter boa adaptação aos solos brasileiros com elevada acidez, alto teor de alumínio e produzir elevada quantidade de matéria orgânica num breve ciclo vegetativo (SANTOS, 1980). Estudos desenvolvidos em diversas regiões do Paraná revelaram que o rendimento do tremoço variou de 1.300 a 2.200kg/ha, dependendo do clima, solo e adubação (DERPSCH *et alii*, 1980).

Experiências visando a alimentação animal têm sido desenvolvidas tanto na forma de forragem, silagem ou aproveitamento do grão. Estudos realizados na Alemanha confirmam a possibilidade de ampla utilização de tremoço doce para suínos, bovinos, coelhos e peixes, devido ao elevado teor proteico-calórico e alta digestibilidade (GUILLAUME, 1982).

Investigações em seres humanos confirmam a elevada digestibilidade do concentrado proteico de tremoço doce (GROSS *et alii*, 1982; MERMOUD *et alii*, 1982). Pesquisas desenvolvidas no Chile atribuem alta qualidade à farinha

de *Lupinus albus*, quer por suas propriedades nutricionais como pelas tecnológicas e organolépticas (MERMOUD *et alii*, 1977). A farinha de tremoço tem sido usada para fortificar e melhorar as qualidades tecnológicas e nutricionais de pastas e produtos de panificação (JUNGE, 1973; CAMPOS & EL-DASH, 1978).

O uso de tremoço na forma de farinha tem sido limitante; de um modo geral, pesquisadores têm observado que apesar das inovações tecnológicas tornarem viáveis uma série de matérias-primas alimentícias, um grande problema tem sido formular novos produtos com sabor e textura aceitáveis pelo consumidor (JOHNSON, 1970; STANLEY, 1986). Assim é que, dentre os diversos processos tecnológicos para aproveitamento industrial do tremoço, acredita-se que o processo de texturização por extrusão seja um dos mais indicados. A extrusão da farinha desengordurada permitiria a transformação de um subproduto da indústria de extração de óleos em produto nobre para a alimentação humana.

A extrusão termoplástica é definida como um processo contínuo onde o cisalhamento mecânico, combinado com o calor, gelatiniza amidos e desnatura proteínas enquanto plastifica e reestrutura o material, criando novas formas e texturas (SMITH, 1976; EL-DASH, 1982).

O processo de extrusão termoplástica é muito versátil, sendo que, a partir do mesmo conjunto de ingredientes, pode-se produzir diversos produtos finais, com diferentes formas, texturas e aparências. Pode também ser empregado para controlar e inativar fatores antinutricionais e enzimas, pasteurizar e esterilizar alimentos. O tempo de processo é muito curto, permitindo elevada capacidade de produção com equipamento relativamente pequeno (SMITH, 1976; CLARK, 1978; HARPER, 1979 e 1986).

Proteínas vegetais texturizadas por extrusão têm tido as mais varia-

das aplicações em alimentos. Em 1971, foi autorizado seu uso nos programas institucionais americanos de merenda escolar (E.U.A., 1971). Este produto tem sido usado para recheios de bombons, em molhos para massas, mas o principal uso tem sido em misturas de carnes, peixes e aves (HORAN, 1977; HARPER, 1979; HOLAY & HARPER, 1982).

Em 1974, WILDING, avaliando diversos produtos cárneos, concluiu que a proteína vegetal texturizada tem desempenhado importante papel no que se refere a controle de custos, propriedades funcionais e nutricionais destes produtos. As projeções com relação ao mercado consumidor de proteína vegetal texturizada têm indicado uma probabilidade de grande expansão (E.U.A., 1975; IAMMARTINO, 1974; HORAN, 1977).

Apesar do uso extenso e ampla bibliografia sobre proteína texturizada de soja por extrusão, poucas citações (PADT Alimentos Bolívia, 1982; LAST, 1979) constam da literatura sobre extrusão de tremoço, as quais indicam dificuldades de processamento.

Pelo exposto, acredita-se que o desenvolvimento de uma pesquisa estabelecendo condições adequadas para a produção de produtos texturizados de tremoço, gerando informações que permitam a otimização do processo e caracterizando as propriedades funcionais dos produtos finais, estará contribuindo para ampliar as perspectivas de aproveitamento industrial do tremoço como fonte alternativa de proteína de baixo custo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. TREMOÇO

2.1.1. Características agronômicas

O tremoço, uma leguminosa que já era cultivada por romanos e gregos no início e mesmo antes da era cristã, aparece descrito nos antigos tratados de THEOPHRASTUS e HIPÓCRATES (século 4 A.C.) como um grão capaz de crescer em solos pobres e com recomendações para cultivo e uso em alimentação humana e animal. Esta cultura chegou à Itália por volta de 1780 e se expandiu por toda a Europa provavelmente por se adaptar às mais diferentes condições edafoclimáticas e por apresentar especiais propriedades nutricionais, pois certas espécies de tremoço apresentam teores de proteína e óleo ao redor de 40 a 20%, respectivamente (GLADSTONES, 1970).

O tremoço pertence ao gênero *Lupinus* e as espécies mais cultivadas são *Lupinus albus* L., *Lupinus luteus* L., *Lupinus angustifolius* L. e *Lupinus mutabilis* SWEET.

A área mundial cultivada com tremoço em 1975 foi de 496.800 hectares com uma produção de 512.780 toneladas. O maior produtor mundial é a União Soviética com produção de 63.500 toneladas, seguido da Polônia e Austrália (SANTOS, 1980).

No Brasil o tremoço é cultivado essencialmente pela adubação

verde, onde apresenta vantagens em relação a outras leguminosas por ser pouco exigente quanto à fertilidade do solo e ter excelente adaptação aos solos brasileiros com alta acidez e elevado teor de alumínio (SCHERER, 1982).

De acordo com SANTOS *et alii*, 1984, o processo de diversificação de culturas de inverno no sul do Brasil deverá se constituir em importante fator de desenvolvimento econômico da região. Dentro deste contexto, pesquisas em andamento no Rio Grande do Sul visam desenvolver e aperfeiçoar um sistema de produção capaz de viabilizar o tremoço como cultura econômica. No ano de 1981 o cultivar *Precoz Original* da espécie *L. albus* foi uma das culturas que apresentaram melhor resultado, com uma produção de 2.400kg/ha. O rendimento desta cultura, observado por DERPSCHE *et alii* (1980) em diversas regiões do Paraná, variou de 1.300 a 2.200kg/ha, conforme clima, solo e adubação.

Os principais fatores limitantes à expansão do tremoço como cultura têm sido a falta de sementes e a falta de aproveitamento industrial do grão, que desestimula o plantio pelos agricultores, que não consideram a adubação verde investimento lucrativo.

2.1.2. Composição química

HILL (1977) observou considerável variação na composição química de diferentes espécies, aliada aos fatores ambientais.

A composição química de diversas variedades, encontrada por vários pesquisadores, segundo AGUILERA & TRIER (1978), está apresentada no Quadro 1, assim como valores médios encontrados para a soja. Pode-se observar que o *L. mutabilis* e *L. luteus* apresentam teores de proteína acima de 40%, valor este maior que o encontrado em qualquer grão comercializado, exceto a soja. A espécie *L. mutabilis* combina com esta desejável característica

QUADRO 1. Composição Química do Tremoço Integral (I) e Descascado (D) (*)

Espécie		(% base seca)					Referências
		Proteína ^a	Lipídios	Cinzas	Fibras	Carboidratos ^b	
<i>L. albus</i>	(I)	38,2	13,1	3,4	----	----	Junge (1973)
	(D)	45,7	17,0	2,4	3,5	30,4	Pompei & Lucisano (1976)
	(I)	37,2	9,4	3,2	21,2	29,4	
	(D)	43,6	11,3	3,4	12,0	29,7	Hudson <i>et alii</i> (1976)
<i>L. angustifolius</i>	(D)	45,1	0,9	4,4	3,0	46,6	Intec (1978)
	(I)	27,0	6,5	3,5	16,8	----	Hove (1974)
	(D)	34,8	7,2	3,7	3,5	----	Hudson <i>et alii</i> (1976)
	(I)	31,2	5,8	----	----	----	Hudson <i>et alii</i> (1976)
<i>L. luteus</i>	(I)	41,1	6,1	3,5	----	----	Junge (1973)
	(D)	62,5	7,8	2,7	4,2	22,8	Junge (1973)
	(I)	44,0	4,5	----	----	----	Hudson <i>et alii</i> (1976)
	(D)	46,1	6,1	4,4	4,4	----	Hove (1974)
<i>L. mutabilis</i>	(I)	40,7 ^c	20,1	3,9	----	----	Gross & Von Baer (1975)
	(I)	42,9	10,6	----	----	----	Hudson <i>et alii</i> (1976)
Soja (<i>Glycine max</i>)	(I)	38,9	20,0	5,0	5,3	30,8	Smith & Circle (1972)
	(D)	42,5	22,1	5,2	2,1	28,1	Smith & Circle (1972)

* Segundo Aguilera & Trier (1978)

a - N x 5,7

b - por diferença

c - N x 6,25 (assumido)

a um alto teor de óleo, em alguns casos igual ou até mesmo maior que a soja. *L. luteus* é a que apresenta a menor percentagem de óleo entre todas as espécies. *L. angustifolius* apresenta reduzido teor de óleo (5,5 a 6,7%) e cerca de 30% de proteína. O *L. albus* apresenta uma percentagem relativamente alta de proteína (37%) e valor médio para a percentagem de óleo (10%).

Deve-se observar que, como a quantidade da casca nestes grãos é relativamente alta, 19 a 25%, o teor de proteína e gordura no grão descascado aumenta significativamente. Farinha descorticada de *L. luteus* pode conter 60% de proteína, valor este que será acrescido quando a farinha for desengordurada.

Ainda com relação à casca, BAILEY *et alii* (1974) verificaram que 50% de sua composição era fibra, a qual não apresentava inibidores de crescimento e era digerível por ratos e porcos por não apresentar lignina.

A composição de aminoácidos relatados na literatura está descrita no Quadro 2. Pode-se observar que os principais aminoácidos limitantes são a metionina e a cistina, seguidas pela valina e triptofano. No caso de *L. albus* a valina atinge valor adequado.

Os valores relatados por JUNGE (1973), GROSS & VON BAER (1975), HUDSON *et alii* (1976) indicam que a fração de ácidos graxos insaturados é alta. *L. mutabilis* e *L. albus* apresentam valores altos de ácido oléico (acima de 50%), enquanto em *L. luteus* e *L. angustifolius* predomina o linoléico.

CERNING-BEROARD & FILIATRE (1976) verificaram que a fração de carboidratos, geralmente na faixa de 35%, é rica em polissacarídeos estruturais, sendo a maioria proveniente da casca. O amido foi encontrado em quan-

QUADRO 2. Teor de Aminoácidos do Tremoço Integral (I) e Descascado (D) (*).

Espécie		(g de Aminoácido/16g de N)										Referências	
		ILE	LEU	LYS	MET	CYS	PHE	TYR	THR	TRP	VAL		
<i>L. albus</i>	(I)	5,7	9,1	5,8	0,3	1,6	4,5	5,2	4,7	1,0	5,0	Junge (1973)	
	(D)	5,8	10,2	6,0	0,5	1,5	5,1	6,0	4,6	0,8	5,1	Junge (1973)	
	(I)	3,8	6,3	3,0	0,6	1,9	3,6	4,2	3,0	0,8	3,4	Pompei & Lucisano (1976)	
	(D)	3,5	5,6	3,4	0,7	1,7	3,4	4,0	3,0	0,7	3,3	Pompei & Lucisano (1976)	
<i>L. angustifolius</i>	(I)	4,3	7,3	4,9	0,6	1,7	4,1	3,0	3,4	-	3,9	Hove (1974)	
	(D)	4,8	7,5	4,6	0,6	2,5	3,9	2,9	3,5	-	4,2	Hove (1974)	
<i>L. luteus</i>	(I)	4,7	10,2	6,4	0,5	2,4	4,8	3,8	4,1	0,9	4,6	Junge (1973)	
	(D)	5,0	10,7	6,4	0,5	2,5	5,0	4,0	4,2	0,7	4,3	Junge (1973)	
<i>L. mutabilis</i>	(I)	4,7	7,4	6,0		2,7		7,9		4,0	0,8	4,0	Hudson <i>et alii</i> (1976)
	(I)	4,3	7,4	5,3	0,4	-	3,4	3,5	3,5	-	3,5	Gross & Von Baer (1975)	
Soja (<i>Glycine max</i>)	(D)	5,1	7,7	6,9	1,6	1,6	5,0	3,9	4,3	1,3	5,4	Smith & Circle (1972)	
Padrão F.A.O.		4,0	7,0	5,4		3,5		6,1	4,0	1,0	5,0	F.A.O. (1973)	

* segundo Aguilera & Trier (1978)

tidades mínimas, cerca de 0,5 a 0,3% da matéria seca. geradores de furfural 10%, açúcares solúveis em álcool 9,5% e ligninas 1%. Estes pesquisadores verificaram também que os açúcares, tais como rafinose, estaquiase e verbascose, que favorecem a flatulência, perfazem de 4 a 8% do peso do grão.

MACRAE & ZAND-MOGHADDAM (1978), analisando oligossacarídeos de 10 cultivares de tremoço de 4 espécies, verificaram que os valores de estaquiase e verbascose em *L. albus* e *L. angustifolius* eram similares à soja, enquanto tais valores eram consideravelmente mais altos para *L. luteus* e *L. mutabilis*.

HOVE (1974) verificou que as concentrações de Fe, Zn, Mn e Cu eram suficientemente altas para indicar que os tremoços são valiosas fontes destes nutrientes essenciais.

2.1.3.. Aspectos nutricionais

Pesquisas de GUILLAUME (1982), SCHOENEBERGER *et alii* (1982) e GRAHAN (1982) confirmam que de um modo geral todas as espécies de tremoço apresentam alta digestibilidade.

Os resultados das pesquisas de SCHOENEBERGER *et alii* (1982), RUIZ *et alii* (1977), BALLESTER *et alii* (1980) e SGARBIERI & GALEAZZI (1978) revelam que é importante a suplementação com metionina, quando o tremoço for a única fonte proteica da dieta. SCHOENEBERGER *et alii* (1982) verificaram que o tremoço pode efetivamente corrigir deficiências de lisina da maioria dos cereais e que a suplementação destes seria o uso mais importante do tremoço.

BALLESTER *et alii*(1980), estudando tremoço doce *L. albus* e *L. luteus*, verificaram que a adição de 0,3% D.L. metionina aumentava o PER

de 0,48 e 0,99 para 2,84 e 2,30, respectivamente. Verificaram que o crescimento dos animais com dietas com 20% de proteínas de tremoço suplementada com metionina e dieta com 20% de caseína era similar. O peso dos órgãos e histologia do fígado e rins eram normais. SCHOENEGER *et alii* (1982), estudando tremoço cozido e cru, verificaram que o tremoço cru suplementado era o que atingia níveis mais altos de PER, próximo ao da caseína e concluíram assim como PION *et alii* (1979) que a cocção não melhorava a qualidade da proteína do tremoço.

Por outro lado, YÁÑEZ *et alii* (1986) verificaram que a tostagem por 10 a 20 minutos não afeta o consumo nem o PER e que produz efeitos positivos quanto à palatabilidade.

Poucas pesquisas têm sido feitas com relação aos fatores anti-nutricionais do tremoço.

Trabalhos de CERLETTI e DURANTI (1979), POMPEI & LUCISANO (1976), HUDSON (1979) têm verificado ausência de inibidores de tripsina e de hemaglutininas. Pesquisas de HOVE & KING (1979) e de SCHOENEGER *et alii* (1982) mostram que de um modo geral estes valores são muito baixos, mas podem ser considerados, dependendo da origem das sementes.

BLAGROVE & GILLESPIE (1980) relatam que em variedades doces de *L. albus*, *L. luteus*, *L. angustifolius* foram encontrados apenas traços de enzimas inibidoras e fitohemaglutininas, baixas quantidades de ligninas, taninos e ausência de fatores bocígenos e concluíram que o tremoço é uma das poucas leguminosas que podem ser ingeridas cruas sem que haja inibição de crescimento.

SATHE *et alii* (1982) observaram que farinha de tremoço assim como concentrados protéicos não apresentam quantidades detectáveis de inibidores de tripsina, quimiotripsina e amilase.

O problema da presença de alcalóides tem sido pesquisado por diversos autores.

Sabe-se que algumas variedades contêm altos teores de alcalóides (3-4%) e que além da toxicidade conferem ao grão um sabor amargo. Apesar destas características, de acordo com GROSS & VON BAER (1975) e JUNGE (1973) não há registros de intoxicações devido ao uso de tremoço desamargado, provavelmente porque o processo culinário de eliminação do sabor amargo abaixa o teor de alcalóides a níveis seguros do ponto de vista toxicológico. Conforme MANGOLD (1982) valores de 0,05 e 0,1% são aceitáveis tanto para animais como para seres humanos.

Casos isolados de intoxicação por consumo de tremoço amargo têm sido relatados. Relatos de casos fatais envolvendo crianças dão como dose letal de alcalóides do tremoço o valor de 11 a 25mg/kg de peso (SCHMIDLIM & MÉSZAROS, 1973). Doses de 25 a 46mg/kg de peso foram responsáveis por intoxicação não fatal em adultos. (AGUILERA & TRAIER, 1978). Mais recentemente, em 1980, BALLESTER *et alii* provaram que baixas concentrações de alcalóides não causam toxicidade.

SCHOENEBERGER *et alii* (1982), RUIZ *et alii* (1977), TANNOUS *et alii* (1968) verificaram que os alcalóides em dietas pobres em metionina causam depressão no crescimento, efeito este que pode ser compensado pela adição de metionina.

Os alcalóides têm sido identificados como lupanina, esparteína, lupinina, isolupanina, angustifolina e L-17 hidroxilupanina.

Com relação à aplicação tecnológica e avaliação nutricional de tremoço em seres humanos, poucos trabalhos têm sido publicados. CAMPOS & EL-DASH (1978) verificaram que a farinha de tremoço doce pode ser usada pa-

ra melhorar e fortificar a qualidade tecnológica e nutricional de pastas e produtos de panificação. A farinha de *L. albus* também tem sido incorporada em fórmulas de leite e distribuída em programas de merenda escolar no Chile (YÁÑEZ *et alii*, 1979). Testes de tremoço doce (*L. albus*) foram aplicados a 20 cadetes, com ingestão diária de 60g durante 4 semanas. Boa digestibilidade e nenhuma alteração significativa nos principais indicadores fisiológicos do sangue foram observados por GROSS *et alii*, em 1982. Resultados semelhantes foram encontrados por MERMOUD *et alii* (1982) após 90 dias de avaliação em crianças.

Experiências visando alimentação animal também têm sido desenvolvidas tanto na forma de forragem, silagem ou aproveitamento do grão. Estudos realizados na Alemanha confirmam a possibilidade de ampla utilização de tremoço doce para suínos, bovinos, coelhos e peixes, devido ao alto teor protéico-calórico e alta digestibilidade (GLADSTONES, 1972). Experiências sul-africanas (VAN DER VYVER *et alii*, 1955), australianas (GLADSTONES, 1972) e chilenas (JUNGE, 1973) comprovam estes resultados. Embora diversas espécies de sementes de tremoço tenham sido usadas na alimentação humana, o uso em ração animal só ocorreu após surgimento dos cultivares doces. Conforme GLADSTONES (1972), a produção de tremoço doce para substituir o farelo de soja na formulação de rações já é uma realidade na Austrália. Rações para aves, porcos e bois podem conter até 30% de tremoço doce, desde que sejam balanceadas em aminoácidos.

2.1.4. Propriedades funcionais da proteína

A composição das proteínas do tremoço tem sido pesquisada por BLAGROVE & GILLESPIE (1975), SGARBIERI & GALEAZZI (1978), CERLETTI *et alii* (1980). Segundo CERLETTI *et alii* (1980) as globulinas correspondem à maior fração protéica, sendo albumina o restante. Verificaram também que a rela-

ção entre as diferentes frações de globulinas não é constante para todas as variedades. Os autores conseguiram separar 11 frações de globulinas em *L. albus* e verificaram que todas são associações oligoméricas que contêm carboidratos concentrados em algumas subunidades e que a maioria destas frações cai no grupo das leguminas e vicilinas.

As propriedades funcionais destas proteínas têm revelado resultados bastante promissores.

MALGARINI & HUDSON (1980) verificaram que *L. albus* apresentava elevado teor de proteína de alta qualidade, fácil extratibilidade numa larga faixa de pH e capacidade emulsionante superior à soja. KING *et alii* (1985) verificaram que o isolado protéico de tremoço apresentava melhor solubilidade que a soja e similar capacidade de emulsificação. Embora inicialmente inferiores à capacidade de geleificação e absorção de água, estas atingiam valores semelhantes aos da soja após tratamento a 100°C por 20 minutos.

SOSULSKI & YOUNGS (1979), estudando propriedades funcionais de farinhas de leguminosas, concluíram que a farinha de tremoço atingiu os maiores valores para absorção de água, maior inclusive que a soja. Os valores de absorção de óleo foram 134% para a soja e 125% para o tremoço, sendo que as demais leguminosas ficavam na faixa de 60 a 70%. A capacidade emulsificante também estava entre as mais altas. Somente apresentava valores muito baixos para a capacidade de formar espuma, mas os autores atribuíram o fato à sua alta porcentagem de óleo (7%) em relação aos 0,5 e 1% das demais, uma vez que em trabalhos anteriores (SOSULSKI *et alii*, 1976) com farinha desengordurada, a capacidade de formar espuma foi semelhante à da soja.

CERLETTI *et alii* (1982), MALGARINI & HUDSON (1980), SOSULSKI *et alii* (1979), KING *et alii* (1985) e SATTE *et alii* (1982) concluíram que

as propriedades funcionais da farinha e isolado protéico são muito boas, muitas vezes superiores à da soja, o que torna o tremço um grande potencial para a industrialização de alimentos e um possível substituto para produtos elaborados com soja.

2.2. PROTEÍNA VEGETAL TEXTURIZADA

2.2.1. Propriedades funcionais

A demanda mundial de alimentos requer o desenvolvimento de novos produtos e processos, o que acentua a necessidade destas novas proteínas apresentarem certas propriedades físico-químicas específicas. Tais propriedades geralmente referidas como propriedades funcionais são importantes para a determinação dos usos potenciais das novas proteínas (KINSELLA, 1978). Em 1976, KINSELLA definiu propriedades funcionais como as propriedades que se referem ao complexo comportamento físico das proteínas nos alimentos e que reflete as interações que são influenciadas pela composição da proteína, estrutura, conformação e associações intra e intermoleculares da proteína e com os outros componentes dos alimentos e a natureza do meio em que as reações ocorrem.

O autor relaciona diversos termos funcionais com propriedades gerais das proteínas em alimentos. Termos funcionais tais como elasticidade, arenosidade, coesividade, mastigabilidade e adesividade são englobados dentro das propriedades denominadas de textura, estrutural ou reológica. Outros termos funcionais como solubilidade, dispersibilidade, absorção de água, intumescimento e sinerese são reunidos dentro da propriedade geral de hidratação. Dentre outras, o autor relaciona ainda propriedades organolépticas com os termos funcionais cor, sabor, textura, arenosidade, suavidade e propriedades de superfície com emulsificação, aeração, ligante de aroma, estabilizante, etc.

Em 1973, HERMANSSON *et alii* observaram que o sucesso da suplementação dos produtos protéicos tradicionais e a fabricação de novos alimentos dependiam da disponibilidade de proteína com características funcionais específicas. De acordo com estes autores, o perfil da proteína dado pelo conjunto de propriedades funcionais pode ser usado como referência no desenvolvimento de um produto, restringindo o número de testes em grande escala. Estas propriedades funcionais podem determinar o campo de aplicação, assim como indicar se um novo ingrediente protéico será competitivo.

JOHNSON (1970) observou que a grande dificuldade com relação ao uso das novas proteínas estava em formular novos produtos com textura, sabor e aroma aceitos pelo consumidor.

Conforme STANLEY (1986), apesar das inovações tecnológicas tornarem viáveis uma série de matérias-primas alimentícias, o maior problema estava em remodelar estes ingredientes numa textura aceitável pelo consumidor. Diversos pesquisadores desde então têm trabalhado no sentido de conferir a produtos tais como amido e proteína uma certa textura mastigável. Transformar farinhas protéicas num material que tenha textura descrita como mastigável acrescenta um leque de usos potenciais desta proteína em alimentos. O desenvolvimento de proteína vegetal texturizada (PVT), hoje de comprovado sucesso comercial, foi um dos mais importantes avanços neste campo.

Proteínas têm sido texturizadas por vários processos, entre eles a fibrilação (GIDDEY, 1965; HUANG & RHA, 1974; ZIEMBA, 1969), extrusão termoplástica (ADOLPHSON & HORAN, 1974; HORAN, 1974; MARTIN *et alii*, 1971; SANDERUDE & ZIEMBA, 1968; WILDING, 1971), coagulação (SMITH & CIRCLE, 1972; WATANABE *et alii* 1974), gel mastigável (ANSON & PADER, 1959; AOKI, 1968), formação de filme (WU & BATES 1975); congelamento (HASHIZUME & WATANABE, (1974), prensagem e aquecimento (ABOAGYE & STANLEY, 1985), texturização por vapor (STROMMER, 1975).

A informação mais significativa com relação ao processo de texturização e com relação aos vários parâmetros químicos e físicos que afetam as propriedades e comportamento deste produtos está em patentes cujos detalhes mais importantes foram compilados por GUTCHO (1973). Para obtenção de produtos texturizados diversas proteínas têm sido pesquisadas, tais como a da soja, amendoim, semente de algodão, girassol, feijão. No entanto, o sucesso comercial tem sido a soja, uma vez que sua farinha desengordurada (50% de proteína) é atualmente a fonte protéica mais barata.

Conforme KINSELLA (1978), a produção industrial é atualmente feita quase que exclusivamente por extrusão termoplástica e por fibrilação, sendo que esta produz os chamados substitutos de carne, enquanto os extrudados são vistos como extensores de carne.

Devido aos requisitos técnicos e custos totais, o processo de extrusão foi o que mais se desenvolveu, sendo que 95% da proteína vegetal texturizada hoje são proteína de soja extrudada.

2.2.2. Aplicações e consumo

As aplicações de proteína vegetal texturizada têm sido variadas. De acordo com MARTIN *et alii* (1971) este produto é apresentado em diversas texturas, desde mastigável até quebradiço.

As partículas variam em tamanho, desde os "finos" até pedaços de 2 a 3cm. Os "finos" (1/8 a 1/16 pol) são usados em recheios de geléias em bombons. O principal uso tem sido em misturas com carnes, peixes e frangos em forma de croquetes, hambúrgueres, almôndegas, recheios e molhos para massas, tacos, etc.

Além do enriquecimento protéico, quando usada ao nível de 3 a 5%, a proteína texturizada apresenta diversas propriedades funcionais tais como

- ser veículo de vitaminas, minerais, corantes, aromatizantes e temperos;
- aumentar a absorção de água e gordura, auxiliando na retenção de suculência, volume e sabor;
- promover a consistência resistente à autoclavagem e consistência conveniente para trabalhos em equipamentos, facilitando a formação de bolinhos de carne e extrusão de recheios, etc.

Em 1971, o Serviço de Alimentação e Nutrição dos Estados Unidos (E.U.A., 1971) aprovou a inclusão de PVT nos programas de alimentação escolar, especificando a adição máxima de 30% de produto hidratado em relação à carne crua. Conforme IAMMARTINO (1974), esta resolução fez com que o consumo de 9.000 a 11.000 toneladas em 1971 saltasse para 70.000 toneladas em 1973.

O uso de proteína vegetal texturizada em programas de merenda escolar nos Estados Unidos tem sido crescente. Em 1976 estimava-se que ela era utilizada em 65% dos programas nacionais de alimentação (KINSELLA, 1978).

As projeções de consumo para o mercado americano de proteína vegetal texturizada estão apresentados no QUADRO 3, a seguir:

QUADRO 3. Projeções do mercado americano de proteína vegetal texturizada.

Aplicação	1975	1980	1985	1990	2000
	Consumo (mil toneladas)				
Merenda escolar	51	57	95	123	160
Refeições públicas	13	170	497	893	1087
Instituições federais	5	13	18	26	13
Comércio	16	580	1425	3370	4284
Total	85	820	2035	4412	5544
Extrudada	53	484	957	1765	2218
Fibrilação	32	336	1078	2647	3326

E.U.A. (1975).

Conforme HORAN (1977) estas projeções foram muito otimistas, porque que o uso foi se estabilizando; ele estimou um crescimento numa taxa acumulada de 175% para 1980, 1981 e 1982. Segundo o autor, do ponto de vista mercadológico, o maior obstáculo à mais rápida aceitação deste produto é a falta de definição clara ou a falta de uniformidade com respeito aos regulamentos governamentais. Constatou ainda que a maior dificuldade com relação aos órgãos governamentais é a falta de precisão na definição de termos, de se verificar exatamente o que significa proteína vegetal texturizada.

PELEG (1976) afirma que mais pesquisas em profundidade são necessárias para caracterizar parâmetros estruturais essenciais em relação às propriedades de textura e que pesquisas com microscopia eletrônica de varredura (M.E.V.) devem ser encorajadas.

2.2.3. Definição e legislação

De acordo com BREENE & BARKER (1975), o termo "proteína vegetal texturizada" tem sido aplicado a uma larga classe de produtos que variam consideravelmente com relação às propriedades de textura. A abreviatura "TVP" é uma marca registrada e a abreviatura "TPP" ("textured plant protein") seria a mais indicada para se referir a estas proteínas.

Proteína vegetal texturizada tem sido definida como ingrediente alimentício palatável, industrializado, processado a partir de fontes proteicas comestíveis, incluindo entre outras farinha, isolado e concentrado protéico de soja com ou sem adição de ingredientes apropriados opcionais com fins nutricionais ou tecnológicos. São produzidos na forma de fibras, tiras, fatias, pedaços grossos, pedaços pequenos e outras formas. Quando preparados para consumo por hidratação, cocção e autoclavagem ou outros procedimentos retêm sua integridade estrutural mastigável característica (E.U.A., 1972).

A legislação brasileira (BRASIL, 1981) define "Proteína Texturizada de Soja" como produto dotado de integridade estrutural e textura identificável, de modo que cada unidade suporte hidratação e cozimento, obtida por fiação e extrusão termoplástica a partir de uma ou mais das seguintes matérias-primas: proteína isolada de soja, proteína concentrada de soja e farinha desengordurada de soja.

A proteína texturizada de soja pode ser utilizada como ingrediente de alimentos, como fonte protéica e como "extensor" de proteína de carne e deve apresentar as seguintes características:

- . proteínas (N x 6,25)..... mínimo = 50,0% (base seca)
- . umidade..... máximo = 8,0%
- . fibra bruta máximo = 4,0%
- . óleos máximo = 2,0%
- . cinzas máximo = 6,5%

Além destas características, as indústrias que comercializam tais produtos especificam valores para proteína solúvel, índice de nitrogênio solúvel, densidade aparente, capacidade de absorção de água, sabor, cor, granulometria, contagem microbiana, etc.

2.3. EXTRUSÃO TERMOPLÁSTICA

2.3.1. Texturização por extrusão

A extrusão aplicada a alimentos teve início em meados da década de 30. Tais equipamentos eram usados somente para misturar e moldar pastas, onde nenhuma cocção estava envolvida (ROSSEN & MILLER, 1973). No início dos anos 50 diversos extrusores foram desenvolvidos para cozinhar e expandir misturas de cereais, legumes e subproduto animal para a produção de ração. A partir daí, pesquisadores desenvolveram produtos destinados ao con

sumo humano tais como "cereais matinais", "snack foods", farinha de soja pré-cozida, sopas e bebidas instantâneas e amidos pré-gelatinizados.

A grande nova aplicação da extrusão termoplástica surgiu com o descobrimento de ATKINSON (1970), quando esta poderia ser usada para orientar e formar ligações cruzadas em moléculas protéicas de soja para produzir produtos de estrutura semelhante à carne.

Os autores STANLEY & VAN DE VOORT (1979) relatam que, em 1973, pelo menos 20 das maiores companhias alimentícias dos Estados Unidos estavam engajadas na produção de proteína vegetal texturizada. Os autores classificam a extrusão como o método de processamento de alimentos mais efetivo em termos de conservação de energia. Todas as operações de mistura, aquecimento, texturização e secagem podem ser feitas numa única etapa; no extrusor de dupla rosca o aproveitamento da energia é ao redor de 100%.

Diversos autores (SMITH, 1971; CLARK, 1978; HORAN, 1977; EL DASH, 1982) têm relatado as vantagens do processo de extrusão em relação aos demais métodos de cocção de alimentos. O processo de cocção por extrusão é de baixo custo, pois, além de converter eficientemente a energia elétrica em energia térmica, os requerimentos de mão-de-obra e espaço por unidade de produção são menores que em outros sistemas de cocção. A extrusão de alimentos é um método de cocção versátil e de alta capacidade de produção. O processo pode ser controlado em uma grande gama de condições de operação, de modo a conduzir a produtos finais de diferentes formas, texturas e propriedades funcionais. Uma vez que o tempo de processo é de alguns segundos, a cocção por extrusão pode ser classificada como um processo HTST ("High Temperature Short Time"), o que implica na preservação máxima do valor biológico das proteínas e vitaminas do material a ser cozido. O exame bacteriológico de produtos extrudados produzidos em sistemas bem ope

rados revelou um produto com contagem total muito baixa, isento de patógenos, normalmente com longa vida-de-prateleira (SMITH, 1971).

No processo de extrusão, substâncias amiláceas e/ou protéicas são plasticizadas num cilindro pela combinação de pressão, calor e cisalhamento mecânico. Tais circunstâncias acarretam elevadas temperaturas que provocam a geletinização dos componentes amiláceos, desnaturação de proteínas, estiramento e reestruturação dos componentes frágeis, moldagem do produto final e expansão exotérmica do extrudado (SMITH, 1975a).

CLARK (1978) observou que, dependendo da composição da pasta e das condições de processo, o produto pode ser denso, fibroso ou expandido. Sob condições especiais, a expansão pode ser controlada para se obter textura semelhante à da carne. O autor se manifesta com relação ao termo "texturização", afirmando que geralmente é aplicado de forma bastante ambígua e observa que, se tal palavra for usada para significar alguma substancial e permanente alteração das características da matéria-prima, então a extrusão é quase sempre um processo de texturização. Por outro lado, se ela for usada com um significado mais limitado, para simular textura de carne, então apenas alguns extrudados se aproximam disto.

2.3.2. Elementos básicos do extrusor

De acordo com CLARK (1978), o extrusor é simultaneamente uma bomba, um misturador, um trocador de calor, uma modeladora e, possivelmente, um reator químico, e a função dominante num dado processo depende das características de construção e do método de operação do equipamento.

Existem extrusores de duplo parafuso e de parafuso único. A geometria e a terminologia de um extrusor de um parafuso único estão ilustradas na Figura 1.

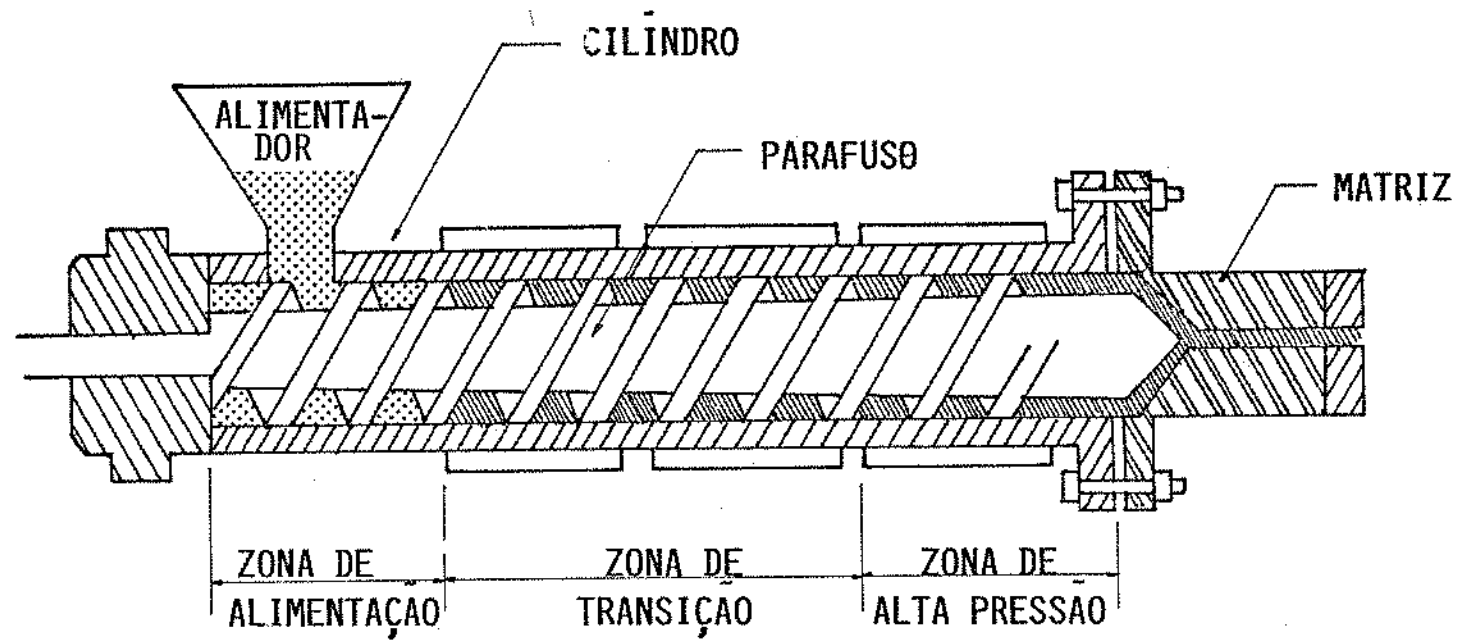


FIGURA 1. Diagrama de um extrusor de cozimento.

O extrusor é basicamente formado pelo cilindro (camisa), pelo eixo (parafuso) e pela matriz. Num extrusor termoplástico, a parte interna do cilindro é normalmente ranhurada para evitar deslize da massa e aumentar a taxa de cisalhamento. O calor pode ser aplicado através de camisa de vapor ao redor do cilindro. Quando há necessidade de resfriamento usa-se água fria.

O parafuso, ao mesmo tempo que transporta o material ao longo do extrusor, pressiona-o contra as paredes do cilindro, exercendo sobre ele um trabalho de cisalhamento.

A matriz tem função de moldar o produto na forma desejada, além de funcionar como um restritor de fluxo, aumentando a pressão na zona de cocção.

O parafuso é a parte central e principal do equipamento, sendo que sua geometria tem função importante no processamento. Está dividido em três seções: a) **Seção de alimentação:** a função é receber o material, comprimi-lo e iniciar o transporte através do extrusor. Nesta fase, o ar é expelido e os espaços da rosca ocupados pela farinha. Nesta seção, a rosca é de maior profundidade ou apresenta maior passo. b) **Seção de transição:** nesta seção alterações são feitas de modo que haja restrição de fluxo, quer pela diminuição gradativa da altura da rosca ou pela presença de placas perpendiculares ao fluxo. Tais restrições aumentam a taxa de cisalhamento e a energia mecânica é consumida, resultando em aumento de temperatura. Conforme o material se move na zona de transição, é transformado numa massa semi-plástica através de uma cocção parcial sob elevadas condições de temperatura e pressão. c) **Seção de alta pressão:** aqui, a profundidade da rosca é menor e/ou o passo diminuído. A relação de redução da área para fluxo nas últimas seções do parafuso e a zona de alimentação são definidas como taxa de compressão e variam de 1:1 até 5:1.

A função desta seção é receber o material comprimido, homogeneizá-lo e forçá-lo através da matriz à pressão constante. A taxa de cisalhamento neste ponto é muito alta, a intensidade da mistura é drasticamente aumentada e a conversão da energia mecânica em energia térmica está em seu ponto máximo. O aumento da temperatura é muito rápido e a massa atinge o grau de cocção desejado. Quando a massa passa através da matriz, a pressão é bruscamente aliviada, a água aquecida evapora instantaneamente e o material se expande em estruturas irreversíveis após o resfriamento.

A classificação dos extrusores, desenho, aspectos mecânicos e operacionais, modelamento matemático e relação das diferentes variáveis de processo de extrusão são revistos nos trabalhos de ROSSEN & MILLER (1973), GUTCHO (1973), HARMANN & HARPER (1973), EL-DASH (1982), SMITH (1975a, 1975b e 1976).

ADOLPHSAN e HORAN (1976), RAKOSKY (1970) e HORAN (1974) revisaram aspectos técnicos, custos, impacto no consumidor, particularmente com relação aos análogos de carne.

2.3.3. Efeito da extrusão no valor nutricional da proteína

Os trabalhos sobre avaliação nutricional da proteína texturizada envolvem principalmente o estudo da proteína de soja.

O processo de extrusão termoplástica tem sido reconhecido como um sistema efetivo para destruir fatores antinutricionais e melhorar o PER das proteínas da soja.

KINSELLA (1978) afirma que, embora o calor envolvido neste processo melhore o valor nutricional devido à destruição de fatores antinutricionais e devido ao aumento da digestibilidade, o calor excessivo pode destruir alguns aminoácidos essenciais. O valor do processo de extrusão pa-

ra remover fatores antinutricionais, inativar enzimas e para manter boa estabilidade e bom sabor na armazenagem, mantendo ao mesmo tempo as propriedades nutricionais da farinha de soja integral, foi pesquisado por MUSTAKAS *et alii* (1970). Valores altos de PER como 2,8 (caseína 3,3) foram alcançados com 89% de inativação do fator antitriptico. A disponibilidade de lisina nas farinhas extrudadas, expressa como percentagem da proteína, variou de 6,1 a 6,4%, indicando alta disponibilidade da lisina total em relação à farinha de soja original (6,5%). A perda de tiamina foi mínima comparando-se o valor de 0,85mg/100g na farinha extrudada com 1,07mg/g na soja original.

AGUILERA (1976) relatou que temperaturas de extrusão de 120 a 150°C com umidade inicial da farinha entre 25 e 40% eram efetivas para reduzir a atividade do fator antitriptico da soja abaixo dos níveis desejados.

CHEFTEL *et alii* (1976) relataram que não havia destruição de aminoácidos durante a extrusão de proteína de girassol a 210°C. SAUTIER & CAMUS (1976) relataram que a extrusão a 100°C de soja e girassol melhorou a proteólise "in vitro" de 15 a 26% quando a umidade variava de 30 a 60%, respectivamente. Estes autores verificaram que o uso de várias misturas de "TVP" numa proporção de até 65% do total de proteína da dieta não provocou efeitos adversos no balanço de N, Na e K em seres humanos.

KIES & FOX (1971) verificaram que carne, proteína texturizada de soja e proteína texturizada de soja suplementada com 1% de metionina apresentavam valores de PER de 2,4, 2,1 e 2,8, respectivamente.

Em estudos com bebês, KIES & FOX (1971) verificaram que não havia diferença significativa entre o valor da proteína de leite e da proteína de soja texturizada quando alimentados numa taxa de proteína de 2g/kg de peso corporal por dia.

Conforme GUTCHO (1973), enquanto seres humanos alimentados com carne apresentavam digestibilidade de 89,5, valor biológico 43,6 e NPU de 39,3, outro grupo alimentado com proteína de soja texturizada apresentava os valores de 87,7, 35,7 e 30,9, respectivamente.

Os trabalhos de KIES & FOX, de 1971 e 1973, revelaram que o balanço de nitrogênio, a hemoglobina e valor do hematócrito de seres humanos submetidos à proteína de soja texturizada ou carne eram semelhantes em ambos os grupos. Os níveis de ferro e cálcio também foram mantidos nos dois grupos.

Com relação às vitaminas e minerais, GUTCHO (1971) e HORAN (1974) afirmam que quando a soja constitui significativa percentagem da proteína da dieta (10% proteína), precauções devem ser tomadas para o fornecimento apropriado destes elementos. De acordo com BORENSTEIN (1975), os tempos e as temperaturas requeridos para texturizar não causam significativa degradação das vitaminas lábeis, embora a destruição de B₁ varie de 10 a 80% quando as temperaturas variam de 170 a 220°C, respectivamente. O autor afirma ainda que a destruição das vitaminas termolábeis não depende só do tempo e temperatura, mas também dos níveis de umidade durante a extrusão. Segundo RACKIS (1974), de um modo geral as quantidades de minerais da proteína texturizada são significativas; no entanto, a disponibilidade pode variar e o zinco pode se tornar não disponível por se ligar ao ácido fítico.

2.3.4. Alterações microestruturais provocadas pela extrusão

STANLEY & TUNG (1976) escolheram o termo microestrutura para designar a complexa organização dos componentes químicos sob a influência de forças físicas internas e externas, uma vez que esta organização só se torna visível através de instrumentos de aumento. A observação da microestrutura e as mudanças desta, em face às alterações de composição ou às for

ças físicas, podem revelar parâmetros diretamente relacionados com a textura e é a microestrutura que realmente determina as características sensoriais e mecânicas dos alimentos.

A revisão bibliográfica sobre extrusão de farinhas protéicas indica que parte das pesquisas estão orientadas no sentido de esclarecer as reações químicas que ocorrem durante a extrusão e relacioná-las com a alteração microscópica e com a textura do produto final.

TARANTO *et alii* (1978) afirmam que o exame através do microscópio eletrônico de varredura (M.E.V.) e microscópio eletrônico de transmissão (M.E.T.) tem sido útil para documentar diferenças morfológicas e correlacionar distribuição de proteína e carboidrato com a integridade e textura dos produtos texturizados.

CUMMING *et alii* (1972), usando o M.E.V. e M.E.T. demonstraram a utilidade destas técnicas para analisar a estrutura da proteína texturizada de soja. Os autores sugeriram que, durante a extrusão, os corpos protéicos eram transformados em estruturas orientadas, fibrosas e contínuas.

AGUILERA *et alii* (1976), usando a técnica de M.E.V., seguiram a texturização da farinha de soja nas diversas seções do extrusor "Wenger" X-5. Os autores concluíram que só depois de passar por todas as fases de extrusão é que o produto se tornava texturizado e, portanto, apenas o efeito combinado do cisalhamento, calor e queda de pressão era responsável pela texturização.

Segundo SMITH (1975b e 1976) a membrana que envolve individualmente o corpo protéico é rompida durante a extrusão termoplástica, permitindo que as proteínas escoem juntas, formando pequenos canais. As proteínas são então desenroladas e estes "fios" são estirados de tal forma que

são transformados em "fitas". O movimento helicoidal provocado pelo parafuso do extrusor faz com que estas fitas se depositem tangencialmente uma sobre as outras, as quais emergem no final da matriz em camadas de fibras como em um músculo.

MAURICE *et alii* (1976), usando M.E.V., demonstraram que o aumento da temperatura de extrusão produzia fibras alinhadas e estrutura porosa; posteriormente, MAURICE & STANLEY (1978) demonstraram que a natureza linear das proteínas desenroladas causava substancial alinhamento, criando su perfícies planas que podiam ser observadas no M.E.V. .

HAYES *et alii* (1975), com base em estudos microscópicos, des creveram a estrutura dos extrudados de soja como uma matriz protéico-fibrosa envolvida por uma rede de carboidratos solúveis; no entanto, foto micro gra fias de SMITH e CROCCO (1975) mostravam o extrudado de soja como camadas aleatorizadas de proteínas e carboidrato.

Trabalhos de CEGLA *et alii* (1978) e de TARANTO *et alii* (1978) mostraram que o processo de extrusão não formava fibras, mas realmen te criava uma matriz protéica laminar com carboidratos insolúveis dispersos através desta. Tais estudos demonstraram que a uniformidade da matriz protéica pode estar correlacionada com as propriedades reológicas do produto extrudado.

RANSEN & CLARK (1978) observaram que o aquecimento e cisalhamento da farinha de soja (33 a 45% de umidade) provocavam o desenrolamento da proteína através de interrupções das ligações iônicas, dissulfídicas e pontes de hidrogênio da estrutura terciária nativa e que estas longas cadeias desenroladas alinhavam-se conforme as correntes do fluxo até a matriz. HARPER (1979) concluiu que o fluxo era necessário para manter o alinhamento das moléculas de proteína e que a crescente temperatura de 140°C

a 160°C provocava formação de ligações químicas cruzadas que mantinham a estrutura de fibras em camadas, que simulavam carne. Embora a proteína de soja texturizada tenha sido produzida desde 1960, as reações químicas que ocorrem dentro do extrusor e que afetam as características do extrudado são praticamente desconhecidas.

BURGESS & STANLEY (1976) sugeriram que as ligações cruzadas entre as cadeias de proteínas poderiam ocorrer através de ligações com amido, entre grupos carboxilos livres deste e grupos aminos laterais das cadeias de proteínas. No entanto, o processo envolveria principalmente ligações peptídicas intermoleculares, embora pudessem também ocorrer interações hidrofóbicas, ligações de hidrogênio e dissulfídicas.

Os trabalhos de solubilidade direcionados a identificar as forças de ligação responsáveis pelas características de textura e microestrutura dos extrudados tem levado a conclusões bastante variadas. Enquanto pesquisadores (RHEE *et alii*, 1981; JEUNINK & CHEFTEL, 1979) têm relatado 100% de solubilidade em solução contendo 1% de dodecil sulfato de sódio (SDS) e 1% de 2-mercaptoetanol (ME), uma mistura dissolvente onde são rompidas todas as forças estabilizadoras, exceto ligações covalentes não dissulfídicas, outros pesquisadores (BURGESS & STANLEY, 1976; SIMONSKY & STANLEY, 1982) têm relatado que a uréia, SDS e ME têm sido totalmente inefetivos em romper as forças de ligação na soja texturizada. Estes autores advogam que as ligações peptídicas são de importância, enquanto os primeiros reduzem a importância destas nos produtos texturizados.

Trabalho recente de SHEARD *et alii* (1984) indica que os produtos extrudados são principalmente estabilizados por pontes dissulfídicas e por interações hidrofóbicas, envolvendo os carboidratos.

2.3.5. Efeito das variáveis do processo de extrusão nas propriedades funcionais dos produtos texturizados

De acordo com EL-DASH (1982), o controle do processo de extrusão é fundamental não apenas por permitir a obtenção de produtos com várias características tecnológicas, mas também por melhorar a eficiência e a economia da operação. O controle da extrusão é complicado, uma vez que numerosas variáveis estão envolvidas no processo, e a influência da maioria delas não está totalmente esclarecida. Um outro fator a acrescentar é a complexa natureza dos sistemas alimentícios, nos quais várias alterações químicas e físicas ocorrem simultaneamente durante o processo de extrusão.

De acordo com SMITH (1975a), as propriedades funcionais dos extrudados podem ser controladas através da seleção de ingredientes e aditivos, controle de pH, seleção e arranjo dos dispositivos do extrusor e controle das variáveis de processo. Segundo HARPER (1986), a temperatura e o tempo de residência têm profundo efeito nas características da massa que atinge a matriz. Diversos métodos têm sido pesquisados para controlar o cisalhamento e a pressão durante a extrusão. Eles incluem alteração da umidade e da temperatura. A farinha com baixa umidade requer maior energia mecânica para fluir. A alta energia mecânica resulta em temperaturas mais altas que causam maiores alterações nas macromoléculas. Variando a temperatura da camisa controla-se o deslizamento na parede interna do extrusor. Baixa temperatura na camisa reduz o deslizamento, aumenta o cisalhamento e exige maior torque do motor para manter o fluxo. O aumento da velocidade do parafuso também aumenta a taxa de cisalhamento do produto.

Conforme HOLAY & HARPER (1982), a alta taxa de cisalhamento na matriz, que é função da taxa de massa, da densidade do material e do raio da matriz, está relacionada com a textura do produto final. Taxa de

cisalhamento excessiva na matriz provoca textura mais fraca devido à ruptura das moléculas protéicas.

Um número limitado de pesquisa, geralmente abordando a soja, tem sido publicado com o objetivo de estudar o efeito das variáveis do processo de extrusão nas propriedades da proteína vegetal extrudada. A avaliação das características dos extrudados tem sido feita de um modo geral, em função das propriedades reológicas, fotomicrografias, níveis de absorção de água, índice de solubilidade de nitrogênio, integridade durante a cocção, etc.

MAURICE *et alii* (1976) avaliaram três métodos mecânicos e dois sensoriais com respeito à habilidade destes em medir a textura da farinha de soja extrudada a várias temperaturas. Os instrumentos utilizados foram o "Instron Universal Testing Machine" (IUTM), "Kramer Shear Press" (KSP) e "Warner Bratzler" (WB). Os autores verificaram que todos os instrumentos tinham alta correlação com os métodos sensoriais e também com as temperaturas de extrusão. As fotomicrografias obtidas através do M.E.V. mostraram que a temperatura afetava fortemente a microestrutura do produto e que as respostas das análises reológicas pareciam refletir estas alterações. No entanto, alertam os autores que estes equipamentos podem não estar medindo as mesmas propriedades, mas que estas propriedades variam do mesmo modo com as mudanças de temperatura. Foi verificado também, através do KSP, que a força e trabalho de cisalhamento e a densidade do produto eram afetadas sensivelmente pelo aumento da temperatura de processo, apresentando um aumento no primeiro caso e decréscimo nos dois últimos. As fotomicrografias revelaram claramente as alterações físicas ocorridas durante o processamento e indicaram que a máxima texturização ocorria ao redor de 180°C.

Em 1972, CUMMING *et alii*, usando o extrusor "Brabender" de laboratório, investigaram o efeito da temperatura de extrusão (111 a 192°C)

na densidade, absorção de água a 98°C, textura (avaliada através do WB e KSP) e na microestrutura (avaliada através do M.E.V. e M.E.T.) da soja extrudada. Os valores obtidos para a densidade, absorção de água a 98°C e força de cisalhamento variaram de 1,0 a 1,5g/cm³, 60 a 150% e de 2,0 a 4,0kgf/g, respectivamente.

A mudança de uma variável de processo, enquanto outras ficam constantes, não dá idéia das interações entre as variáveis, a menos que um grande número de combinações seja examinado. A solução para este problema é pesquisar fatores múltiplos através de um delineamento estatístico, juntamente com a metodologia de superfície de respostas para minimizar os tratamentos (KISSELL, 1967).

Estes métodos foram usados com sucesso em extrusão de amido de milho (LAWTON *et alii*, 1972), triticales (LORENZ *et alii*, 1974), farinha de semente de algodão (TARANTO *et alii*, 1975), pastas de amido e açúcar (OLKKU e VAINIONPÄÄ, 1980) e farinha de soja integral (MUSTAKAS *et alii*, 1970), farinha de soja desengordurada (MAURICE & STANLEY, 1978; FRASIER *et alii*, 1983) e cereais por EL-DASH (1982).

Aplicando a metodologia de superfície de resposta TARANTO *et alii* (1975) estudaram os parâmetros que interferem na produção e nas características da farinha de algodão desengordurada texturizada. As variáveis independentes estudadas foram taxa de alimentação, velocidade de rotação do parafuso e temperatura de extrusão. A avaliação foi feita através da densidade, absorção de água (a 4, 25 e a 100°C), textura e pelo grau de desintegração após autoclavagem. Os autores verificaram que na extrusão à baixa temperatura e baixa rotação, o extrudado está subcozido, rígido, muito denso (0,50g/cm³) e, portanto, pouca água (100-200%) é absorvida na hidratação e a extrusão em temperaturas maiores apresentava produtos mais esponjosos, menos densos (0,20g/cm³) e com maior absorção de água (400 a 500%).

Foi observado ainda que, quanto maior a rotação (650 a 900rpm) maior era a tensão de cisalhamento determinada através do WB e que existia uma interação positiva da rotação com a temperatura quando esta variava de 121°C a 135°C e negativa para a faixa de 135 a 149°C, o que indicava que em condições mais drásticas, em termos de energia, havia ruptura do produto.

AGUILERA & KOSIKOWSKI (1976) estudaram três variáveis independentes (temperatura de processo, umidade da farinha e velocidade de rotação da rosca) em três níveis de variação durante a extrusão de soja. Estes efeitos foram avaliados através da absorção de água, inibição do fator antitriptico e força de cisalhamento do produto avaliada através do WB. Os autores verificaram que em baixa umidade ocorre alta redução do fator antitriptico, alta absorção de água a 25°C (2,4g de água/g de matéria seca) e que os valores do WB eram independentes da temperatura de processo quando a rotação da rosca era alta, ao redor de 900rpm. Concluíram que em condições em que a temperatura e a umidade tivessem que ser constantes, somente a alteração da velocidade do parafuso poderia produzir características desejadas no produto.

MAURICE & STANLEY, em 1978, aplicaram um delineamento de 4 variáveis independentes, temperatura da matriz, velocidade de rotação do parafuso umidade e percentagem de proteína da farinha. A avaliação foi feita através da pressão, torque, produção, umidade final do produto, textura e microestrutura. Os autores concluíram que o nível de proteína era responsável por 77% da variação da textura. Observaram que quanto maior o teor de proteína e temperatura, maiores eram os valores para textura, sendo que o efeito da temperatura era linear, enquanto do teor de proteína, o efeito era linear e quadrático. As fotomicrografias obtidas através do M.E.V. revelaram que o aumento do teor de proteína provocava melhor orientação das fibras. O aumento do teor de proteínas também apresentou significativo efei

to positivo na textura, avaliado no WB. Os autores concluíram que era possível produzir material texturizado de soja com características específicas de textura, através da regulação apropriada das variáveis de processo e composição da matéria-prima e, embora os valores em si fossem específicos para o equipamento em experimento, as superfícies de resposta obtidas poderiam ser aplicadas em outros equipamentos de extrusão.

FRASIER *et alii* (1983) deram prosseguimento a esta linha de pesquisa. Usando a metodologia de superfície de resposta estudaram o efeito da temperatura nas duas zonas do parafuso, temperatura e diâmetro da matriz, taxa de compressão, velocidade do parafuso e a umidade da farinha de soja, em 5 níveis de variação em cada caso. A avaliação final foi feita através da taxa de expansão, avaliação instrumental (OTMS e WB) da textura, absorção de água e avaliação subjetiva da integridade após autoclavagem e estabilidade de extrusão. Os autores verificaram que a célula "Wire Extrusion" do OTMS fornecia a melhor escala numérica para a textura e que tinha alta correlação com a avaliação sensorial. Alta taxa de compressão, alta temperatura da 2ª zona do parafuso e baixa temperatura da matriz favoreciam a boa textura, com força média máxima maior que 22kgf. O efeito positivo da queda de temperatura entre o parafuso e a matriz era particularmente significativo. Verificaram que a ótima taxa de expansão ocorria sob diversas condições, possibilitando assim obter diversos níveis de expansão para uma dada textura. A textura foi inferior quando matrizes com valores extremos de diâmetros foram utilizadas e o efeito da velocidade de rotação do parafuso e da umidade foi bastante complexo. O entendimento destas sutis interações forneceria meios para o fino ajuste da melhor textura ou expansão durante o processamento.

Em 1984, PHAM & ROSARIO avaliaram o efeito da temperatura, umidade, rotação da rosca e pH em 3 níveis de variação nas propriedades de fa-

30

rinhas protéicas de feijão mungo, soja e caupi. O extrusor utilizado foi o "Bonnot Model" 21/4 e avaliação da qualidade foi feita através da absorção de água e índice de solubilidade do nitrogênio (ISN). O índice de solubilidade do nitrogênio e a absorção da água (25°C) variaram de 8 a 20 e de 195 a 303%, respectivamente, conforme matéria-prima e condições de processamento. Os autores verificaram que sob altas temperaturas de processo e baixa umidade o aumento da rotação provocava decréscimo do ISN e que a absorção de água crescia com o pH, velocidade do parafuso, temperatura de processo e com o decréscimo da umidade para produtos com alto teor de proteína, enquanto para as farinhas de baixo teor de proteína e altos teores de umidade, havia decréscimo da absorção de água.

Na literatura encontrou-se apenas 2 citações sobre texturização de tremoço, nenhuma a respeito de tremoço doce. LAT (1979) indicou que o tremoço apresentava dificuldades de processo durante a extrusão termoplástica e que produtos texturizados não foram obtidos. Informes de 1982 do PADT - Alimentos Bolívia apresentam estudos sobre texturização de tremoço amargo *L. mutabilis*. As pesquisas foram realizadas no "Wenger X-25" ao nível de planta piloto no extrusor "Bonnot" e em escala de laboratório, no "Brabender". No caso do "Brabender", os pesquisadores variaram a velocidade do parafuso, a temperatura de extrusão e umidade da farinha. Quando trabalharam com farinha desengordurada e desamargada verificaram que as amostras tanto ao nível de planta piloto quanto de laboratório não texturizavam e se desintegravam ao simples contacto com água fria, provavelmente devido às alterações ocorridas com a proteína durante o processo de retirada de alcalóides. Quando trabalharam com a farinha amarga desengordurada, verificaram que o produto mantinha certa integridade em contacto com água fria e concluíram que para obtenção de texturas mais firmes, umidades maiores que 20% e temperaturas de 185°C deveriam ser utilizadas. Embora não pudessem comprovar

tal fato devido as dificuldades em umidificar a farinha acima de 20%, os pesquisadores acreditam num melhoramento da integridade do produto obtido a partir de umidade acima de 25%.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. MATERIAL

3.1.1. Matéria-prima

Utilizou-se tremçoço doce da espécie *Lupinus albus* L. cultivar Precoz Original, de origem chilena, proveniente do Centro de Pesquisa da EMBRAPA - Passo Fundo, RS, safra de 1984. Os grãos com 11,4% de umidade foram fumigados com fosfina e após 48 horas foram armazenados em latas de 100ℓ e mantidos à temperatura ambiente.

3.1.2. Reagentes

Os reagentes usados nas análises da matéria-prima e produtos foram com o grau de pureza exigido pelos métodos analíticos.

3.1.3. Equipamentos e aparelhos

- . Agitador de Tubos com Rotação Vertical de 360º- PHOENIX mod. MS 22.
- . Balança Analítica - SAUTER mod. 414
- . Balança Semi-Analítica - METTLER - mod. P1210
- . Banho-maria com controle de temperatura - ÉTICA - mod. 3144
- . Câmara de estocagem 40C
- . Centrífuga - FANEM - mod. 204-NR
- . Destilador para análise de proteína - TECNAL

- . Digestor de Proteína - TECHNICON - mod. BD-40
- . Estufa com circulação forçada de ar - FANEN - mod.320/1c 330
- . Estufa a vácuo - FANEN - mod. 414
- . Extrator e Digestor de Fibras - FANEN
- . Extrusor de Laboratório - com Alimentador Vertical BRABENDER mod. ONF 1014/2
- . Extrator de Gordura - Tipo SOXHLET AÇO INOX - Capacidade 10kg
- . Instron Universal Testing Machine - mod. 1130
- . Laminador de Rolos de Superfície Rugosa
- . Mesa de Separação Gravimétrica BLASI - mod. GS-500
- . Misturador tipo planetária - BRABENDER - P600 - mod. 826801
- . Microscópio Eletrônico de Varredura - JEOL - mod. 25511
- . Moinho de Disco - D'ANDREA - Tipo 1
- . Moinho de Facas Paralelas - RENARD - mod. MFC 180501
- . Moinho de Rolos - BRABENDER - mod. Quadrumat Senior
- . Mufla FORLABO
- . Potenciômetro - METROHN HERISAU - mod. E 516

3.2. MÉTODOS ANALÍTICOS

3.2.1. Amostragem dos grãos do tremoço

Uma quantidade inicial de 25kg de grãos foi homogeneizada e dividida por passagens sucessivas em um divisor cônico tipo Boener, até a obtenção de duas frações de aproximadamente 1,5kg cada.

3.2.2. Densidade aparente dos grãos

A densidade aparente das frações, obtidas conforme item 3.2.1.,

foi determinada em balança hectolétrica com 3 determinações para cada fração.

3.2.3. Peso e dimensão do grão

Foram tomadas 5 amostras de 10 grãos. Determinou-se o peso de cada amostra e através de um paquímetro mediu-se o comprimento, largura e espessura do grão.

3.2.4. Constituição do grão

Foi feita a dissecação em 10 amostras de 20 grãos. Através de uma lâmina os grãos foram divididos em casca, cotilédone e embrião. As partes separadas foram pesadas e as percentagens calculadas em relação ao peso total.

3.2.5. Umidade

A umidade foi determinada segundo método Bc-2-49 da AOCS (1979).

3.2.6. Proteína bruta

Para a determinação do nitrogênio total, utilizou-se o método semimicro KJELDAHL descrito por PEARSON (1973). O conteúdo de proteína foi calculado usando-se o fator 6,25.

3.2.7. Lipídios

O método empregado para a determinação dos lipídios foi descrito por BLIGH & DYER (1959).

3.2.8. Fibra bruta

O teor da fibra bruta foi determinado pelo método descrito por VAN SOEST (1973).

3.2.9. Cinzas

A determinação das cinzas foi feita através de calcinação a 600°C, conforme método Ba-5-45 da AOCs (1979).

3.2.10. pH

Os valores de pH das farinhas antes e depois da extrusão foram determinados segundo o método 02-52 da AACC (1976) através do uso de potenciômetro à temperatura ambiente (25°C).

3.2.11. Alcalóides

O método utilizado para determinar o teor de alcalóides foi uma modificação do método de VAN BAER (1979), descrito em PADT Alimentos Boliívia (1982).

3.2.12. Granulometria

A granulometria de farinha de tremoço foi determinada pelo peneirador vibratório "Produtest", com peneiras de telas com abertura de 590, 420, 297, 210, 149 e 105 μ . Amostras de 100g foram colocadas na parte superior do aparelho e submetidas à vibração por 15 minutos com reostato na posição 5. A distribuição do tamanho e partícula foi expressa como a porcentagem de material retido em cada peneira.

3.2.13. Absorção de água dos produtos texturizados

Cinco gramas de texturizados retidos entre peneiras de 4,76 e 2,00mm de abertura foram colocados em saquinhos de tela de nylon com abertura de 1mm, previamente tarados. Os saquinhos foram colocados em becker de 250ml, contendo 150ml de água destilada. Após determinados intervalos de tempo, os saquinhos foram drenados por 10 segundos e pesados em balança semi-

-analítica. O período de avaliação foi de 3,5h a 40°C; 3,0h à temperatura ambiente (25°C) e 1,5h à temperatura de ebulição da água (98°C). Os intervalos de pesagem foram mais próximos quanto maior a taxa de absorção de água, variando desde 1 minuto a 98°C até 20 minutos no final do período de absorção a 40°C. Os testes foram feitos em duplicata e os resultados expressos em gramas de água absorvida por gramas de matéria seca.

3.2.14. Densidade aparente

A determinação da densidade aparente foi feita no material texturizado, triturado e com granulometria padronizada entre as peneiras com abertura de 4,76 a 2,00mm.

Uma proveta de 500ml foi preenchida com o material texturizado e fixada no vibrador "Produtest" com auxílio de uma tampa de borracha. A frequência da vibração foi padronizada com o reostato na posição 5. Após 10 segundos de vibração completava-se o volume de 500ml com mais material extrudado, que era novamente submetido à vibração. Após o terceiro período de vibração o volume era completado a 500ml e a massa do material, dividida pelo volume de 500ml.

3.2.15. Absorção de água da farinha

A absorção de água da farinha desengordurada antes da extrusão foi determinada de acordo com o procedimento de SOSULSKI (1962), exceto quanto ao tamanho da amostra, que foi reduzido para 4g (base seca). A amostra foi suspensa em 30ml de água destilada em tubos de centrífuga com auxílio de bastão. A suspensão foi mantida em repouso por 10 minutos a 25°C antes de ser submetida a agitação intermitente por 70 minutos. Após a agitação, a suspensão foi centrifugada a 1600g por 25 minutos. O sobrenadante foi cuidadosamente separado. O resíduo do tubo, após secagem em estufa a 50°C por 25 minutos, foi pesado para cálculo do índice de absorção de água (IAA),

segundo fórmula abaixo:

$$IAA = \frac{\text{Peso do resíduo de centrifugação (g)}}{\text{Peso seco da amostra (g) - Peso seco do sobrenadante (g)}}$$

3.2.16. Solubilidade da farinha

A solubilidade em água das farinhas antes e após a extrusão foi determinada no sobrenadante de centrifugação do teste anterior (IAA), o qual foi transferido para placa de Petri previamente tarada e evaporado em estufa a 100°C com circulação forçada de ar, até peso constante. O índice de solubilidade foi expresso em gramas de sólidos solúveis por 100g de amostra na base seca.

3.2.17. Índice de nitrogênio solúvel

O índice de nitrogênio solúvel (INS) foi determinado conforme método Ba 11-65 da AOCs (1979). O sistema de agitação para extração de nitrogênio foi modificado. Utilizou-se o agitador "PHOENIX", onde um tubo de ensaio com rosca e tampa hermética, contendo a amostra dispersa, era mantido em rotação num plano vertical.

O valor do índice de nitrogênio solúvel (INS) foi calculado pela relação:

$$INS = \frac{\% \text{ nitrogênio solúvel}}{\% \text{ nitrogênio total}} \times 100$$

O nitrogênio total foi determinado conforme método descrito no item 3.2.6.

3.2.18. Absorção de gordura

Utilizou-se o método descrito por LIN & HUMBERT (1974). Adicionou-se 0,5g de amostra em 3,0ml de óleo de milho num tubo de centrífuga

graduado cônico de 15mℓ.

Foi feita a dispersão da amostra com auxílio de uma agulha. Após 30 minutos de repouso, a amostra foi centrifugada a 1610g por 25 minutos. A quantidade de óleo absorvida foi determinada pela diferença entre o volume do óleo adicionado e o volume do óleo sobrenadante após a centrifugação. A absorção de gordura foi expressa como a quantidade de óleo absorvida por 100g de amostra seca.

3.2.19. Grau de desintegração durante a autoclavagem

Amostras de 50g de produto texturizado de tremoço com granulometria entre 4,76 e 2,00mm foram colocadas dentro de sacos de tela de nylon com abertura de 2mm e enlatadas com 300mℓ de água destilada em latas 301x411. As latas foram autoclavadas a 1219C por 1 hora. Após o resfriamento, os saquinhos, antes de serem descartados, foram suspensos sobre as respectivas latas e lavados com água destilada. A seguir, o conteúdo da lata foi filtrado e o material retido (produto desintegrado) no papel de filtro foi seco em estufa a 1059C por 3 horas. O grau de desintegração durante a autoclavagem foi determinado, com base seca, como a percentagem do produto desintegrado em relação ao material inicial.

3.2.20. Avaliação instrumental da textura

Utilizou-se o método "Minnesota Texture Method" de BREENE & BARKER (1975).

A granulometria do material foi padronizada como a fração retida entre as peneiras de 4,76 e 2,00mm.

O material foi reidratado com água destilada a 19C na proporção de 1:3 e permaneceu à temperatura ambiente por 2 horas. A seguir, as

amostras foram drenadas e moídas em moedor elétrico de carne. As amostras foram então comprimidas e extrudadas através "INSTRON", utilizando-se a célula "Wire Extrusion" de 10cm² do "Ottawa Texture Measuring System". O enchimento manual da célula foi feito com suficiente pressão, de modo a se obter acomodação do material sem exceder seu limite de elasticidade e de tal forma que uma faca deslizando paralelamente à superfície retirasse o excesso de material. A carga de célula de compressão foi de 50kg. A velocidade da cabeça foi de 5,0cm/min e a da carta 10cm/min.

Fixou-se o controle do percurso do pistão de modo que este parasse a 0,5cm da grade do fundo da célula.

Os parâmetros da textura, mastigabilidade e força máxima média foram determinados a partir da curva força x distância obtida no "INSTRON". Utilizou-se a média de 3 repetições.

3.2.21. Avaliação da microestrutura

A avaliação baseou-se nas micrografias obtidas através de microscopia eletrônica da veredura. As amostras dos produtos texturizados foram desidratadas a vácuo e montadas sobre suportes metálicos. Pequena quantidade de cada amostra foi aspergida sobre fita adesiva dupla face e colocada sobre os citados suportes. Para conferir condutividade às amostras, estas foram recobertas com ouro em metalizador a vácuo (marca JEOL). As observações ao microscópio eletrônico de varredura (M.E.V.) foram efetuadas em aumentos de 35 e 1000 vezes e fotografias foram feitas nos melhores campos, usando-se filme branco e preto Kodak (tipo VP₂₀). Os filmes foram revelados e copiados segundo processos de rotina.

3.3. MÉTODOS EXPERIMENTAIS

3.1.1. Produção de farinha desengordurada de tremoço doce

A farinha desengordurada de tremoço doce (60kg) foi produzida em escala de planta piloto. Após sofrer ventilação para limpeza, os grãos foram descorticados em moinho de disco (abertura de 3,1mm) e os cotilédones, separados das cascas através da mesa de separação gravimétrica, foram moídos em moinhos de facas paralelas. Tal material foi transformado em flocos em laminador de rolos de superfície estriada e desengordurado em extrator de aço inox tipo Soxhlet com hexana (p.e. = 68 a 70°C) por 8 horas. O solvente foi evaporado em estufa com circulação forçada de ar a 40°C por 10 horas. A seguir, os flocos desengordurados passaram pela unidade de quebra do moinho de rolos Brabender experimental para trigo. O moinho possui 2 unidades de moagem com 4 rolos cada uma, utilizadas para quebra e redução. A farinha, com 5,9% de umidade, foi embalada em sacos plásticos e armazenada em tambores metálicos em câmara frigorífica a 4°C.

3.3.2. Testes de extrusão

3.3.2.1. Condicionamento da farinha

A umidificação das farinhas para o teste de extrusão foi realizada em 2 estágios devido ao alto gradiente de umidade inicial e final. A água foi adicionada lentamente por aspersão direta sobre a farinha em constante agitação (60rpm) no misturador "Planetary Brabender". A farinha umidificada foi coletada em sacos plásticos e estocada por uma noite a 5°C para maior uniformização da umidade. Duas horas antes da extrusão as amostras foram retiradas da geladeira para se equilibrarem com a temperatura ambiente. Foram feitos testes confirmativos da umidade anteriormente à extrusão.

3.3.2.2. Equipamento de extrusão

O processo de extrusão termoplástica foi conduzido no extrusor de laboratório Brabender 20 D/N (19mm), com a superfície interna do cilindro ranhurada, movido através do Brabender Do-Corder com motor D.C. de variação contínua de velocidade (0 a 350rpm). O aquecimento foi feito através de um sistema elétrico e o resfriamento por ar comprimido. Os registros e controles das temperaturas em cada uma das zonas da camisa e na região da matriz foram feitos independentemente por termopares. A região do parafuso onde se dá a alimentação foi resfriada com água fria, a fim de evitar a perda da umidade da farinha por aquecimento excessivo. Durante os testes, a velocidade do parafuso do alimentador foi ajustada conforme a umidade da farinha, de modo a se obter taxa de alimentação adequada, evitando compactação ou enchimento incompleto do extrusor.

3.3.2.3. Delineamento experimental

Um experimento estatisticamente delineado em superfície de resposta do tipo central rotatório composto de 2ª ordem (COCHRAN & COX, 1957) foi escolhido para examinar os efeitos combinados de 4 variáveis independentes do processo de extrusão: temperatura (T), umidade da farinha (U), velocidade do parafuso (R) e diâmetro da matriz (D). Cada variável foi examinada em 5 níveis igualmente espaçados e codificados como -2, -1, 0, +1, +2. O experimento foi composto de 31 testes de extrusão realizados de forma aleatória, 16 dos quais foram todas as combinações de +1 e -1; 8 variando entre +2 ou -2 em uma variável e os demais ao nível 0, formando o ponto central do delineamento. Os limites superior e inferior foram selecionados dentro do limite de estabilidade da extrusão. O **Quadro 4** apresenta os valores escolhidos para os níveis codificados das variáveis de processo. Os valores reais das variáveis utilizadas no delineamento experimental estão apresentados no **Quadro 5**.

QUADRO 4. Valores das variáveis para a análise das superfícies de respostas.

Variável	Código	Níveis de Variação				
		-2	-1	0	+1	+2
Umidade (%)	U	16	19	22	25	28
Temperatura na 2ª e 3ª zona (°C)	T	150	170	190	210	230
Diâmetro da matriz (mm)	D	3	4	5	6	7
Velocidade do parafuso (rpm)	R	50	75	100	125	150

As expressões gerais dos níveis codificados:

$$T = (T - 190)/20$$

$$U = (U - 22)/3$$

$$D = (D - 5)$$

$$R = (R - 100)/25$$

QUADRO 5. Condições operacionais de extrusão.

Tratamentos	Variáveis de extrusão			
	U (%)	T (°C)	D (mm)	R (rpm)
01	19	170	4	75
02	19	210	4	75
03	25	150	4	75
04	25	210	4	75
05	19	170	6	75
06	19	210	6	75
07	25	170	6	75
08	25	210	6	75
09	19	170	4	125
10	19	210	4	125
11	25	170	4	125
12	25	210	4	125
13	19	170	6	125
14	19	210	6	125
15	25	170	6	125
16	25	210	6	125
17	22	150	5	100
18	22	230	5	100
19	16	190	5	100
20	28	190	5	100
21	22	190	3	100
22	22	190	7	100
23	22	190	5	50
24	22	190	5	150
25	22	190	5	100
26	22	190	5	100
27	22	190	5	100
28	22	190	5	100
29	22	190	5	100
30	22	190	5	100
31	22	190	5	100

U = Umidade da farinha

T = Temperatura de extrusão

D = Diâmetro da matriz

R = Velocidade do parafuso

As demais variáveis foram fixadas da seguinte forma: temperatura da 1ª zona a 80°C, vazão do alimentador 78g/min e taxa de compressão do parafuso 1:2.

Para manter a taxa de alimentação constante independentemente da umidade da farinha, a rotação do alimentador empregada foi de 100, 95, 80, 70 e 65rpm para 28, 25, 22, 19 e 16% de umidade, respectivamente.

Em cada teste foram utilizados 700g de farinha. Os produtos extrudados e secos a 40°C por 12 horas foram lacrados em sacos plásticos e estocados a 4°C para os testes de avaliação de qualidade.

Todas as amostras foram avaliadas objetivamente quanto a: densidade, absorção de água a 4, 25 e 98°C, absorção de gordura, índice de nitrogênio solúvel, solubilidade da farinha, textura, grau de desintegração durante autoclavagem, torque do motor registrado durante o processo e microestrutura. A avaliação subjetiva da aparência do produto texturizado também foi realizada.

3.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS

Foi aplicada a metodologia de superfície de resposta (MSR) para a análise estatística dos resultados, segundo BOX & DRAPER (1987). Esta metodologia descreve a mudança da variável resposta em face a mudanças nas variáveis independentes.

Deste modo supõe-se que a variável resposta y depende de alguma forma das variáveis explicativas $x_1, x_2, x_3 \dots x_k$, e que, portanto, y poderia ser representado da seguinte forma: $y = f(x_1, x_2, x_3 \dots x_k)$.

A metodologia consiste em fazer uma análise de regressão ajustando-se ao conjunto de dados da variável resposta y , um polinômio completo de 2ª ordem nas variáveis explicativas (x 's).

Portanto cada avaliação do produto texturizado, dentro da região definida pelo nível de variação das variáveis independentes poderá ser escrita da seguinte forma:

$$y = B_0 + B_1 x_1 + B_2 x_2 + B_3 x_3 + B_4 x_4 + B_{11} x_1^2 + B_{22} x_2^2 + B_{33} x_3^2 + B_{44} x_4^2 + B_{12} x_1 x_2 + B_{13} x_1 x_3 + B_{14} x_1 x_4 + B_{23} x_2 x_3 + B_{24} x_2 x_4 + B_{34} x_3 x_4,$$

onde y é a função resposta, B é a constante, B_1, B_2, B_3, B_4 correspondem aos coeficientes dos efeitos lineares, $B_{11}, B_{12}, B_{13}, B_{14}, B_{22}, B_{23}, B_{24}, B_{33}, B_{34}$ e B_{44} aos coeficientes dos efeitos de 2ª ordem, e x_1, x_2, x_3 e x_4 representam o valor das variáveis independentes.

As variáveis independentes utilizadas neste estudo, aplicadas na forma codificada, foram a umidade da farinha (U), temperatura de extrusão (T), diâmetro da matriz (D) e a velocidade de rotação do parafuso (R).

A adequação da metodologia de superfície de resposta depende da aproximação de F pelo polinômio de 2ª ordem. A verificação desta aproximação foi feita utilizando-se os resultados da análise de regressão. Os modelos que apresentaram alta significância estatística ($p < 0,0001\%$) e coeficiente de determinação múltipla (R^2) maior que 0,70 foram considerados adequados para prever o comportamento e os valores da variável resposta dentro do intervalo de variação de U, T, D e R estudados. Modelos com alta significância, porém com valores de R^2 entre 0,50 e 0,70 foram considerados inadequados para predição de valores sendo utilizados apenas para prever a tendência do comportamento da variável resposta dentro do intervalo estudado.

Para o estudo da significância dos efeitos individuais foi observada a estatística t de Student em cada uma das estimativas dos coeficientes. Os termos que não foram significativos foram retirados do modelo, o que nos le

vou a um novo ajuste, utilizando-se apenas os termos que haviam sido significativos no ajuste final.

Assim sendo, a partir da equação da regressão linear, variando-se duas variáveis enquanto as demais ficam constantes, é possível graficar contornos de superfícies de resposta dentro do campo de trabalho escolhido.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. MATÉRIA-PRIMA

4.1.1. Características físicas e componentes estruturais do grão

O grão de tremoço doce da variedade *Lupinus albus* cultivar Precoz Original apresentou forma aproximadamente circular, tegumento de cor areia e cotilédone amarelo.

Os grãos com densidade de $0,78\text{g/cm}^3$ e peso médio de $0,41\text{g}$ apresentaram $1,11\text{cm}$ de comprimento, $1,04\text{cm}$ de largura e $0,49\text{cm}$ de espessura.

Os componentes estruturais do grão apresentaram as seguintes percentagens em peso: $2,41\%$ de embrião, $18,68\%$ de tegumento e $78,33\%$ de cotilédone.

4.1.2. Composição química

A composição química do grão integral, do cotilédone, do tegumento e da farinha desengordurada está apresentada no Quadro 6.

Verificou-se que para o grão integral, o teor de lipídios obtido, de $10,2$, está entre os valores de $13,1$ e $8,5\%$ encontrados por JUNGE (1973), HUDSON *et alii* (1976) e POMPEI & LUCISANO (1976). O teor de proteína, de $41,0\%$ devido ao maior valor do fator de conversão ($6,25$) utilizado neste caso, foi considerado dentro da faixa de variação de $35,4$ a $38,2\%$, en-

contrada por aqueles pesquisadores.

Os teores de cinza, de 4,0%, e de fibra, 21,8%, estão bem próximos dos respectivos 3,2 e 21,2%, encontrados por POMPEI & LUCISANO (1976).

QUADRO 6. Composição química de tremçoço doce (*Lupinus albus*) cv. Precoz Original.

Produto	(% base seca)				
	Proteína*	Lipídios	Fibras	Cinzas	Carboidratos**
grão integral	41,0	10,2	21,8	4,0	23,0
cotilédone	48,4	12,7	5,0	4,3	29,6
tegumento	3,9	1,3	62,9	2,2	29,7
farinha desengordurada	50,1	1,9	5,5	4,3	38,2

* Fator de conversão = 6,25

** Por diferença

Os resultados do Quadro 6 mostram o potencial nutricional desta leguminosa, que apresenta teor de proteína semelhante ao da soja e superior à maioria das leguminosas destinadas à alimentação humana. O alto teor de óleo apresentado por esta leguminosa indica a possibilidade da produção industrial de óleo de tremçoço doce, com produção paralela de torta de elevado teor de proteína (50,1%), potencialmente um subproduto de alto valor comercial.

Destaca-se ainda no Quadro 6 o alto teor de fibras do grão integral que, segundo BAYLEY *et alii* (1974), podem ter aplicações dietéticas por não apresentarem inibidores de crescimento.

A composição química da farinha desengordurada utilizada nos testes de extrusão está apresentada no Quadro 6. Observa-se que a retirada de integrantes em alta percentagem no grão, como a casca e o óleo, levou a um significativo aumento do teor protéico da farinha de tremçoço. O teor de

proteína (50,1%) e lipídios (1,90%) ficou próximo dos valores que têm sido especificados na legislação (BRASIL, 1981) para proteína texturizada de soja.

4.1.3. Alcalóides

O teor de alcalóides da farinha desengordurada de tremoço foi de 0,03%. Tal valor ficou abaixo do nível de 0,05 a 0,1% de alcalóides, considerado aceitável para ser consumido tanto por animais como para seres humanos (MANGOLD, 1982).

4.1.4. Granulometria da farinha desengordurada

A granulometria da farinha pode influir nas condições operacionais de extrusão, assim como nas características do produto texturizado. Farinha com alta percentagem de "finos" favorece a formação de grânulos durante a umidificação da farinha, provoca compactação desta no alimentador, resultando em produtos com baixa orientação de fibras, por sofrer menor cisalhamento durante a extrusão (HARPER, 1979). Por outro lado, partículas grandes ficam subcozidas, sendo que os melhores resultados foram encontrados quando 87% das partículas ficaram abaixo de 80 mesh (MUELENAERE & BUZZARD, 1969).

Com o objetivo de escolher a granulometria mais adequada para a farinha de tremoço, os flocos desengordurados foram moídos em moinho de rolo, de facas e de martelo. Os resultados obtidos estão no Quadro 7.

De acordo com o Quadro 7, verificou-se que a moagem no sistema de quebra do moinho de rolos foi a que apresentou maior percentagem de partículas, cerca de 70%, na faixa de 210 a 105 μ . Os demais processos apresentaram distribuição mais heterogênea e alta percentagem de partículas grandes.

QUADRO 7. Efeito do sistema de moagem na granulometria da farinhas desengordurada de tremoço.

Tamanho de partícula (μ)	Material retido ¹ (%)		
	Rolos (quebra)	Faca	Martelo
> 590	-	41	15
590-420	-	26	28
420-297	2	8	13
297-210	33	8	15
210-149	23	4	7
149-105	14	3	4
< 105	28	10	18

1 - média de 3 repetições

Com base nestes resultados, optou-se pelo moinho de rolos para a moagem dos flocos desengordurados de tremoço, por este sistema produzir material mais homogêneo e para evitar problemas de subcocção.

4.1.5. Propriedades funcionais da farinha desengordurada de tremoço

As condições de descascamento, moagem e extração de óleo interferem nas propriedades funcionais da farinha. Portanto, com o objetivo de complementar a caracterização da matéria-prima foram determinadas as propriedades funcionais da farinha desengordurada de tremoço, as quais estão apresentadas no Quadro 8.

Valores aproximados aos do Quadro 8 foram encontrados na literatura. SATHE *et alii* (1982) encontraram valores de 120 a 167% para a absorção de água e gordura, respectivamente. SOSULSKI *et alii* (1976), estudando propriedades funcionais de 10 leguminosas, encontraram para tremoço valores de 63,9 para índice de solubilidade de nitrogênio, de 172 a 186% para a absorção de água e de 124% para absorção de gordura, e concluíram que soja e o tremoço apresentavam excelentes propriedades de absorção de água e

gordura em relação às demais leguminosas.

QUADRO 8. Propriedades funcionais da farinha desengordurada de tremço do ce. *L. albus* cv. Precoz Original.

Propriedade funcional*	Valor
Índice de solubilidade de Nitrogênio	70,0
Índice de absorção de água	176
Absorção de Gordura (%)	157
Solubilidade em água (%)	40,8

*pH da solução = 6,5

4.2. EFEITO DAS VARIÁVEIS DO PROCESSO DE EXTRUSÃO NAS PROPRIEDADES FUNCIONAIS DOS PRODUTOS TEXTURIZADOS DE TREMOÇO DOCE

As combinações das diferentes condições de extrusão podem resultar em diversas alterações físico-químicas que poderão alterar as propriedades funcionais do produto. Assim é que o perfil do produto texturizado dado pelo conjunto de propriedades funcionais poderá ser usado como referência no desenvolvimento de novos produtos, restringindo o número de testes em grande escala.

4.2.1. Absorção de água

Produtos texturizados geralmente são reidratados previamente ao uso; portanto, o nível de absorção de água, o tempo e temperatura de hidratação são parâmetros importantes para sua adequada aplicação. Mesmo quando adicionados à mistura na forma desidratada, a capacidade de absorção de água deve ser conhecida para induzir ajustes necessários à formulação.

Os resultados obtidos para a absorção de água a 40°C, à temperatura ambiente (25°C) e em água à ebulição são apresentados a seguir.

4.2.1.1. Absorção de água a 40C

O comportamento dos produtos texturizados durante a hidratação a 40C foi estudado, uma vez que tais produtos têm larga aplicação na fabricação de produtos de carne, onde muitas vezes para evitar deterioração microbiana são reidratados e adicionados à formulação sob temperaturas de refrigeração.

A absorção de água (g de água/g de matéria seca), em função do tempo de hidratação, variou entre os valores mínimos e máximos apresentados na Figura 2, mas a tendência para todas as amostras foi semelhante, mostrando a absorção em 3 estágios distintos: estágio inicial, caracterizado por alta taxa de hidratação, estágio intermediário, com uma taxa menor e estágio final de estabilização, onde a absorção praticamente não se alterou com o tempo.

A absorção de água a 40C (valor máximo obtido no estágio de estabilização), em função das variáveis de extrusão estudadas, variou de 1,91 a 3,84g de água/g de matéria seca, conforme resultados apresentados no Quadro 9.

Através da análise de regressão destes resultados definiu-se o seguinte modelo para a absorção de água a 40C em função das variáveis de extrusão:

$$y = 3,28 + 0,42T - 0,16T^2 - 0,10U^2 - 0,07D^2 - 0,17TU - 0,12TD - 0,17UD$$

A análise de variância e a estimativa dos coeficientes de regressão estão apresentados no Quadro 10. Tais dados indicam que o modelo proposto é altamente significativo ($p = 0,00000$) e que U, T e D são variáveis significativas que explicam, segundo valor de R^2 , 88% da variação de Y. A equação foi, portanto, considerada um bom modelo e utilizada para

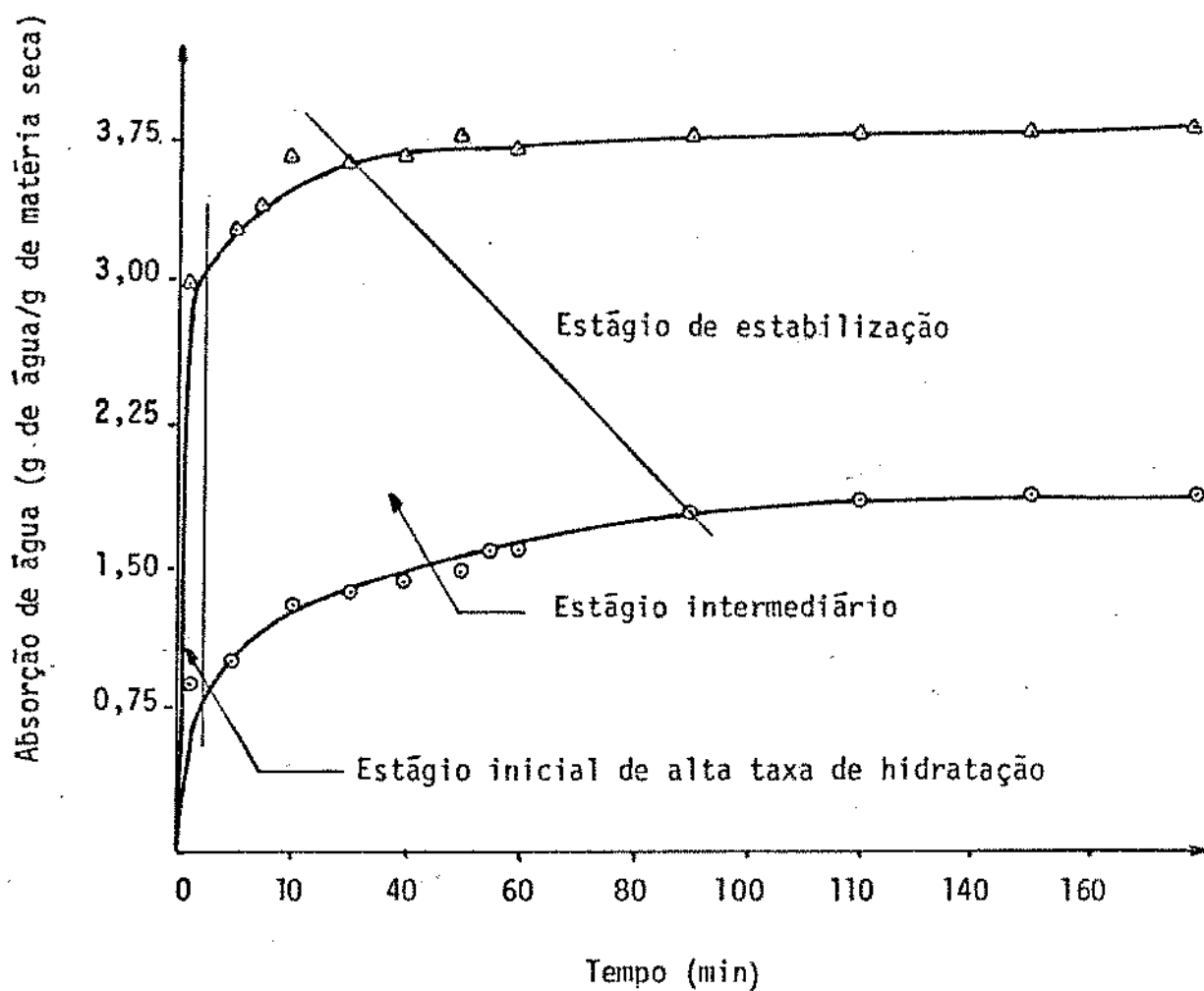


FIGURA 2. Curva de hidratação a 40°C de produtos texturizados de tremçoço sob diferentes condições de extrusão.

- Δ = Texturizado de máxima absorção: U = 19% T = 210°C D = 4mm R = 125rpm.
 ⊙ = Texturizado de mínima absorção: U = 25% T = 170°C D = 4mm R = 125rpm
 U = Umidade da farinha
 T = Temperatura de extrusão
 D = Diâmetro da matriz
 R = Velocidade do parafuso

QUADRO 9. Influência das variáveis do processo de extrusão na absorção de água a 40C de produtos texturizados de tremoço.

Tratamentos	Variáveis de extrusão				Absorção de água a 40C (g. de água/g. matéria seca)
	U (%)	T (9C)	D (mm)	R (rpm)	
01	19	170	4	75	2,24
02	19	210	4	75	3,76
03	25	170	4	75	2,16
04	25	210	4	75	-
05	19	170	6	75	2,60
06	19	210	6	75	3,24
07	25	170	6	75	3,22
08	25	210	6	75	3,12
09	19	170	4	125	2,37
10	19	210	4	125	3,84
11	25	170	4	125	1,91
12	25	210	4	125	3,39
13	19	170	6	125	2,18
14	19	210	6	125	3,57
15	25	170	6	125	3,09
16	25	210	6	125	3,15
17	22	150	5	100	2,08
18	22	230	5	100	3,27
19	16	190	5	100	2,58
20	28	190	5	100	3,23
21	22	190	3	100	3,22
22	22	190	7	100	2,87
23	22	190	5	50	3,21
24	22	190	5	150	3,36
25	22	190	5	100	3,31
26	22	190	5	100	3,28
27	22	190	5	100	3,44
28	22	190	5	100	3,33
29	22	190	5	100	3,30
30	22	190	5	100	3,16
31	22	190	5	100	3,22

U = Umidade da farinha

T = Temperatura de extrusão

D = Diâmetro da matriz

R = Velocidade do parafuso

QUADRO 10. Análise de variância e estimativa dos coeficientes da regressão para absorção de água a 40C (g de água/g de matéria seca).

Média das respostas	3,02
Desvio padrão	0,52
Coefficiente de variação	0,93
R ²	0,88

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	7	6,87	0,98	22,51	0,00000
Resíduos	22	0,96	0,04		
Total	29	7,83			

Variável	Estimativa do coeficiente	Prob > t
Intercepto	3,28	0,0000
T	0,42	0,0000
T ²	- 0,16	0,0004
U ²	- 0,10	0,0143
D ²	- 0,07	0,0923
TU	- 0,17	0,0053
TD	- 0,12	0,0008
UD	0,17	0,0053

GL= graus de liberdade
 SQ= soma dos quadrados
 QM= quadrado médio
 T = temperatura de extrusão
 D = diâmetro da matriz
 U = umidade da farinha

predizer a resposta dentro do intervalo estudado. Com esse objetivo foram traçadas as superfícies de resposta apresentadas na Figura 3, que permitem visualizar o efeito combinado da umidade, temperatura e diâmetro da matriz na absorção de água a 40°C do produto texturizado.

Através da Figura 3 verificou-se que diversas combinações de temperatura, umidade e diâmetro da matriz podem produzir extrudados com a mesma capacidade de absorção de água, possibilitando a otimização do processo de extrusão da farinha de tremoço na direção da redução do gasto energético e/ou aumento da produção, sem modificar as características de absorção de água do produto texturizado.

Observou-se que com matrizes de 3 a 5mm, para qualquer nível de umidade, à medida que a temperatura aumentou, a absorção de água a 40°C também aumentou. Observou-se ainda que o aumento da absorção foi mais significativo na direção de baixa umidade e alta temperatura. Por outro lado, verificou-se que para diâmetros maiores (6 a 7mm) o aumento da absorção se dá mais intensamente na direção de alta umidade e média temperatura.

O máximo valor de absorção de água, 4,87g de água/g de matéria seca, foi obtido com temperatura de 230°C, umidade de 16% e diâmetro da matriz de 3mm.

4.2.1.2. Absorção de água à temperatura ambiente

Como para muitas aplicações a reidratação do alimento é feita à temperatura ambiente, foi estudada a absorção de água do produto texturizado a 25°C.

A absorção de água (g de água/g de matéria seca) à temperatura ambiente, em função do tempo de hidratação, variou entre os valores mínimo e máximo, apresentados na Figura 4.

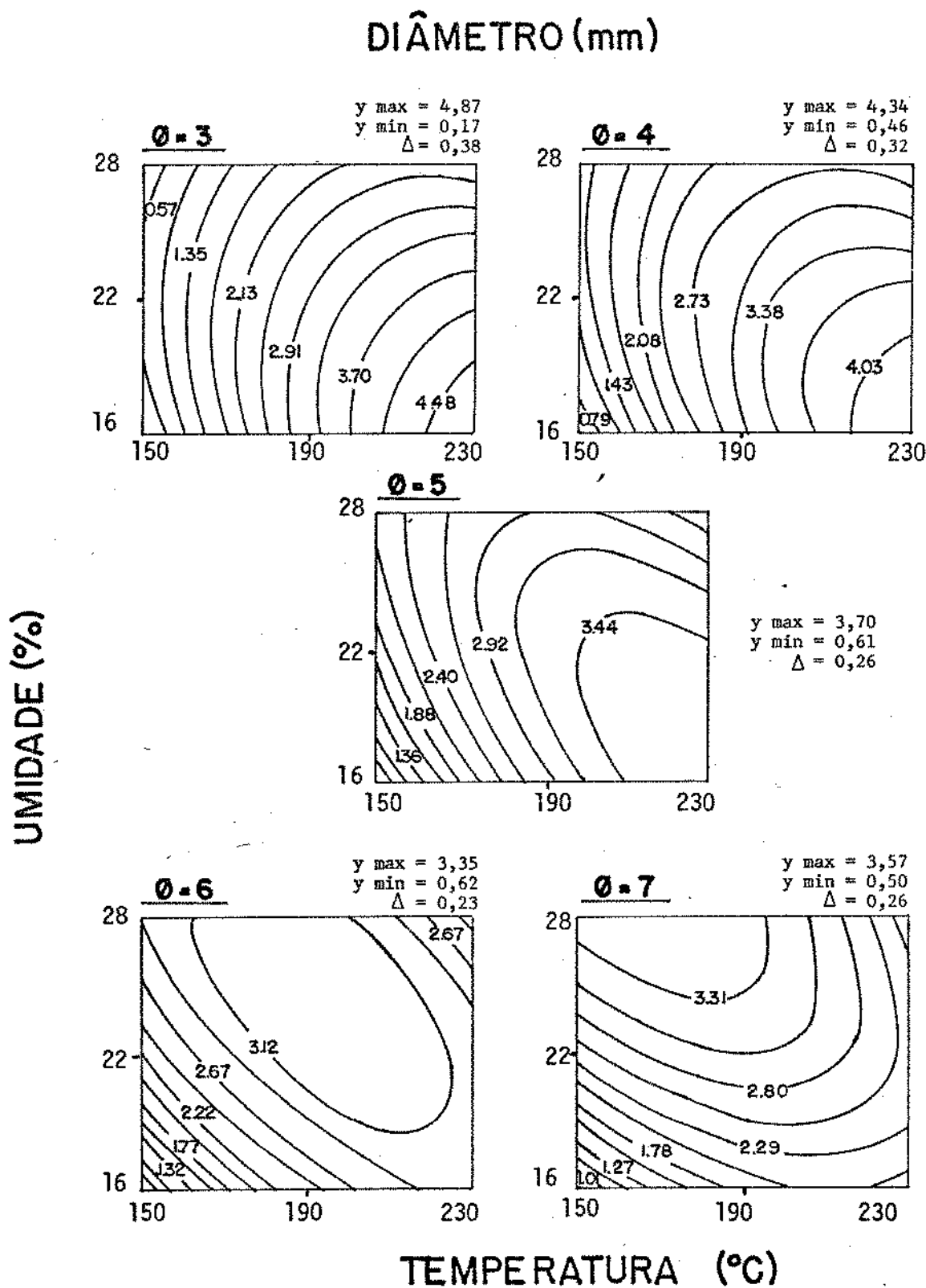


FIGURA 3. Efeito do diâmetro da matriz, da umidade da farinha e da temperatura de extrusão na absorção de água (g de água/g de matéria seca) a 40°C de produtos texturizados de tremçoço.

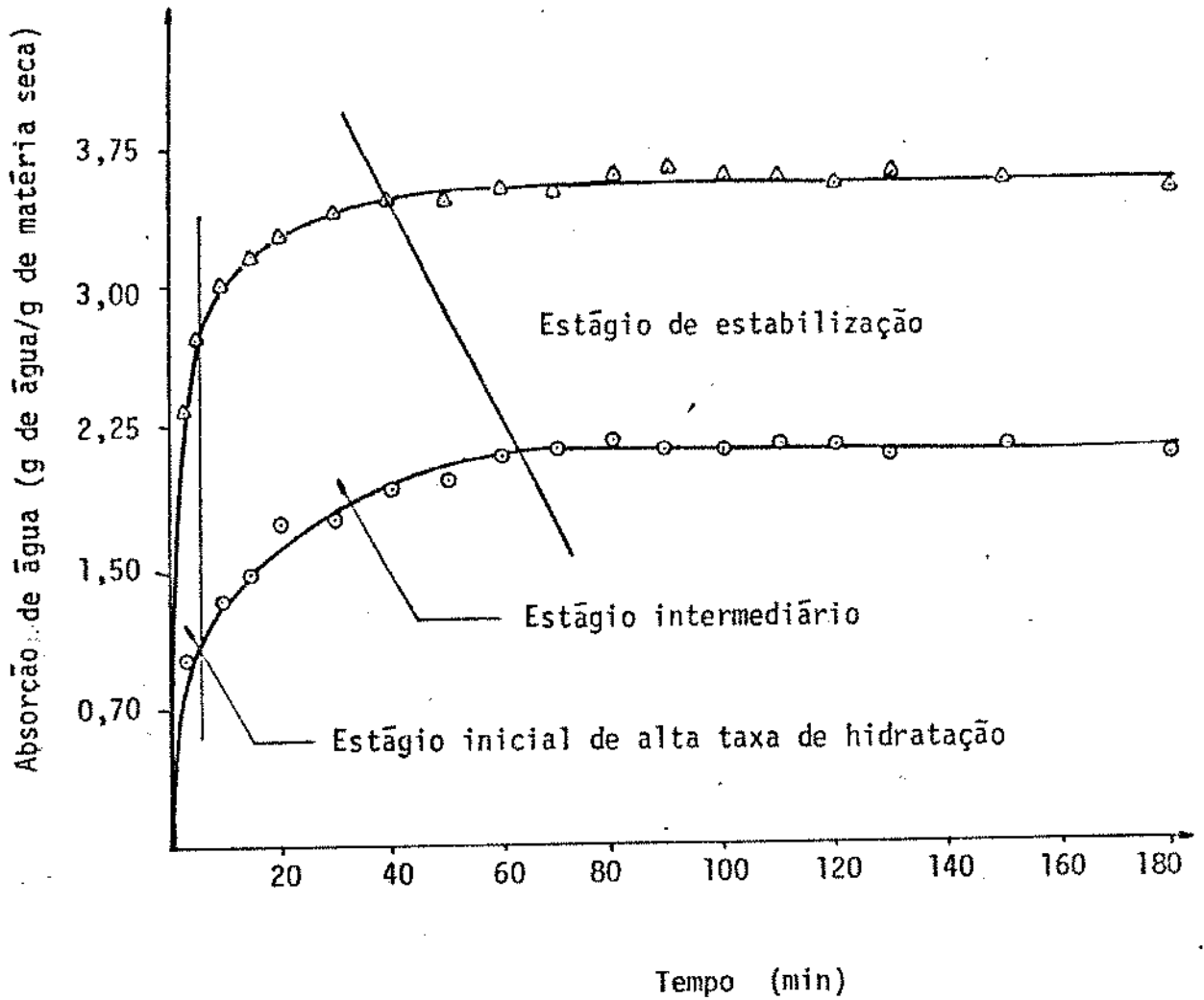


FIGURA 4. Curva de hidratação à temperatura ambiente (25°C) de produtos texturizados de tremço sob diferentes condições de extrusão.

○ = Texturizado de mínima absorção: U = 19% T = 170°C D = 6mm R = 125rpm
 △ = Texturizado de máxima absorção: U = 19% T = 210°C D = 6mm R = 125rpm
 U = Umidade da farinha
 T = Temperatura de extrusão
 D = Diâmetro da matriz
 R = Velocidade do parafuso

As curvas de hidratação apresentaram um comportamento semelhante ao observado a 40C, sendo que neste caso os texturizados de baixa absorção atingiram a estabilização em menor tempo, próximo dos 60 minutos de hidratação.

Os valores máximos obtidos nestas curvas foram designados como absorção de água à temperatura ambiente e apresentados no **Quadro 11**. A análise da variância e a estimativa dos coeficientes de regressão obtidos a partir destes resultados estão no **Quadro 12**.

A equação abaixo foi determinada como modelo para a absorção à temperatura ambiente.

$$Y = 2,92 + 0,29T - 0,18TU - 0,12TD + 0,14UD$$

Este modelo é altamente significativo ($p = 0,00005$) e explica 67% da variação de Y. Tal valor de R^2 (**Quadro 11**) indica que este modelo pode ser usado mais no sentido de estabelecer uma tendência da resposta do que predizer seu valor. Com esta finalidade foram determinadas as superfícies de resposta apresentadas na **Figura 5**.

Através da **Figura 5** verificou-se que a mesma absorção de água pode ser obtida em diversas condições operacionais.

Observou-se que a redução da temperatura de extrusão provocou uma redução da absorção de água à temperatura ambiente dos produtos texturizados. À medida que se aumentou o diâmetro da matriz surgiu um ponto de sela, onde esta relação foi invertida. Observou-se ainda que com o aumento do diâmetro da matriz, o ponto de inversão se deslocou para a região de menor umidade e maior temperatura.

A absorção máxima de diâmetros inferiores a 6mm pode ser atingida com a extrusão a altas temperaturas e baixas umidades da fa

QUADRO 11 - Influência das variáveis de extrusão na absorção de água à temperatura ambiente (25°C) de produtos texturizados de tremçoço.

Tratamentos	Variáveis de extrusão				Absorção de água a 25°C (g de água/g matéria seca)
	U (%)	T (°C)	D (mm)	R (rpm)	
01	19	170	4	75	2,14
02	19	210	4	75	3,42
03	25	170	4	75	2,31
04	25	210	4	75	-
05	19	170	6	75	2,31
06	19	210	6	75	3,06
07	25	170	6	75	3,28
08	25	210	6	75	3,00
09	19	170	4	125	2,41
10	19	210	4	125	3,47
11	25	170	4	125	2,12
12	25	210	4	125	2,22
13	19	170	6	125	2,13
14	19	210	6	125	3,57
15	25	170	6	125	3,03
16	25	210	6	125	3,21
17	22	150	5	100	2,76
18	22	230	5	100	3,20
19	16	190	5	100	2,64
20	28	190	5	100	3,31
21	22	190	3	100	3,05
22	22	190	7	100	2,93
23	22	190	5	50	3,22
24	22	190	5	150	2,95
25	22	190	5	100	2,89
26	22	190	5	100	2,88
27	22	190	5	100	3,14
28	22	190	5	100	3,16
29	22	190	5	100	2,98
30	22	190	5	100	2,99
31	22	190	5	100	2,88

U = Umidade da farinha
T = Temperatura de extrusão
D = Diâmetro da matriz
R = Velocidade do parafuso

QUADRO 12. Análise de variância e estimativa dos coeficientes da regressão para absorção de água (g de água/g de matéria seca) à temperatura ambiente (25°C).

Média das respostas	2,92
Desvio padrão	0,40
Coefficiente de variação	0,74
R ²	0,67

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	41	3,16	0,79	12,66	0,00005
Resíduos	25	1,56	0,06		
Total	29				

Variável	Estimativa do coeficiente	Prob > t
intercepto	2,92	0,0000
T	0,29	0,0000
TU	- 0,18	0,0101
TD	- 0,12	0,0678
UD	0,14	0,0369

GL= graus de liberdade

SQ= soma dos quadrados

QM= quadrado médio

T = temperatura de extrusão

U = umidade da farinha

D = diâmetro da matriz.

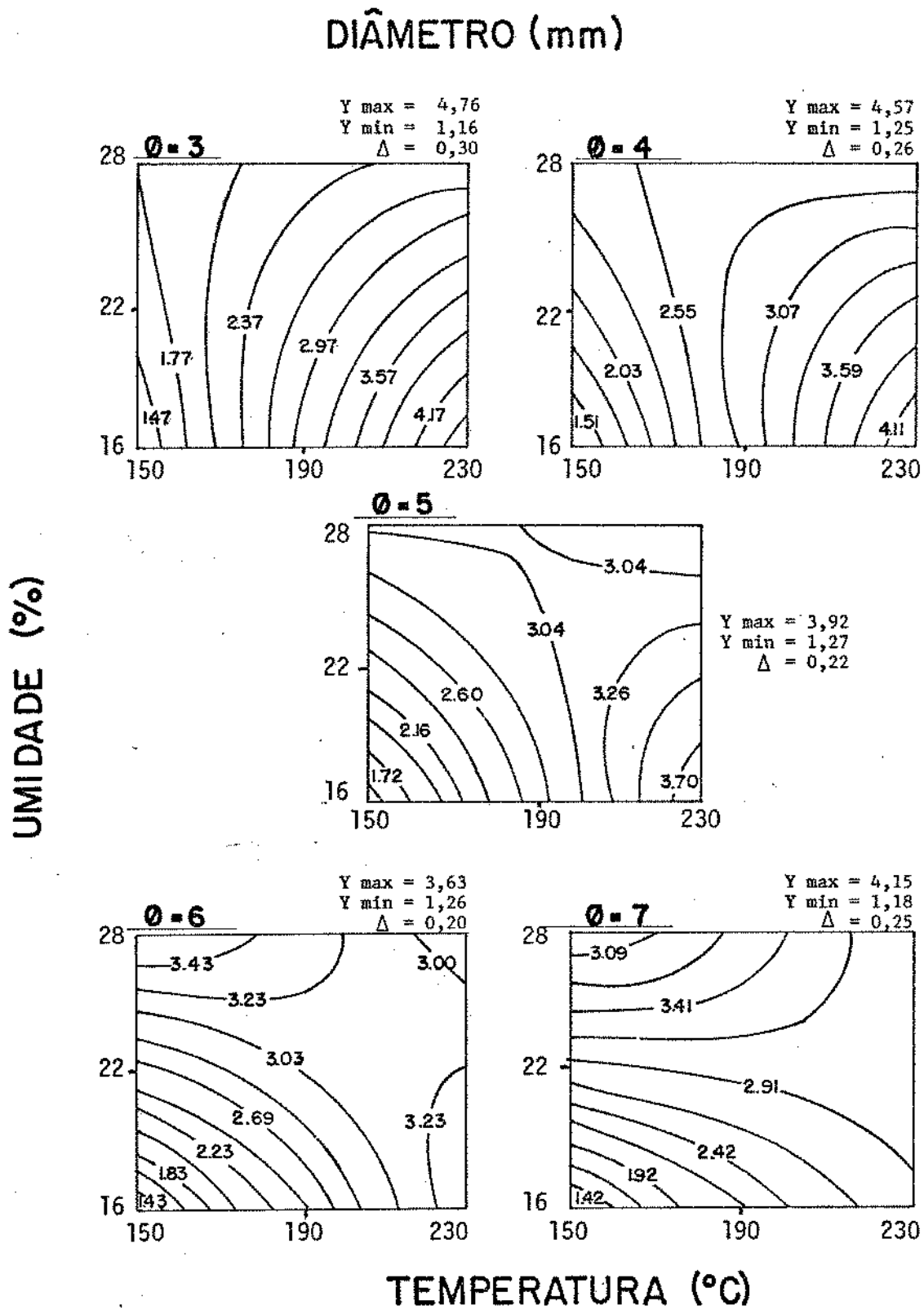


FIGURA 5. Efeito do diâmetro da matriz da umidade da farinha e da temperatura de extrusão na absorção de água (g de água/g matéria seca) à temperatura ambiente (25°C) de produtos texturizados de tremçoço.

rinha de tremoço. Por outro lado, com diâmetros superiores (6 e 7mm), a absorção máxima pode ser atingida nas condições de baixa temperatura e alta umidade.

4.2.1.3. Absorção de água à temperatura de ebulição

Uma das propriedades funcionais atribuída à proteína vegetal texturizada é manter a integridade e reter água durante a cocção. Para avaliar o comportamento dos produtos texturizados de tremoço durante a cocção, acompanhou-se a absorção de água destes à temperatura de ebulição (98°C) durante 90 minutos.

As curvas de hidratação durante a cocção de produtos texturizados de tremoço submetidos às diversas condições de extrusão mostram que estes se enquadram em 2 tipos de curvas, conforme Figura 6, correspondentes a dois grupos distintos de amostras, conforme Quadro 13. Um grupo de amostras apresentou curvas de hidratação com estágio inicial de alta taxa de hidratação (ATH), enquanto o outro grupo apresentou baixa taxa de hidratação (BTH) para este estágio.

Foi observado também que o grupo de alta taxa de hidratação apresentou densidade média baixa, de $0,28 \pm 0,09 \text{g/cm}^3$. Por outro lado, o grupo de baixa taxa de hidratação apresentou densidade média alta, de $0,51 \pm 0,05 \text{g/cm}^3$.

Concluiu-se, portanto, que as amostras de baixa densidade foram mais expandidas e porosas e que, quando submetidas à hidratação à ebulição, absorveram água rapidamente, atingindo num curto espaço de tempo a capacidade máxima de absorção. Contrariamente, as amostras mais densas, que possuíam estruturas mais fechadas e compactas, levaram mais tempo para absorver água. No entanto, observou-se que, embora estas amostras apresentassem baixa taxa de hidratação, atingiram valores de absorção máxima superiores

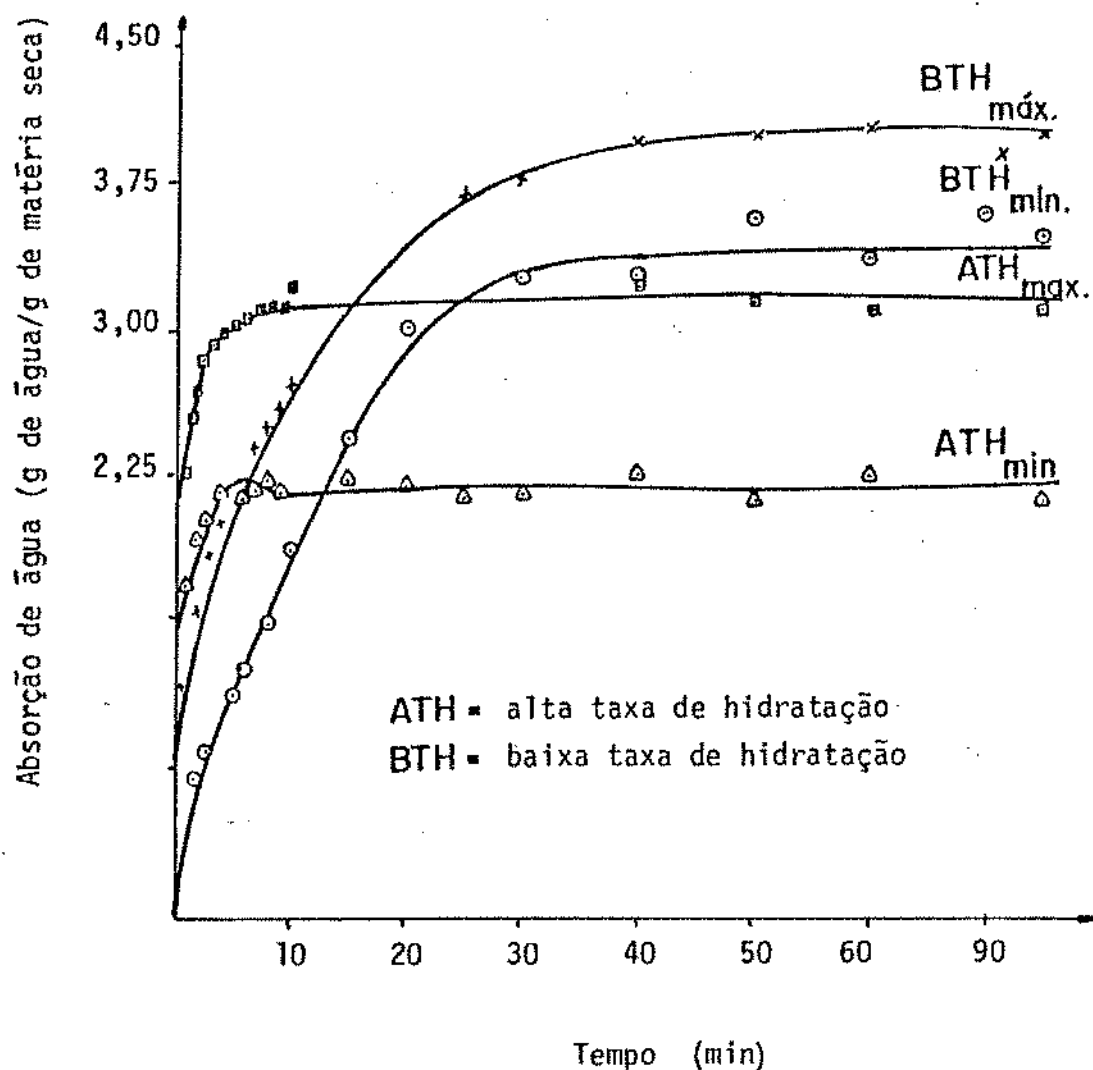


FIGURA 6. Curva de hidratação à temperatura de ebulição de produtos texturizados de tremçoço sob diferentes condições de extrusão.

ATH mín:	U = 25%	T = 210°C	D = 6mm	R = 75rpm
ATH máx:	U = 19%	T = 210°C	D = 6mm	R = 125rpm
BTH mín:	U = 22%	T = 150°C	D = 5mm	R = 100rpm
BTH máx:	U = 25%	T = 170°C	D = 4mm	R = 75rpm

U = Umidade da farinha
T = Temperatura de extrusão
D = Diâmetro da matriz
R = Velocidade do parafuso

QUADRO 13. Efeito das condições de extrusão na taxa de hidratação à ebulição de produtos texturizados de tremoço.

Tratamentos	Variáveis de extrusão			
	U (%)	T (°C)	D (mm)	R (rpm)
Alta Taxa de Hidratação (ATH)				
2	19	210	4	75
6	19	210	6	75
8	25	210	6	75
10	19	210	4	125
12	25	220	4	125
14	19	210	6	125
16	25	210	6	125
18	22	230	5	100
21	22	190	3	100
23	22	190	5	50
24	22	190	5	150
25	22	190	5	100
26	22	190	5	100
27	22	190	5	100
28	22	190	5	100
29	22	190	5	100
30	22	190	5	100
31	22	190	5	100
Baixa Taxa de Hidratação (BHT)				
1	19	170	4	75
3	25	170	4	75
5	19	170	6	75
7	25	170	6	75
9	19	170	4	125
11	25	170	4	125
13	19	170	6	125
15	25	170	6	125
17	22	150	5	100
19	16	190	5	100
20	28	190	5	100
22	22	190	7	100

aos valores do grupo ATH.

A absorção máxima, designada de absorção de água à ebulição, variou de 2,20 a 4,04g de água/g de matéria seca em função das variáveis estudadas, conforme resultados apresentados no **Quadro 14**. Tais dados foram utilizados para estabelecer o seguinte modelo preditivo para absorção de água à ebulição.

$$Y = 2,96 - 0,34T + 0,19U^2 + 0,09D^2 - 0,13TU$$

A análise estatística dos resultados, resumida do **Quadro 15**, indica que o modelo proposto é altamente significativo ($p=0,00002$) e explica 72% da variação de Y.

As superfícies de resposta, apresentadas na **Figura 7**, permitem a visualização do efeito combinado da temperatura, umidade e diâmetro da matriz na absorção de água durante a cocção. De acordo com esta figura observou-se que o aumento da temperatura de extrusão provocou uma diminuição da absorção de água durante a cocção. Observou-se ainda que este efeito foi mais acentuado quanto maior a umidade da farinha. Verificou-se que o aumento de temperatura de extrusão na região de alta temperatura praticamente não alterou a absorção de água, quando a umidade da matéria-prima utilizada foi baixa.

Para qualquer diâmetro da matriz, produtos texturizados de tremoço com máxima absorção de água foram obtidos na região de máxima e mínima temperatura de extrusão.

Embora o comportamento da absorção de água durante a ebulição em função da temperatura e umidade não tenha se alterado com o aumento do diâmetro da matriz, observou-se que o valor da absorção de água aumentou ligeiramente à medida que o diâmetro diminuiu. Assim é que a máxi-

QUADRO 14 - Influência das variáveis do processo de extrusão na absorção de água à ebulição (98°C) de produtos texturizados de tremoço.

Tratamentos	Variáveis de extrusão				Absorção de água a ebulição (98°C) (g de água/g de matéria seca)
	U(%)	T(°C)	D(mm)	R(rpm)	
01	19	170	4	75	3,66
02	19	210	4	75	2,90
03	25	170	4	75	4,04
04	25	210	4	75	-
05	19	170	6	75	3,45
06	19	210	6	75	2,86
07	25	170	6	75	3,47
08	25	210	6	75	2,20
09	19	170	4	125	3,84
10	19	210	4	125	3,19
11	25	170	4	125	3,61
12	25	210	4	125	2,77
13	19	170	6	125	3,64
14	19	210	6	125	3,10
15	25	170	6	125	3,83
16	25	210	6	125	2,65
17	22	150	5	100	3,33
18	22	230	5	100	2,80
19	16	190	5	100	3,25
20	28	190	5	100	3,58
21	22	190	3	100	3,14
22	22	190	7	100	3,15
23	22	190	5	50	2,71
24	22	190	5	150	2,75
25	22	190	5	100	2,62
26	22	190	5	100	2,64
27	22	190	5	100	2,90
28	22	190	5	100	3,00
29	22	190	5	100	2,98
30	22	190	5	100	3,00
31	22	190	5	100	2,76

U = Umidade da farinha
T = Temperatura de extrusão
D = Diâmetro da matriz
R = Velocidade do parafuso

QUADRO 15. Análise de variância e estimativa dos coeficientes da regressão para absorção de água a 98°C (g de água/g de matéria seca).

Média das respostas	3,14
Desvio padrão	0,44
Coefficiente de variação	0,76
R ²	0,72

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	4	4,13	1,04	16,02	0,00002
Resíduos	25	1,61	0,06		
Total	29	5,74			

Variável	Estimativa do coeficiente	Prob > t
Intercepto	2,96	0,0000
T	- 0,34	0,0000
U ²	0,19	0,0004
D ²	0,09	0,0688
TU	- 0,13	0,0595

GL= graus de liberdade
 SQ= soma dos quadrados
 QM= quadrado médio
 T = temperatura do processo
 U = umidade da farinha
 D = diâmetro da matriz

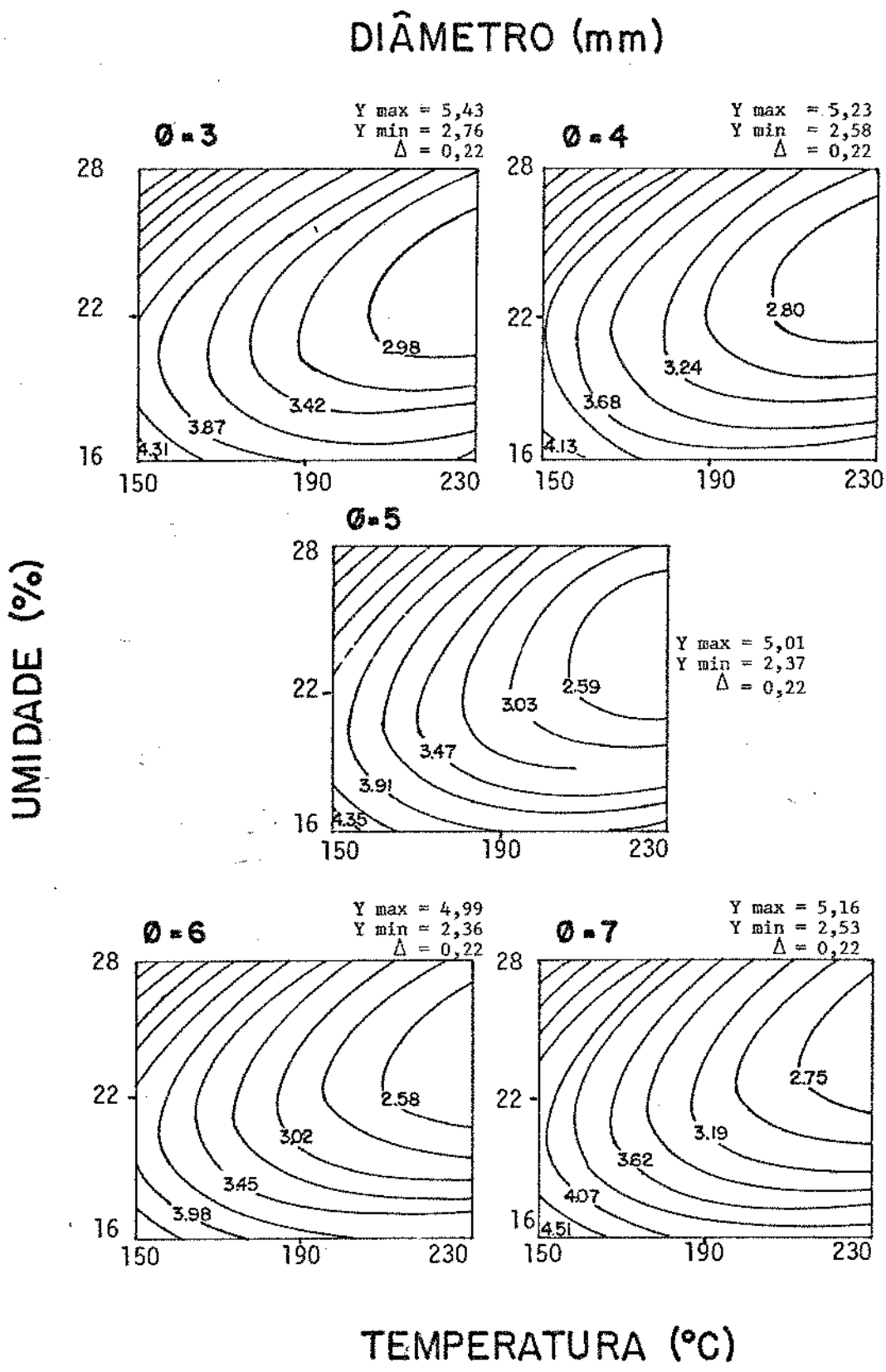


FIGURA 7. Efeito do diâmetro da matriz, da umidade da farinha e da temperatura de extrusão na absorção de água (g de água/g de matéria seca) à temperatura de ebulição(98°C) de produtos texturizados de tremoço.

ma absorção de água à ebulição (5,43g de água/g de matéria seca) foi obtida nas seguintes condições de extrusão: 28% de umidade da farinha, temperatura de extrusão de 150°C e diâmetro da matriz de 3mm.

4.2.2. Densidade

A densidade do produto extrudado, além de fornecer indicações sobre suas características estruturais e de absorção de água, é um parâmetro importante para a especificação das condições de embalagem, transporte e armazenamento.

Os valores da densidade dos produtos texturizados de tremoço obtidos experimentalmente estão apresentados no **Quadro 16**, o qual mostra que a densidade variou de 0,18 a 0,63g/cm³, conforme as condições de extrusão.

A equação seguinte é o modelo preditivo determinado para a densidade. Este modelo é estatisticamente significativo ($p = 0,00002$) e explica 72% da variação da densidade, conforme resultados da análise de regressão apresentada no **Quadro 17**. Portanto, tal modelo pode ser utilizado para estabelecer a tendência da resposta e estimar um valor para a densidade dentro da região estudada.

$$Y = 0,29 - 0,09T + 0,06T^2 + 0,03U^2 + 0,03D^2$$

O efeito combinado da temperatura, umidade e diâmetro na densidade do produto texturizado pode ser observado na **Figura 8**. Através desta figura verificou-se que quanto maior foi a temperatura de extrusão, menor a densidade do produto, sendo este efeito mais acentuado a região de baixa temperatura e baixa umidade. Tal comportamento provavelmente ocorreu porque o aumento da temperatura diminuiu a viscosidade do material e aumentou a taxa de vaporização da água, provocando maior expansão do produto na saída

QUADRO 16. Influência das variáveis do processo de extrusão na densidade de produtos texturizados de tremçoço.

Tratamentos	Variáveis de extrusão				Densidade (g de matéria seca/cm ³)
	U (%)	T (°C)	D (mm)	R (rpm)	
01	19	170	4	75	0,51
02	19	210	4	75	0,18
03	25	170	4	75	0,46
04	25	210	4	75	-
05	19	170	6	75	0,54
06	19	210	6	75	0,29
07	25	170	6	75	0,47
08	25	210	6	75	0,23
09	19	170	4	125	0,48
10	19	210	4	125	0,18
11	25	170	4	125	0,54
12	25	210	4	125	0,40
13	19	170	6	125	0,50
14	19	210	6	125	0,20
15	25	170	6	125	0,56
16	25	210	6	125	0,27
17	22	150	5	100	0,63
18	22	230	5	100	0,37
19	16	190	5	100	0,47
20	28	190	5	100	0,42
21	22	190	3	100	0,37
22	22	190	7	100	0,51
23	22	190	5	50	0,30
24	22	190	5	150	0,28
25	22	190	5	100	0,28
26	22	190	5	100	0,31
27	22	190	5	100	0,28
28	22	190	5	100	0,26
29	22	190	5	100	0,31
30	22	190	5	100	0,37
31	22	190	5	100	0,29

U = Umidade da farinha

T = Temperatura de extrusão

D = Diâmetro da matriz

R = Velocidade do parafuso

QUADRO 17. Análise de variância e estimativa dos coeficientes da regressão para a densidade (g/cm^3).

Média das respostas	0,38
Desvio padrão	0,12
Coefficiente de variação	1,76
R^2	0,72

Causas de variação	GL	SQ	QM	F.	Prob > F
Regressão	4	0,31	0,079	15,87	0,00002
Resíduos	25	0,12	0,005		
Total	29	0,43			

Variável	Estimativa do coeficiente	Prob > t
Intercepto	0,29	0,0000
T	- 0,09	0,0000
T^2	0,06	0,0003
U^2	0,03	0,0408
D^2	0,03	0,0497

GL = graus de liberdade
 SQ = soma dos quadrados
 QM = quadrado médio
 T = temperatura de extrusão
 U = umidade da farinha
 D = diâmetro da matriz

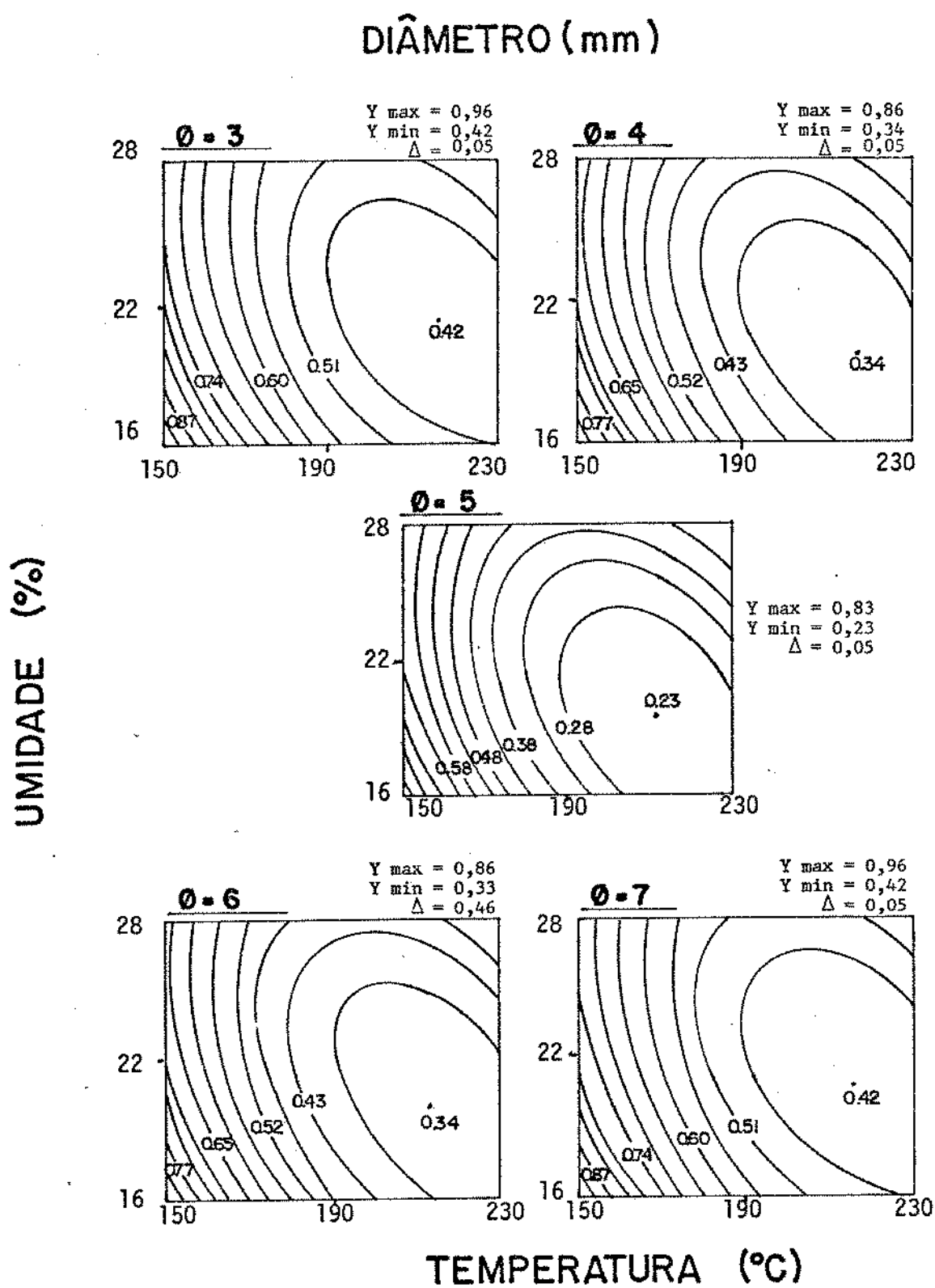


FIGURA 8. Efeito do diâmetro da matriz, da umidade da farinha e da temperatura de extrusão na densidade (g/cm^3) de produtos texturizados de tremoço.

da matriz; daí a menor densidade.

Observou-se, no entanto, que na região de altas temperaturas, o aumento da temperatura passou a provocar um aumento da densidade. Acredita-se que nestas condições ocorreu um certo grau de ruptura na estrutura da proteína, diminuindo a continuidade da rede protéica e, portanto, diminuindo a sua capacidade de reter os gases, com conseqüente queda de expansão.

Quanto ao efeito da umidade, verificou-se que até determinado ponto o aumento desta favoreceu a expansão do produto, provavelmente porque tornou a taxa de vaporização mais intensa.

Com relação ao diâmetro da matriz, observou-se que a densidade aumentou na direção dos valores extremos de diâmetro.

Provavelmente, quando o diâmetro é muito pequeno, as tensões, devido ao excesso de pressão e cisalhamento, evitam a formação de estruturas com cadeias mais longas, dificultando a expansão do produto. Por outro lado, com grandes diâmetros, a pressão na saída da matriz não foi suficientemente alta para provocar alta taxa de vaporização, que levaria à alta expansão e baixa densidade. Assim é que os menores valores de densidade foram obtidos nos diâmetros intermediários. A mínima densidade de $0,19\text{g/cm}^3$ foi obtida quando a umidade da farinha foi de 20%, o diâmetro da matriz de 5mm e a temperatura de extrusão de 210°C .

4.2.3. Índice de solubilidade do nitrogênio

De um modo geral o índice de solubilidade do nitrogênio (ISN) tem sido usado como um teste rápido para avaliar as propriedades funcionais de produtos protéicos (JOHNSON, 1970).

No presente estudo verificou-se que o processo de extrusão

teve uma influência significativa no ISN. Enquanto a farinha desengordurada de tremoço apresentou ISN de 70, os produtos texturizados apresentaram valores que variaram 14,7 a 22,8, conforme as condições de extrusão, como mostra o Quadro 18.

A análise de regressão destes resultados, apresentada no Quadro 19, mostrou que somente as variáveis de extrusão T, D e R apresentaram efeito significativo no ISN. O modelo ajustado, que relaciona estas variáveis com ISN, está apresentado a seguir:

$$Y = 17,95 + 1,54T - 0,68TD + 0,64DR$$

Embora o modelo seja altamente significativo ($p = 0,00003$), explica apenas 63% da variação do ISN. Devido a complexidade do processo de extrusão, o modelo foi considerado adequado para indicar a tendência do ISN quando variamos T, D e R dentro do intervalo estudado. Este efeito pode ser observado através da Figura 9.

Verificou-se, através da Figura 9, que o aumento da temperatura de extrusão provocou aumento no valor de ISN. Este efeito diminuiu com o aumento do diâmetro da matriz. Para diâmetros de 3mm, o aumento de temperatura de 150 para 230°C provocou um acréscimo de aproximadamente 100% no valor de ISN. Para diâmetros de 7mm, este mesmo aumento da temperatura provocou um acréscimo na faixa de 5% no valor do ISN.

SAIO *et alii* verificaram que durante o aquecimento as proteínas atingem rapidamente um valor mínimo de ISN. A partir deste ponto inicia-se um processo de degradação da estrutura protéica com concomitante aumento da solubilidade, sendo tais reações mais rápidas quanto maior for a temperatura.

Acredita-se que semelhante comportamento ocorreu durante o

QUADRO 18. Influência das variáveis do processo de extrusão no índice de solubilidade do nitrogênio (ISN) de produtos texturizados de tremoço.

Tratamentos	Variáveis de extrusão				ISN
	U (%)	T (°C)	D (mm)	R (rpm)	
01	19	170	4	75	16,5
02	19	210	4	75	18,7
03	25	170	4	75	15,3
04	25	210	4	75	22,8
05	19	170	6	75	15,2
06	19	210	6	75	17,0
07	25	170	6	75	17,4
08	25	210	6	75	19,8
09	19	170	4	125	14,9
10	19	210	4	125	19,6
11	25	170	4	125	15,6
12	25	210	4	125	21,0
13	19	170	6	125	17,8
14	19	210	6	125	20,9
15	25	170	6	125	18,5
16	25	210	6	125	20,2
17	22	150	5	100	14,7
18	22	230	5	100	18,8
19	16	190	5	100	17,1
20	28	190	5	100	15,4
21	22	190	3	100	18,3
22	22	190	7	100	15,9
23	22	190	5	50	18,1
24	22	190	5	150	18,7
25	22	190	5	100	18,3
26	22	190	5	100	18,7
27	22	190	5	100	18,4
28	22	190	5	100	17,3
29	22	190	5	100	18,2
30	22	190	5	100	18,2
31	22	190	5	100	18,8

U = Umidade da farinha
T = Temperatura de extrusão
D = Diâmetro da matriz
R = Velocidade do parafuso

QUADRO 19. Análise de variância e estimativa dos coeficientes da regressão linear para o índice de solubilidade de nitrogênio.

Média das respostas	17,95
Desvio padrão	1,93
Coefficiente de variação	0,59
R ²	0,63

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	3	70,83	23,61	15,38	0,00003
Resíduos	27	41,44	1,53		
Total	30	112,27			

Variável	Estimativa do coeficiente	Prob > t
Intercepto	17,95	0,0000
T	1,54	0,0000
TD	- 0,68	0,0382
DR	0,64	0,0493

GL= graus de liberdade
 SQ= soma dos quadrados
 QM= quadrado médio
 T = temperatura de extrusão
 D = diâmetro da matriz
 R = velocidade do parafuso

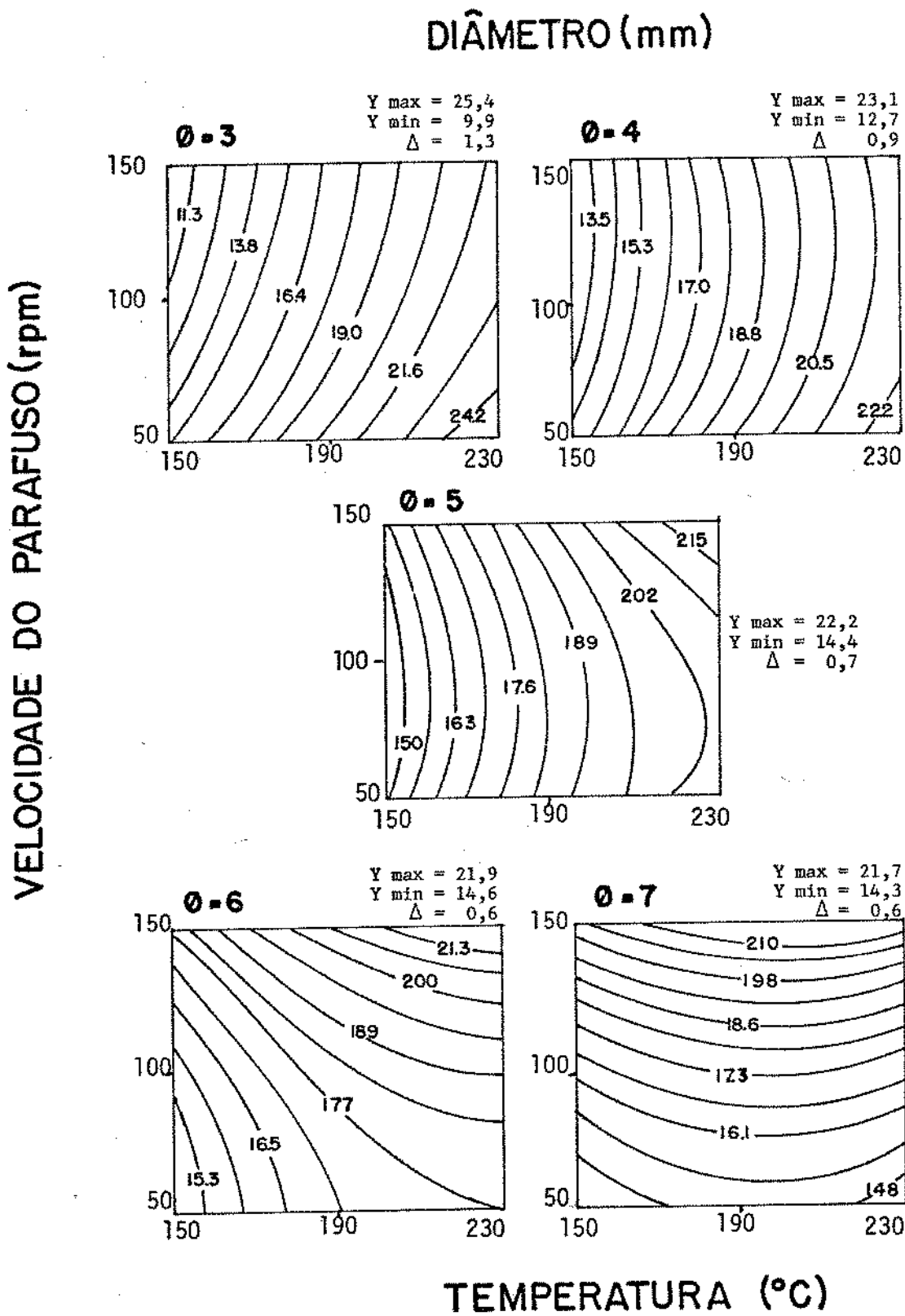


FIGURA 9. Efeito do diâmetro da matriz, da velocidade do parafuso e da temperatura de extrusão no índice de solubilidade do nitrogênio de produtos texturizados de tremçoço.

presente processo de extrusão. No início, o aquecimento de provocou acentuado decréscimo no ISN passou, na continuidade do processo, a causar degradação da estrutura protéica com conseqüente aumento do ISN. Este efeito foi mais intenso quanto maior a temperatura. O fato do efeito positivo do aumento da temperatura no ISN ter sido mais significativo para matrizes de diâmetros pequenos se deu provavelmente porque nesta situação a pressão gerada e o cisalhamento foram maiores, condições estas que induziram a maior degradação da estrutura da proteína, resultando num maior valor de ISN.

O efeito da velocidade do parafuso no ISN também variou com o diâmetro da matriz. Para diâmetros pequenos (3 e 4mm), onde o cisalhamento mecânico e a pressão são maiores, a redução da velocidade do parafuso, isto é, aumento do tempo de residência, provocou aumento do ISN. Com diâmetros maiores, onde a pressão e o cisalhamento mecânico são menores, a quebra da estrutura protéica é menor e, portanto, a influência do aquecimento na modificação da estrutura molecular, no sentido de torná-la insolúvel, seria o fator predominante. Assim é que, à medida que se aumentou o tempo de residência nestas condições, a solubilidade da proteína diminuiu. Evidentemente, o aumento até certo ponto da temperatura de extrusão modifica a estrutura da proteína, diminuindo sua solubilidade, enquanto a pressão e o cisalhamento mecânico no extrusor aumentam a hidrólise da proteína, favorecendo o aumento do ISN.

4.2.4. Absorção de gordura

A capacidade da proteína texturizada de absorver gordura é uma propriedade importante, que deve ser conhecida principalmente quando se visa sua aplicação como substituto ou extensor de carne, onde favorecem a retenção de aroma e consistência (KINZELLA, 1976).

Os valores experimentais para a absorção de gordura dos produ

tos texturizados de tremoço estão apresentados no **Quadro 20**. Os valores variam de 0,44 a 1,85mℓ de óleo/g de matéria seca.

A análise de variância e as estimativas dos coeficientes da regressão para o modelo estão apresentadas no **Quadro 21**. A significância da regressão ao nível de 1% indica que há um bom ajuste entre o modelo proposto e os dados experimentais. O baixo valor de R^2 indica que o modelo explica apenas 51% da variação da resposta e que, portanto, não deve ser empregado como modelo preditivo. Tal modelo pode ser usado para verificar a tendência da absorção de gordura sob as alterações das variáveis T, U, D e R nas condições estudadas.

$$Y = 1,15 + 0,13T + 0,13U - 0,12D - 0,09R$$

Observa-se assim que o efeito da temperatura e da umidade na absorção da gordura foi linear e positivo, enquanto o diâmetro e a rotação apresentaram efeito linear negativo. Assim, quanto maiores os valores de T e U e menores os valores de D e R, maior será a absorção de gordura.

Quando se observa os resultados experimentais do **Quadro 20**, verifica-se que a amostra 4, que foi submetida a altos valores de T e U e baixos valores de D e R, apresentou realmente um dos maiores valores de absorção de gordura. Por outro lado, a amostra 13, que foi texturizada sob baixos valores de T e U e altos valores de D e R, apresentou um dos menores valores de absorção de gordura, mostrando assim a tendência indicada pelo modelo.

4.2.5. Solubilidade

A solubilidade em água do produto texturizado permite estimar as perdas durante a lavagem e a hidratação do produto texturizado.

Os resultados experimentais obtidos para a solubilidade dos

QUADRO 20. Influência das variáveis do processo de extrusão na absorção de gordura de produtos texturizados de tremçoço.

Tratamentos	Variáveis de extrusão				Absorção de gordura (ml de óleo/g de matéria seca)
	U(%)	T(°C)	D(mm)	R(rpm)	
01	19	170	4	75	1,08
02	19	210	4	75	1,74
03	25	170	4	75	1,85
04	25	210	4	75	1,52
05	19	170	6	75	0,76
06	19	210	6	75	1,26
07	25	170	6	75	0,98
08	25	210	6	75	1,30
09	19	170	4	125	1,20
10	19	210	4	125	1,40
11	25	170	4	125	1,31
12	25	210	4	125	1,33
13	19	170	6	125	0,65
14	19	210	6	125	0,87
15	25	170	6	125	0,98
16	25	210	6	125	1,30
17	22	150	5	100	0,44
18	22	230	5	100	0,98
19	16	190	5	100	0,75
20	28	190	5	100	1,56
21	22	190	3	100	1,09
22	22	190	7	100	1,30
23	22	190	5	50	1,33
24	22	190	5	150	0,98
25	22	190	5	100	1,08
26	22	190	5	100	1,08
27	22	190	5	100	1,24
28	22	190	5	100	1,07
29	22	190	5	100	1,07
30	22	190	5	100	1,08
31	22	190	5	100	1,09

U = Umidade da farinha

T = Temperatura de extrusão

D = Diâmetro da matriz

R = Velocidade do parafuso

QUADRO 21. Análise de variância e estimativa dos coeficientes da regressão para absorção de gordura (ml de óleo/g de matéria seca).

Média das respostas	1,15
Desvio padrão	0,30
Coefficiente de variação	1,42
R ²	0,51

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	4	1,34	0,34	6,62	0,00108
Resíduos	26	1,32	0,05		
Total	30	2,66			

Variável	Estimativa do Coeficiente	Prob > t
Intercepto	1,15	0,0000
T	0,13	0,0116
U	0,13	0,0073
D	- 0,12	0,0144
R	- 0,09	0,0638

GL= graus de liberdade
 SQ= soma dos quadrados
 QM= quadrados médios
 T = temperatura de extrusão
 U = umidade da farinha
 D = diâmetro da matriz
 R = rotação do parafuso

produtos texturizados de tremoço estão apresentados no **Quadro 22**. A análise de regressão apresentada no **Quadro 23** indica que o modelo abaixo apresenta alta significância estatística ($p = 0,0032$), porém, só explica 41% da variação da solubilidade.

$$Y = 24,47 + 2,46T + 1,19U - 1,21R$$

Com relação à aplicabilidade do modelo, cabem aqui as mesmas considerações feitas para o caso anterior, da absorção de gordura, uma vez que os valores de F e R^2 levam a conclusões semelhantes.

A partir do modelo obtido observou-se que apenas as variáveis T, U e R foram significativas, sendo que os efeitos de T e U foram lineares e positivos enquanto o de R foi linear e negativo. Portanto, quanto maior a umidade da farinha e a temperatura de extrusão e menor a velocidade do parafuso, maior será a solubilidade dos produtos texturizados de tremoço.

Observando-se os resultados do **Quadro 22**, verifica-se que a amostra 8, que apresentou a maior solubilidade (34,9%) foi processada nas condições de alta umidade (25%), alta temperatura (210°C) e baixa velocidade do parafuso (75rpm). Por outro lado, a amostra 13, que foi processada nas condições de baixa umidade de farinha (19%), baixa temperatura de extrusão (170°C) e alta velocidade do parafuso (125rpm), apresentou um dos menores valores de solubilidade (19,9%), conforme a tendência indicada pelo modelo.

4.2.6. Grau de desintegração

Uma das principais aplicações da proteína texturizada é como extensor de carne em produtos enlatados. Para cada classe de produtos, a resistência ao processo de esterilização comercial, ou seja, o grau de desintegração durante a autoclavagem, torna-se um importante parâmetro de qualidade a ser avaliado.

QUADRO 22. Influência das variáveis do processo de extrusão na solubilidade de produtos texturizados de tremoço.

Tratamentos	Variáveis de extrusão				Solubilidade (%)
	U (%)	T (°C)	D (mm)	R (rpm)	
01	19	170	4	75	23,7
02	19	210	4	75	32,3
03	25	170	4	75	23,6
04	25	210	4	75	-
05	19	170	6	75	20,0
06	19	210	6	75	23,2
07	25	170	6	75	21,8
08	25	210	6	75	34,9
09	19	170	4	125	20,5
10	19	210	4	125	14,7
11	25	170	4	125	21,3
12	25	210	4	125	29,2
13	19	170	6	125	19,9
14	19	210	6	125	29,2
15	25	170	6	125	19,5
16	25	210	6	125	25,1
17	22	150	5	100	20,9
18	22	230	5	100	26,6
19	16	190	5	100	21,1
20	28	190	5	100	24,8
21	22	190	3	100	26,9
22	22	190	7	100	21,9
23	22	190	5	50	25,0
24	22	190	5	150	25,2
25	22	190	5	100	25,8
26	22	190	5	100	24,2
27	22	190	5	100	25,7
28	22	190	5	100	25,2
29	22	190	5	100	25,6
30	22	190	5	100	25,7
31	22	190	5	100	25,7

U = Umidade da farinha

T = Temperatura de extrusão

D = Diâmetro da matriz

R = Velocidade do parafuso

QUADRO 23. Análise de variância e estimativa dos coeficientes da regressão para a solubilidade (%).

Média das respostas	24,32
Desvio padrão	3,99
Coefficiente de variação	0,88
R ²	0,41

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	3	190,04	63,35	6,064	0,00315
Resíduos	26	271,58	10,45		
Total	29	461,62			

Variável	Estimativa do coeficiente	Prob > t
Intercepto	24,47	0,0000
T	2,46	0,0012
U	1,19	0,0893
R	-1,21	0,0851

GL= graus de liberdade

SQ= soma dos quadrados

QM= quadrado médio

T = temperatura de extrusão (°C)

U = umidade da farinha (%)

R = rotação do parafuso (rpm)

O grau de desintegração dos produtos texturizados de tremoço, submetidos a diferentes condições de extrusão, foi determinado após 1 hora de autoclavagem a 121°C. Os resultados obtidos estão apresentados no Quadro 24 e mostram que o grau de desintegração variou de 0,5 a 20,5%, conforme as condições de extrusão.

Através da análise de regressão destes resultados definiu-se o seguinte modelo para o grau de desintegração (%) em função das variáveis de extrusão:

$$Y = 17,93 - 1,84T - 2,55T^2 - 2,65U^2 - 3,14D^2 - 2,32R^2 - 1,92TD - 2,09UD - 1,75UR - 2,40DR$$

A análise de variância e a estimativa dos coeficientes da regressão estão apresentados no Quadro 25. Os dados indicam que o modelo proposto é altamente significativo ($p = 0,0001$) e explica 78% da variação do grau de desintegração.

As superfícies de resposta apresentadas na Figura 10, 11 e 12 permitem a visualização do efeito combinado da umidade, temperatura, diâmetro da matriz no grau de desintegração da proteína texturizada de tremoço, sob velocidades do parafuso de 50, 100 e 150rpm, respectivamente.

Através da Figura 11 verificou-se que produtos texturizados de tremoço com baixo grau de desintegração podem ser obtidos em diversas condições de extrusão.

Observou-se também que existem valores críticos de temperatura e umidade que levaram a um máximo grau de desintegração das amostras. Estes valores variaram em função do diâmetro da matriz. Para pequenos diâmetros, de 3 e 4mm, a máxima desintegração de 13,5 e 18,5%, respectivamente, ocorreu na região de alta temperatura (210-220°C) e baixa umidade (18-19%). Para diâmetros de 5,6 e 7mm, os respectivos valores de 18,3, 13,8 e 4,5%

QUADRO 24. Influência das variáveis do processo de extrusão no grau de desintegração durante autoclavagem (1h a 121°C) de produtos texturizados de tremçoço.

Tratamentos	Variáveis de extrusão				Grau de desintegração (%)
	U (%)	T (°C)	D (mm)	R (rpm)	
01	19	170	4	75	0,5
02	19	210	4	75	14,3
03	25	170	4	75	5,8
04	25	210	4	75	9,7
05	19	170	6	75	7,6
06	19	210	6	75	8,8
07	25	170	6	75	6,9
08	25	210	6	75	10,9
09	19	170	4	125	3,2
10	19	210	4	125	16,5
11	25	170	4	125	5,0
12	25	210	4	125	9,3
13	19	170	6	125	2,0
14	19	210	6	125	11,0
15	25	170	6	125	1,0
16	25	210	6	125	5,4
17	22	150	5	100	1,5
18	22	230	5	100	13,6
19	16	190	5	100	13,8
20	28	190	5	100	0,5
21	22	190	3	100	4,5
22	22	190	7	100	5,9
23	22	190	5	50	11,1
24	22	190	5	150	5,8
25	22	190	5	100	19,4
26	22	190	5	100	17,0
27	22	190	5	100	14,4
28	22	190	5	100	20,5
29	22	190	5	100	18,9
30	22	190	5	100	18,9
31	22	190	5	100	17,3

U = Umidade da farinha

T = Temperatura de extrusão

D = Diâmetro da matriz

R = Velocidade do parafuso

QUADRO 25. Análise de variância e estimativa dos coeficientes da regressão para o grau de desintegração (%).

Média das respostas	9,68
Desvio padrão	6,47
Coefficiente de variação	3,66
R ²	0,78

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	9	978,43	108,71	8,20	0,00011
Resíduos	21	278,31	13,25		
Total	30	1256,75			

Variável	Estimativa do coeficiente	Prob > t
Intercepto	17,93	0,0000
T	1,84	0,0220
T ²	- 2,55	0,0012
U ²	- 2,65	0,0008
D ²	- 3,14	0,0002
R ²	- 2,32	0,0026
TD	- 1,92	0,0472
UD	2,09	0,0318
UR	- 1,75	0,0673
DR	- 2,40	0,0152

GL= graus de liberdade
 SQ= soma dos quadrados
 QM= quadrado médio
 T = temperatura de extrusão
 U = umidade da farinha
 D = diâmetro da matriz
 R = velocidade do parafuso

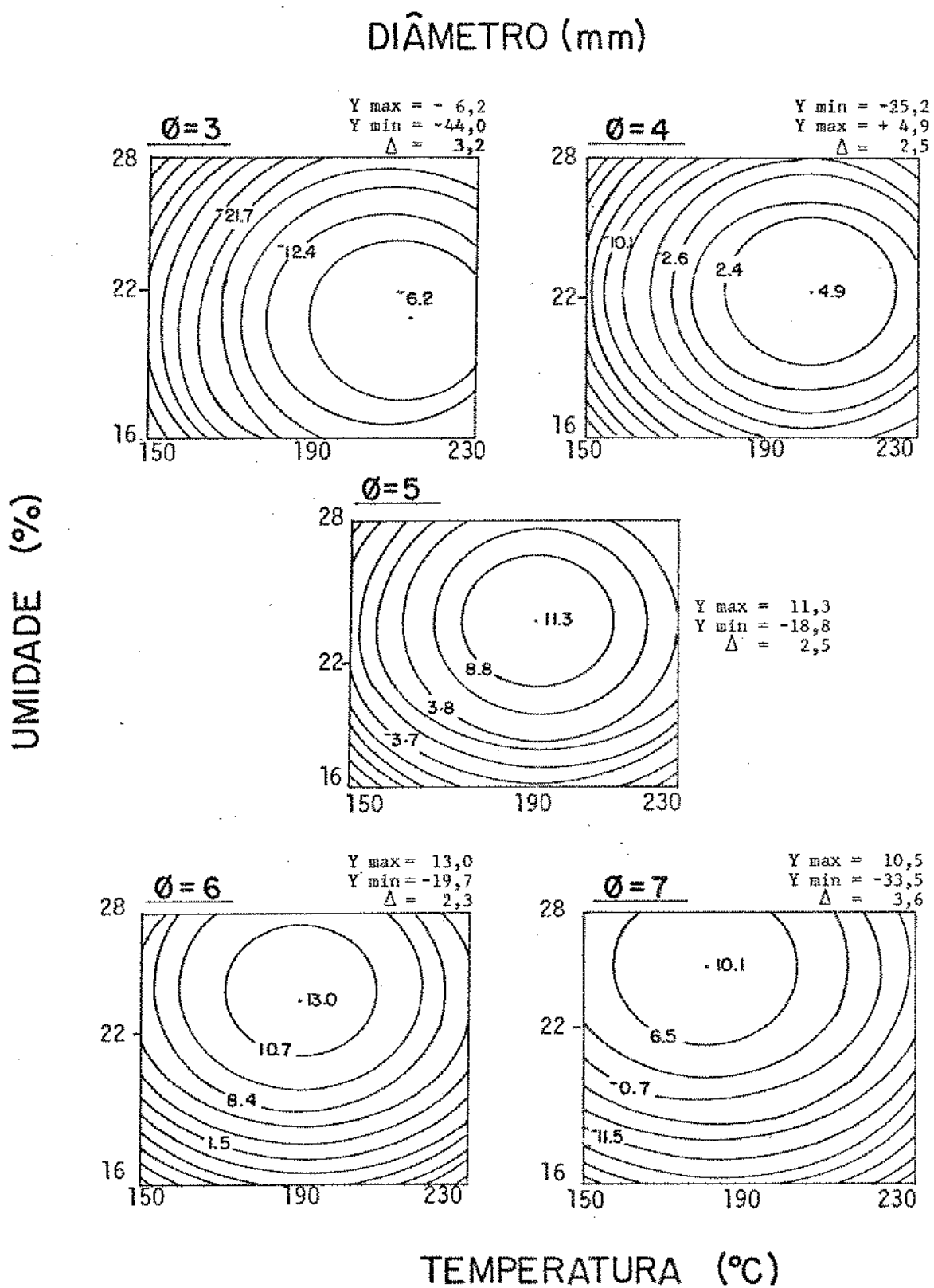


FIGURA 10. Efeito do diâmetro da matriz, da umidade da farinha e da temperatura de extrusão no grau de desintegração (%) durante a autoclavagem (121°C-1h) de produtos texturizados de tremçoço - Velocidade do parafuso = 50 rpm.

da desintegração máxima ocorreram na região de média temperatura (190°C) e média umidade (21 a 23%).

O efeito da velocidade do parafuso, ou seja, o tempo de residência, no grau de desintegração, pode ser observado através das Figuras 10, 11 e 12. Verificou-se que, à medida que se aumentou a rotação, o pico de desintegração deslocou-se para a região de menor teor de umidade. Verificou-se ainda que o grau de desintegração aumentou com a rotação até atingir um ponto de máximo e que, a partir deste ponto, quanto maior a rotação menor foi o grau de desintegração das amostras.

A velocidade crítica, correspondente à máxima desintegração, variou conforme o diâmetro. Quanto menor foi o diâmetro maior foi a velocidade que levou à máxima desintegração da amostra.

4.2.7. Textura

4.2.7.1. Avaliação instrumental da textura

A avaliação instrumental da textura foi feita através dos parâmetros mastigabilidade e força máxima média, ($\overline{F_{max}}$), estabelecidos na curva de textura (força x distância), conforme está ilustrado na Figura 13. Esta curva é o registro gráfico da força x deformação da amostra submetida à compressão e extrusão no "INSTRON" com o dispositivo "Wire Extrusion" do "OTMS".

Os resultados da textura dos produtos texturizados de tremoço sob diferentes condições de extrusão estão apresentados no Quadro 26. Os valores para a força máxima média ($\overline{F_{max}}$) e mastigabilidade variaram de 3,0 a 39,0 kgf e de 13 a 106cm², respectivamente.

Embora tenha se verificado alto coeficiente de variação entre

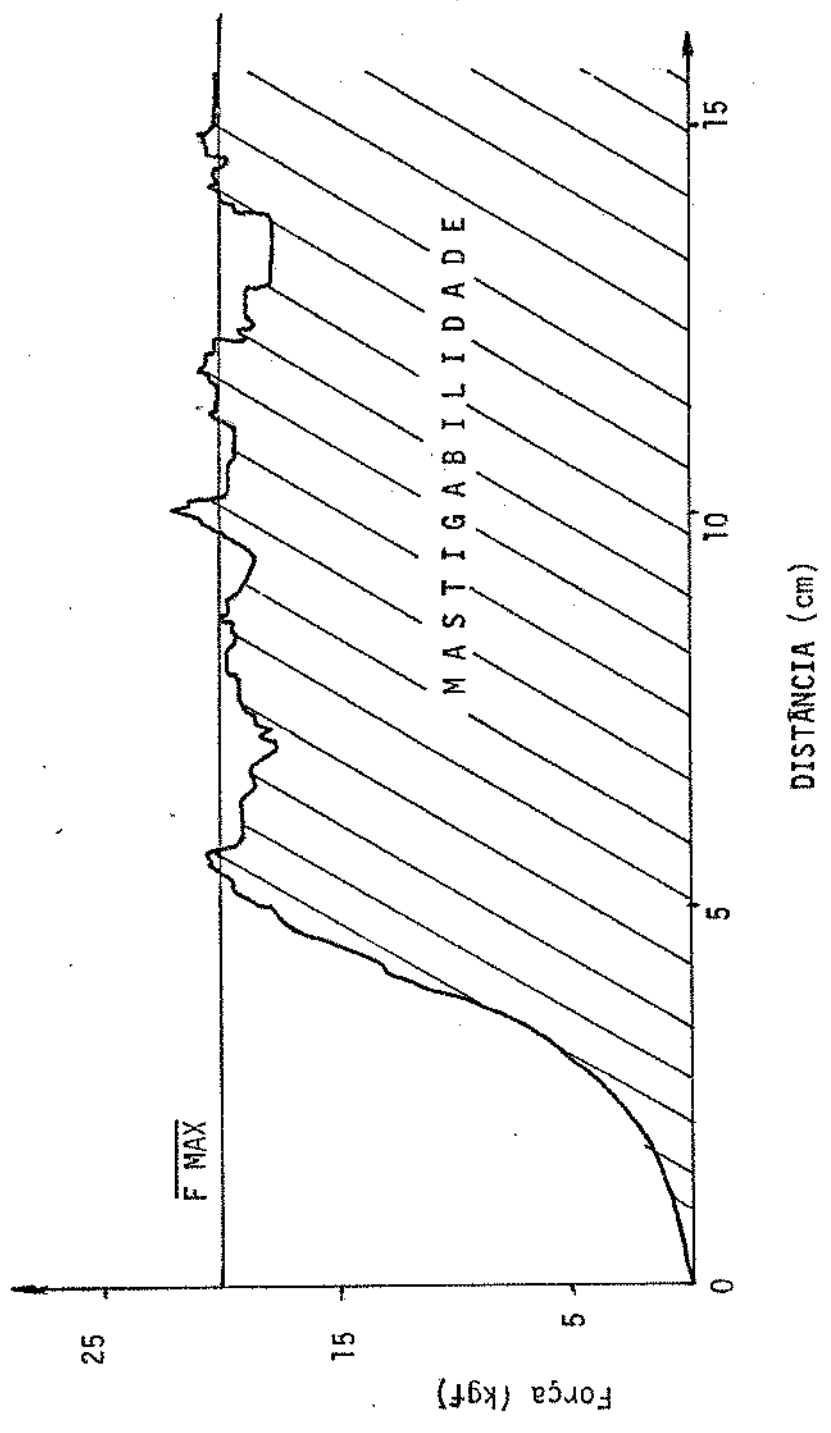


FIGURA 13. Curva típica de textura obtida no "Instron" com célula "Wire Extrusion" (OTMS) para produtos texturizados de tremoco.

QUADRO 26. Influência das variáveis de extrusão na textura de produtos texturizados de tremçoço, conforme valores do "OTMS" obtidos no "Instron".

Tratamentos	Variáveis de extrusão				Força máxima	Mastigabilidade
	U(%)	T(°C)	D(mm)	R(rpm)	média (kgf)	(cm ²)
01	19	170	4	75	-	-
02	19	120	4	75	19,0	61,0
03	25	170	4	75	39,0	106,0
04	25	210	4	75	21,0	74,0
05	19	170	6	75	23,5	80,2
06	19	210	6	75	14,0	48,0
07	25	170	6	75	3,5	18,0
08	25	210	6	75	16,8	54,0
09	19	170	4	125	32,0	92,0
10	19	210	4	125	12,0	43,0
11	25	170	4	125	33,6	84,0
12	25	210	4	125	15,3	63,0
13	19	170	6	125	28,4	97,4
14	19	210	6	125	20,0	60,0
15	25	170	6	125	10,0	44,0
16	25	210	6	125	12,3	46,0
17	22	150	5	100	9,0	30,0
18	22	230	5	100	20,6	71,0
19	16	190	5	100	16,5	58,3
20	28	190	5	100	3,0	13,3
21	22	190	3	100	5,0	20,5
22	22	190	7	100	10,0	44,0
23	22	190	5	50	12,4	45,8
24	22	190	5	150	15,6	60,0
25	22	190	5	100	16,0	61,3
26	22	190	5	100	16,3	63,1
27	22	190	5	100	16,3	60,7
28	22	190	5	100	15,8	60,4
29	22	190	5	100	15,6	60,0
30	22	190	5	100	-	-
31	22	190	5	100	16,0	56,0

U = Umidade da farinha
T = Temperatura de extrusão
D = Diâmetro da matriz
R = Velocidade do parafuso

as amostras submetidas às diferentes condições de extrusão, não foi possível ajustar um modelo matemático que explicasse o comportamento da textura em função das variáveis estudadas, pois as análises de variância apresentadas nos Quadros 27 e 28 revelaram que os resultados para o modelo proposto na forma de polinômio do 2º grau não foram significativos.

4.2.7.2. Condições operacionais de extrusão para formação de produtos texturizados de tremoço de diferentes classes de textura em função da mastigabilidade

— Classificação da textura em função da mastigabilidade

Diversos pesquisadores tem usado a $\overline{F_{max}}$ e a mastigabilidade obtidas através do OTMS para avaliar a textura de produtos extrudados (BREENE & BARKER, 1975; LOH & BREENE, 1977; FRASIER *et alii*, 1980; FRASIER *et alii*, 1983 e SHEARD *et alii*, 1986) e alta correlação tem sido encontrada entre estes valores e a análise sensorial (LOH & BREENE, 1977 e SHEARD *et alii*, 1986).

LOH & BREENE (1977), avaliando a textura de produtos texturizados de soja encontraram valores de 1,7 a 48,7kgf e de 7 a 165cm² para a $\overline{F_{max}}$ e mastigabilidade respectivamente, valores estes semelhantes aos que foram obtidos, segundo o mesmo método para texturizados de tremoço (Quadro 26). Assim é que, de acordo com os valores limites do OTMS estabelecidos por BREENE & BARKER (1975), os produtos texturizados de tremoço foram classificados em 3 classes de textura: alta, média e de baixa mastigabilidade.

Os valores de OTMS agrupados segundo as 3 classes de textura e as condições operacionais de extrusão para produção de

QUADRO 27. Análise de variância dos resultados da força máxima média (Kgf) obtidos no "Instron", com célula do "OTMS"

Média das respostas	16,86
Desvio padrão	8,39
Coefficiente de variação	2,64
R ²	0,45

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	14	878,82	62,77	0,80	0,65
Resíduos	14	1095,41	78,24		
Total	28	1974,23			

GL = graus de liberdade
 SQ = soma dos quadrados
 QM = quadrado médio

QUADRO 28. Análise de variância dos resultados mastigabilidade (cm^2) obtidos no "Instron", com célula do "OTMS".

Média das respostas	57,88
Desvio padrão	21,99
Coefficiente de variação	2,01
R^2	0,52

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	14	6973,59	498,11	1,06	0,45
Resíduos	14	6576,66	459,76		
Total	28	13550,26			

GL = graus de liberdade
 SQ = soma dos quadrados
 QM = quadrado médio

texturizados de tremoço de alta, média e baixa mastigabilidade estão apresentados no Quadro 29.

— **Propriedades funcionais de produtos texturizados de tremoço de alta, média e baixa mastigabilidade**

As propriedades funcionais dos produtos texturizados de tremoço das diferentes classes de textura estão apresentadas nos Quadros 30, 31 e 32. A análise estatística revelou que as propriedades funcionais diferiram significativamente ($p = 0,0001$) com relação às classes de textura. Produtos da classe de alta mastigabilidade (Quadro 30) caracterizaram-se pela alta densidade, elevada absorção de água a 98°C, baixa absorção de água a 40°C e baixo grau de desintegração durante autoclavagem. Os produtos de média mastigabilidade (Quadro 31) apresentaram baixa densidade, baixa absorção de água a 98°C, alto grau de desintegração e elevada absorção de água a 40°C. Produtos texturizados de tremoço de baixa mastigabilidade (Quadro 32) apresentaram elevada densidade, elevada absorção de água a 98 e 40°C e baixo grau de desintegração durante a autoclavagem.

— **Hipótese para a formação da textura**

Em função das condições operacionais de extrusão, que levaram à produção de texturizados de tremoço de alta, média e baixa mastigabilidade (Quadro 29) e das propriedades funcionais associadas a estes grupos (Quadros 30, 31 e 32), desenvolveu-se a seguinte hipótese para a formação de textura.

Durante a extrusão, sob alto cisalhamento mecânico (baixa umidade da farinha) e/ou elevada pressão (pequenos diâmetros da matriz), as moléculas de proteína da farinha de tremoço se desenrolam e se alinham unidirecionalmente à medida que avançam em direção à matriz, conforme ilustra modelo A da Figura 14. Neste ponto podem ocorrer duas situa-

QUADRO 29. Classificação quanto a textura, segundo valores "OTMS"*, de produtos texturizados de tremço sob diferentes condições de extrusão.

Tratamentos	Variáveis de extrusão				Força máxima média (kgf)	Mastigabilidade (cm ²)
	U(%)	T(°C)	D(mm)	R(rpm)		
Alta mastigabilidade					> 22**	> 77
3	25	170	4	75	39,0	106,0
5	19	170	6	75	23,5	80,2
9	19	170	4	125	32,0	92,0
11	25	170	4	125	33,6	84,0
13	19	170	6	125	28,4	97,0
Média mastigabilidade					22-10	45-77
2	19	210	4	75	19,0	61,0
4	25	210	4	75	21,0	74,0
6	19	210	6	75	14,0	48,0
8	25	210	6	75	16,8	54,0
10	19	210	4	125	12,0	43,0
12	25	210	4	125	15,3	63,0
14	19	210	6	125	20,0	60,0
16	25	210	6	125	12,3	46,0
18	22	230	5	100	20,6	71,0
19	16	190	5	100	16,5	58,0
23	22	190	5	50	12,4	45,8
24	22	190	5	150	15,5	60,0
25	22	190	5	100	16,0	61,3
26	22	190	5	100	16,3	63,1
27	22	190	5	100	16,3	60,7
28	22	190	5	100	15,8	64,0
29	22	190	5	100	15,6	60,0
31	22	190	5	100	16,0	56,0
Baixa mastigabilidade					< 10**	< 45
7	25	170	6	75	3,5	18,0
15	25	170	6	125	10,0	44,0
17	22	150	5	100	9,0	30,0
20	28	190	5	100	3,0	13,3
21	22	190	3	100	5,0	20,5
22	22	190	7	100	10,0	44,0

* OTMS = Célula de OTTAWA TEXTURE MEASURING SYSTEM.

** Valores limites para proteína texturizada de soja (BREENE & BARKER, 1975).

QUADRO 30. Propriedades funcionais dos produtos texturizados de tremoço com alta mastigabilidade.

Tratamentos	Variáveis de extrusão				Valor "OTMS"						
	U(%)	T(°C)	D(mm)	R(rmp)	Força máxima média (Kgf)	Mastigabilidade (cm ²)	Densidade (g/cm ³)	Abs. água/40C (g H ₂ O/g mat.seca)	Abs. água/980C (g H ₂ O/g mat.seca)	Taxa de hidratação 980C	Grau de desintegração a 1210C (%)
3	25	170	4	75	39,0	106,0	0,46	2,16	4,04	BTH	5,8
5	19	170	6	75	23,5	80,2	0,54	2,60	3,45	BTH	7,6
9	19	170	4	125	32,0	92,0	0,48	2,37	3,84	BTH	13,2
11	25	170	4	125	33,6	84,0	0,40	1,91	3,61	BTH	5,0
13	19	170	6	125	28,4	97,0	0,50	2,18	3,64	BTH	2,0
MÉDIA					31 ± 6	91 ± 11	0,48 ± 0,05	2,3 ± 0,3	3,7 ± 0,2	BTH	5 ± 2

"OTMS" = OTTAWA TEXTURES MEASURING SYSTEM

BTH = baixa taxa de hidratação

QUADRO 31. Propriedades funcionais dos produtos texturizados de tremoço com média mastigabilidade.

Tratamentos	Variáveis de extrusão				Valor "OIMS"						
	U(%)	T(°C)	D(mm)	R(rpm)	Força máxima média (kgf)	Mastigabilidade (cm ²)	Densidade (g/cm ³)	Abs. H ₂ O/40°C (g H ₂ O/g mat.seca)	Abs. H ₂ O/98°C (g H ₂ O/g mat. seca)	Taxa de Hidratação à 98°C	Grau de Desintegração à 121°C (%)
2	19	210	4	75	19,0	61	0,18	3,76	2,90	ATH	14,3
4	25	210	4	75	21,0	74	-	-	-	-	-
6	19	210	6	75	14,0	48	0,29	3,24	2,86	ATH	8,8
8	25	210	6	75	16,8	54	0,23	3,12	2,20	ATH	10,9
10	19	210	4	125	12,0	43	0,18	3,84	3,19	ATH	16,5
12	25	210	4	125	15,3	63	0,40	3,39	2,77	ATH	9,3
14	19	210	6	125	20,0	60	0,20	3,57	3,10	ATH	11,0
16	25	210	6	125	12,3	46	0,27	3,15	2,65	ATH	5,4
18	22	230	5	100	20,6	71	0,37	3,27	2,80	ATH	13,6
19	16	190	5	100	16,5	58	0,42	2,58	3,25	BTH	13,8
23	22	190	5	50	12,4	46	0,30	3,21	2,71	ATH	11,1
24	22	190	5	150	15,6	60	0,28	3,36	2,75	ATH	5,8
25	22	190	5	100	16,0	61	0,28	3,31	2,62	ATH	19,4
MÉDIA					16 ± 3	57 ± 9	0,28 ± 0,08	3,3 ± 0,3	2,8 ± 0,3	ATH	12 ± 4

"OIMS" = OTTAWA TEXTURE MEASURING SYSTEM

ATH = alta taxa de hidratação

BTH = baixa taxa de hidratação

QUADRO 32. Propriedades funcionais dos produtos texturizados de tremoço com baixa mastigabilidade.

Tratamentos	Variáveis de extrusão				VALOR "OIMS"		Densidade (g/cm ³)	Abs. H ₂ O/40C (g H ₂ O/g mat.seca)	Abs. H ₂ O/980C (g H ₂ O/g mat.seca)	Taxa de Hidratação a 980C	Grau de Desintegração a 1210C (%)
	U(%)	T(0C)	D(mm)	R(rpm)	Força máxima média (kgf)	Mastigabilidade (cm ²)					
7	25	170	6	75	3,5	18	0,47	3,22	3,47	BTH	6,9
15	25	170	6	125	10,0	44	0,56	3,09	3,83	BTH	1,0
17	22	150	5	100	9,0	30	0,63	2,08	3,33	BTH	1,5
20	28	190	5	100	3,0	13	0,42	3,23	3,58	BTH	0,5
21	22	190	3	100	5,0	20	0,37	3,22	3,14	BTH	4,5
22	22	190	7	100	10,0	44	0,51	2,87	3,15	BTH	5,9
MÉDIA					7 ± 3	28 ± 33	0,49 ± 0,09	3,0 ± 0,4	3,4 ± 0,3	BTH	3 ± 2

"OIMS" = OTTAWA TEXTURE MEASURING SYSTEM
 BTH = baixa taxa de hidratação

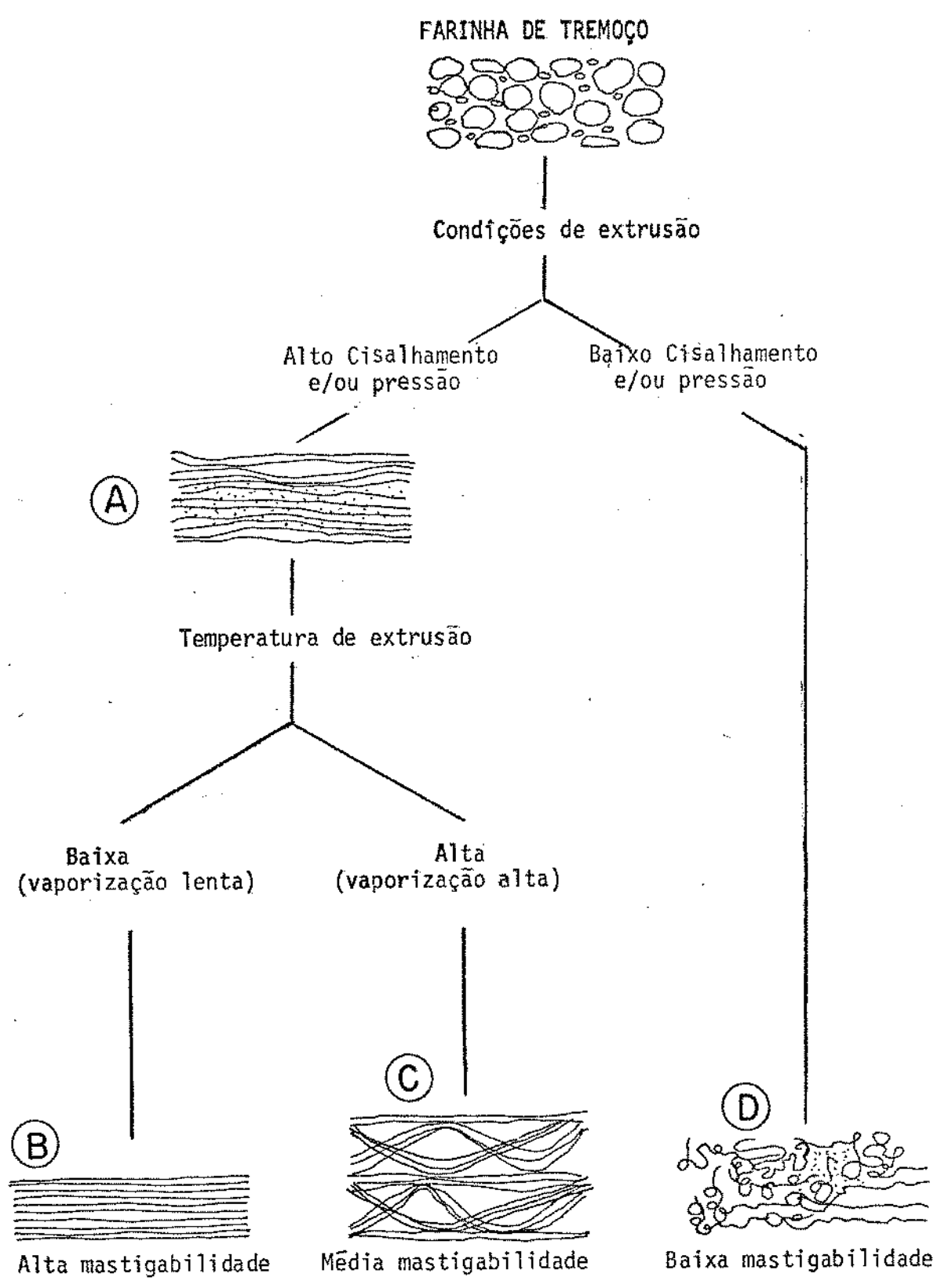


FIGURA 14. Efeito das condições de extrusão na formação de produtos texturizados de tremço com alta, média e baixa mastigabilidade.

ções, conforme a temperatura de extrusão. Se a temperatura de extrusão for baixa, próxima de 170°C, a queda de pressão na saída do extrusor faz com que a água retida na massa plástica se evapore lentamente, permitindo que as cadeias se aproximem, formando o máximo de ligações entre si, resultando numa estrutura contínua, compacta e sem expansão responsável pela alta mastigabilidade, como mostra o modelo B da Figura 14 e fotos das Figuras 15 e 16. A Figura 15 mostra fotos da macro e microestrutura de um produto de tremoço texturizado nestas condições. A foto (a) apresenta o produto na forma de um cordão contínuo, sem expansão e aspecto translúcido devido a ausência de bolhas de ar. A foto (b), uma pequena ampliação (50 vezes) da secção transversal deste produto, mostra uma superfície lisa, homogênea e de aparência compacta. Através da foto (c) (aumento de 1.500 vezes) pode-se visualizar o alinhamento unidirecional das estruturas filamentosas. A Figura 16 mostra o aspecto, em tamanho natural, dos produtos texturizados de tremoço que apresentaram alta mastigabilidade.

Por outro lado, o produto correspondente ao modelo A, sob condições de alta temperatura, sofre instantânea vaporização da água devido à elevada queda de pressão na saída da matriz, o que provoca a expansão da rede protéica e diminui os pontos de ligação entre cadeias adjacentes, como mostra modelo C da Figura 14. O equilíbrio entre a velocidade de vaporização e o resfriamento, devido à vaporização que solidifica a estrutura, permite ampla gama de textura dentro da faixa de média mastigabilidade, como sugere a Figura 17. Se o produto permanece relativamente mais tempo na forma elástica antes de se solidificar, obtém-se um maior grau de expansão, resultando num produto bastante poroso, como mostra a Figura 18. Nesta Figura estão as fotos (a), (b) e (c) de um produto expandido sob os respectivos aumentos de 5,50 a 1.500 vezes. Observa-se através da foto(a) o aspecto esponjoso do produto, onde aparecem inúmeras cavidades de ar. A foto (b) mostra com aumento a secção transversal deste produto. Observam-se cavidades com ar e

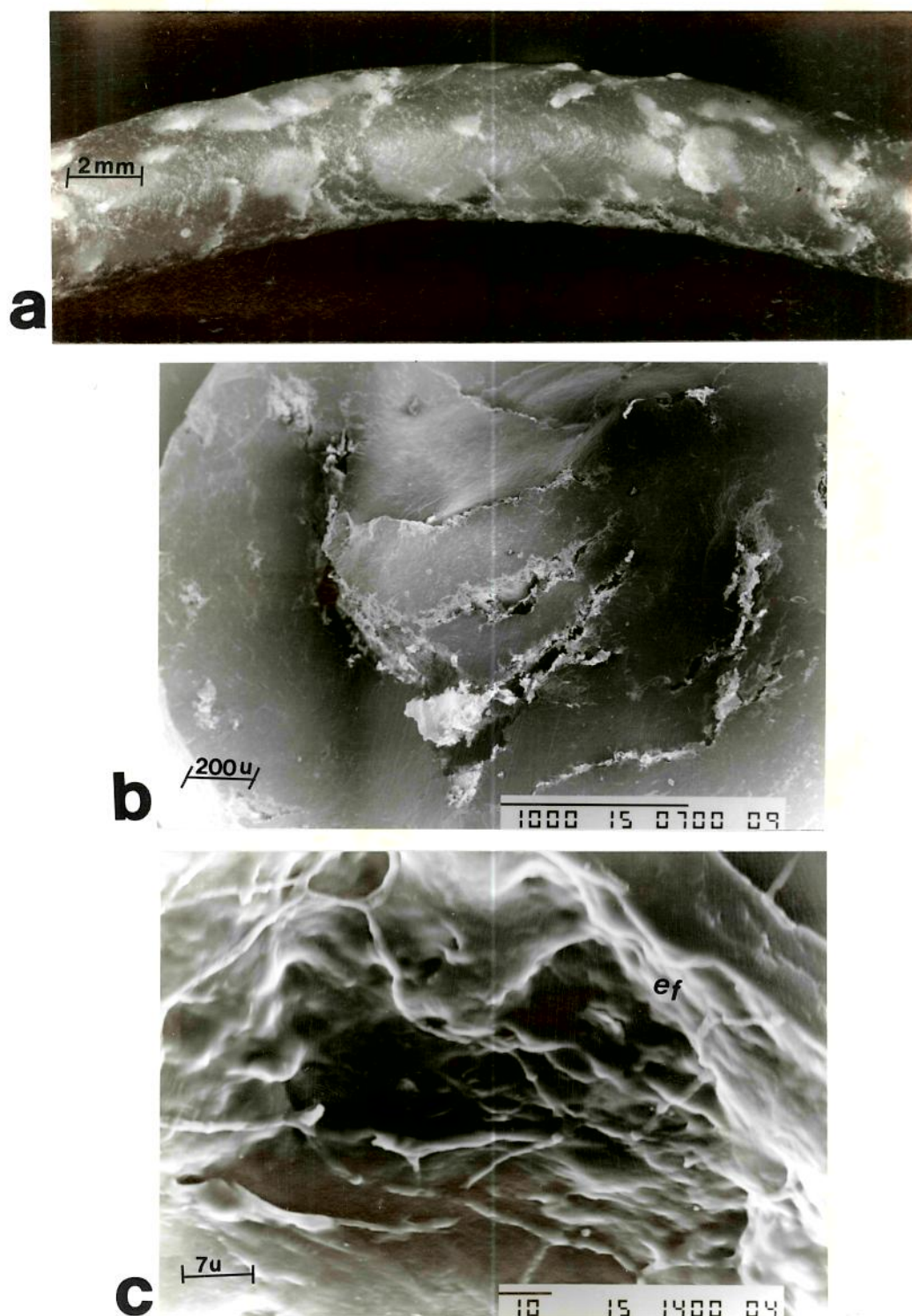


FIGURA 15. Aspecto macroscópico e microscópico (M.E.V.)* de produtos texturizados de tremço com alta mastigabilidade.

(*) = microscópio eletrônico de varredura

ef = estruturas filamentosas

condições de extrusão: umidade da farinha = 25%, temperatura de extrusão = 170°C, diâmetro da matriz = 4mm e velocidade do parafuso = 125rpm



U=25/T=170/D=4/R=75



U=19/T=170/D=6/R=75



U=19/T=170/D=6/R=125



U=25/T=170/D=4/R=125



U=19/T=170/D=6/R=125

FIGURA 16. Aspecto dos produtos texturizados de tremço com alta mastigabilidade obtidos sob diferentes condições de extrusão.

U = umidade da farinha (%)
 D = diâmetro da matriz (mm)
 T = temperatura de extrusão (°C)
 R = velocidade do parafuso (rpm)

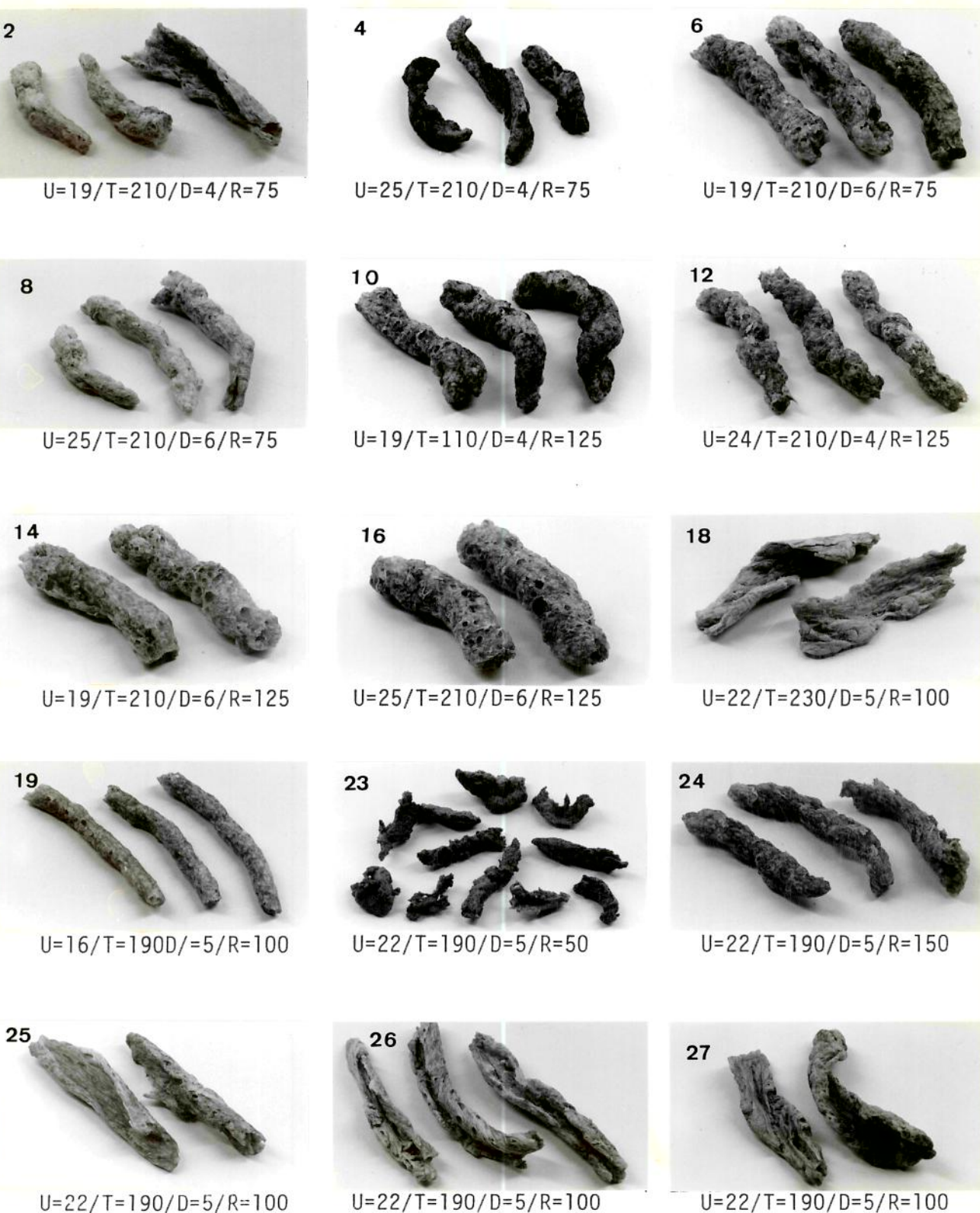


FIGURA 17. Aspecto dos produtos texturizados de tremoço com média mastigabilidade obtidos sob diferentes condições de extrusão.

U = umidade da farinha (%)
 D = diâmetro da matriz (mm)
 T = temperatura de extrusão (°C)
 R = velocidade do parafuso (rpm)

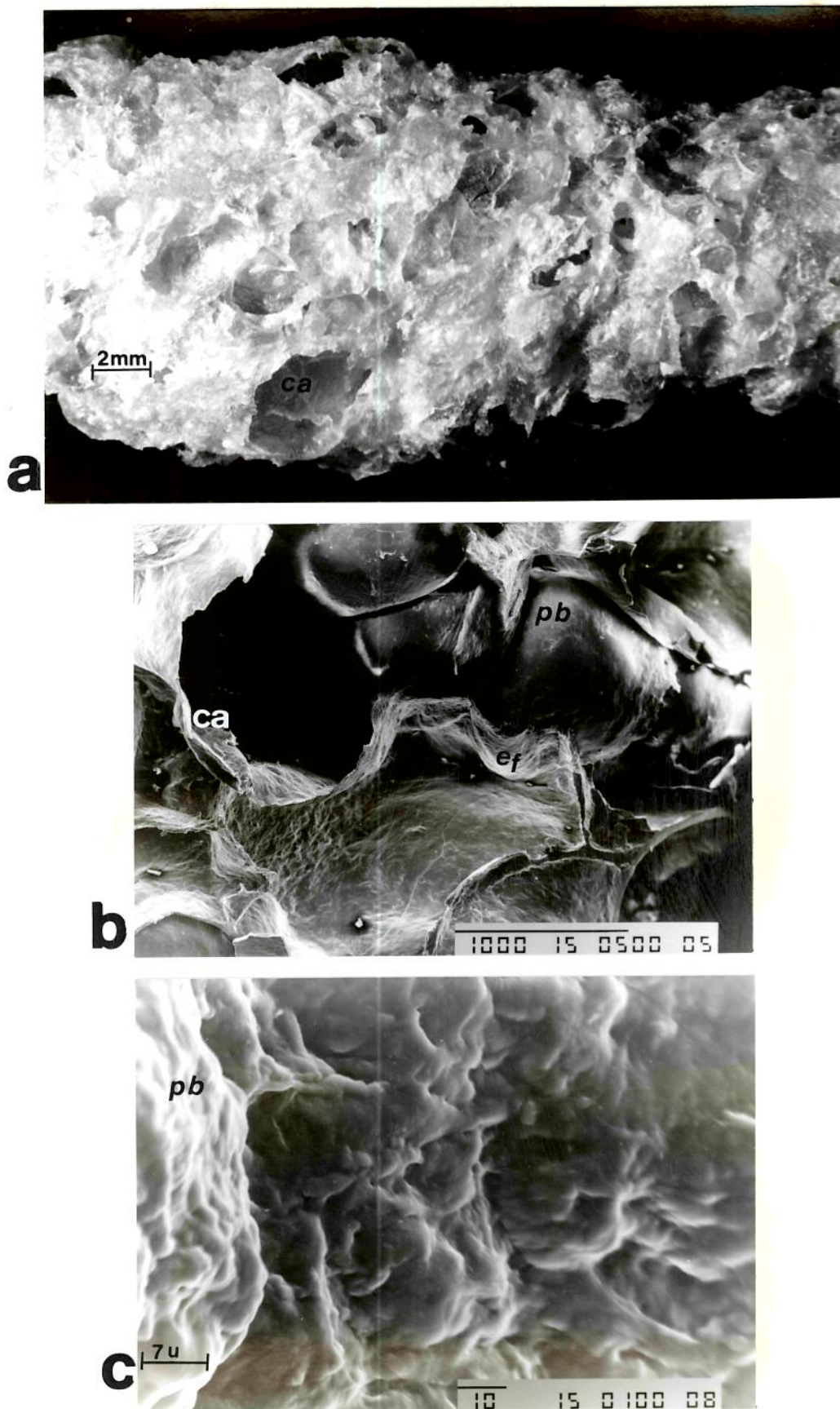


FIGURA 18. Aspecto macroscópico e microscópico (M.E.V.)* de produtos texturizados de tremoço com média mastigabilidade (tipo expandido).

(*) = microscópio eletrônico de varredura

ca = cavidade de ar; pb = parede da bolha; ef = estruturas filamentosas

condições de extrusão: umidade da farinha = 19%; temperatura de extrusão = 210°C; diâmetro da matriz = 6mm e velocidade do parafuso = 125rpm

estruturas na forma de bolhas entre camadas alinhadas deste produto. A foto (c) mostra detalhe da parede da bolha de ar. Ainda nesta situação, porém se a taxa de vaporização é relativamente baixa, o produto se expande menos e mantém melhor a estrutura que tinha antes da saída matriz, resultando num produto com aparência mais fibrosa, como mostra a **Figura 19**. Nesta Figura as fotos (a), (b) e (c) mostram o produto fibroso sob os respectivos aumentos de 5,50 e 1500 vezes. A foto (a) mostra o produto na forma de fita retorcida, com grande alinhamento unidirecional e algumas cavidades com ar. A ampliação intermediária (foto b) mostra estruturas filamentosas intercaladas com células de ar bastante alongadas. Na foto (c) observa-se, no canto inferior à direita, detalhes da estrutura filamentosa. Observa-se ainda nesta foto detalhes das cavidades com ar que se apresentam na forma de canaletas.

Numa terceira situação de extrusão, quando a temperatura é baixa e as taxas de cisalhamento e/ou pressão são inadequadas (baixas), não ocorre suficiente desenrolamento das cadeias protéicas, o que resulta em produtos de baixa mastigabilidade devido às estruturas descontínuas, sem maximização das ligações entre cadeias protéicas, como mostra o modelo D da **Figura 14** e fotos das **Figuras 20** e **21**. A **Figura 20** mostra fotos (a), (b) e (c) de um produto extrudado nestas condições, com os respectivos aumentos de 5,50 e 1.500 vezes. A foto (a) mostra um cordão sem expansão, de superfície rugosa e heterogênea, com cavidades de ar indicando ruptura e descontinuidade. A foto (b) mostra a secção transversal deste produto, onde aparecem cavidades de ar e paredes espessas de aspecto heterogêneo. A foto (c) mostra estruturas de formas irregulares, sem orientação preferencial e com interstícios de ar de formas não definidas. A **Figura 21** mostra o aspecto dos produtos de tremço que apresentaram baixa mastigabilidade.

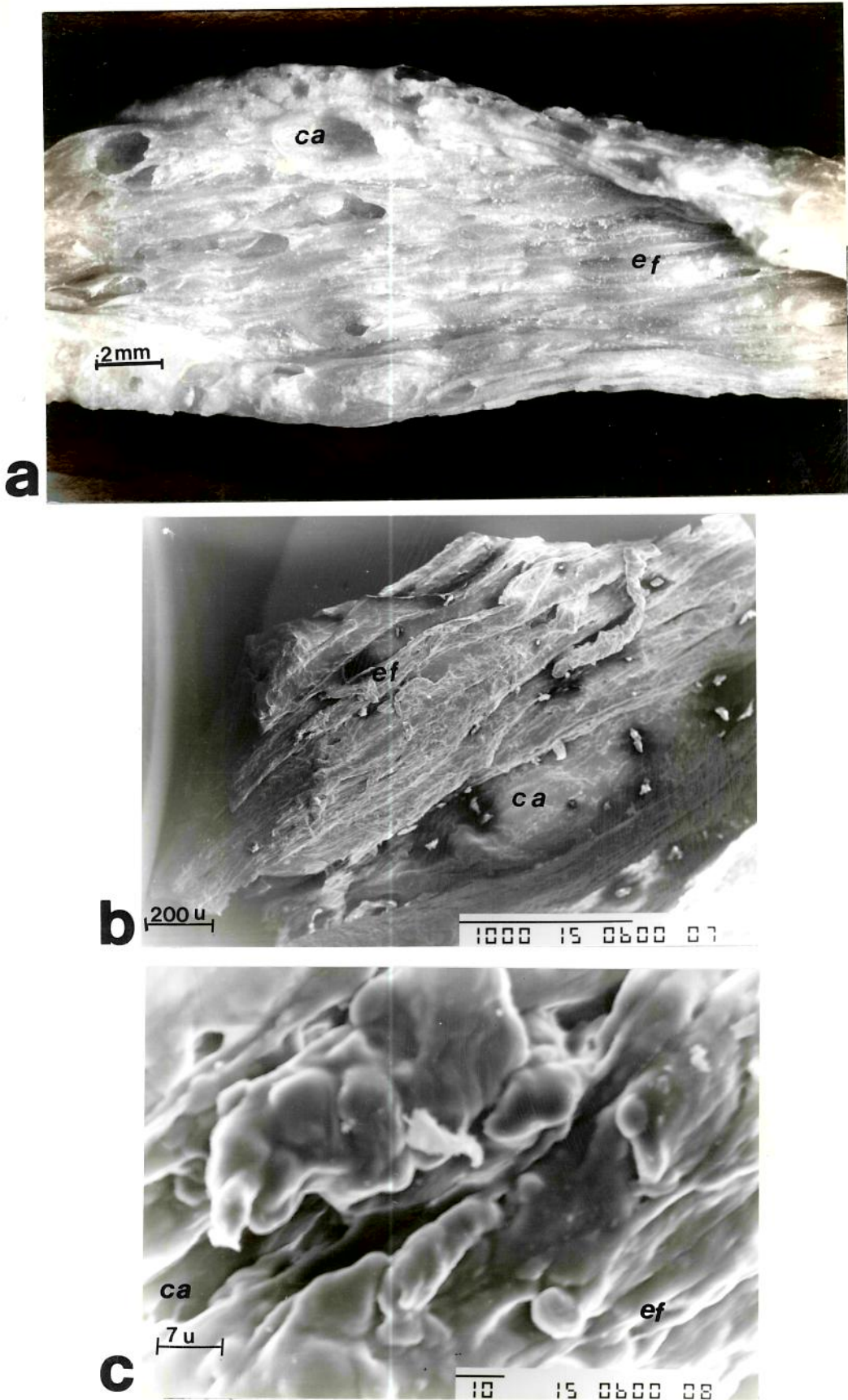


FIGURA 19. Aspecto macroscópico e microscópico (M.E.V.)* de produtos texturizados de tremço com média mastigabilidade (tibo fibroso).

(*) = microscópio eletrônico de varredura

ca = cavidade de ar; pb = parede da bolha; ef = estruturas filamentosas

condições de extrusão: umidade da farinha = 22%; temperatura = 190°C; diâmetro da matriz = 5mm e velocidade do parafuso = 100rpm

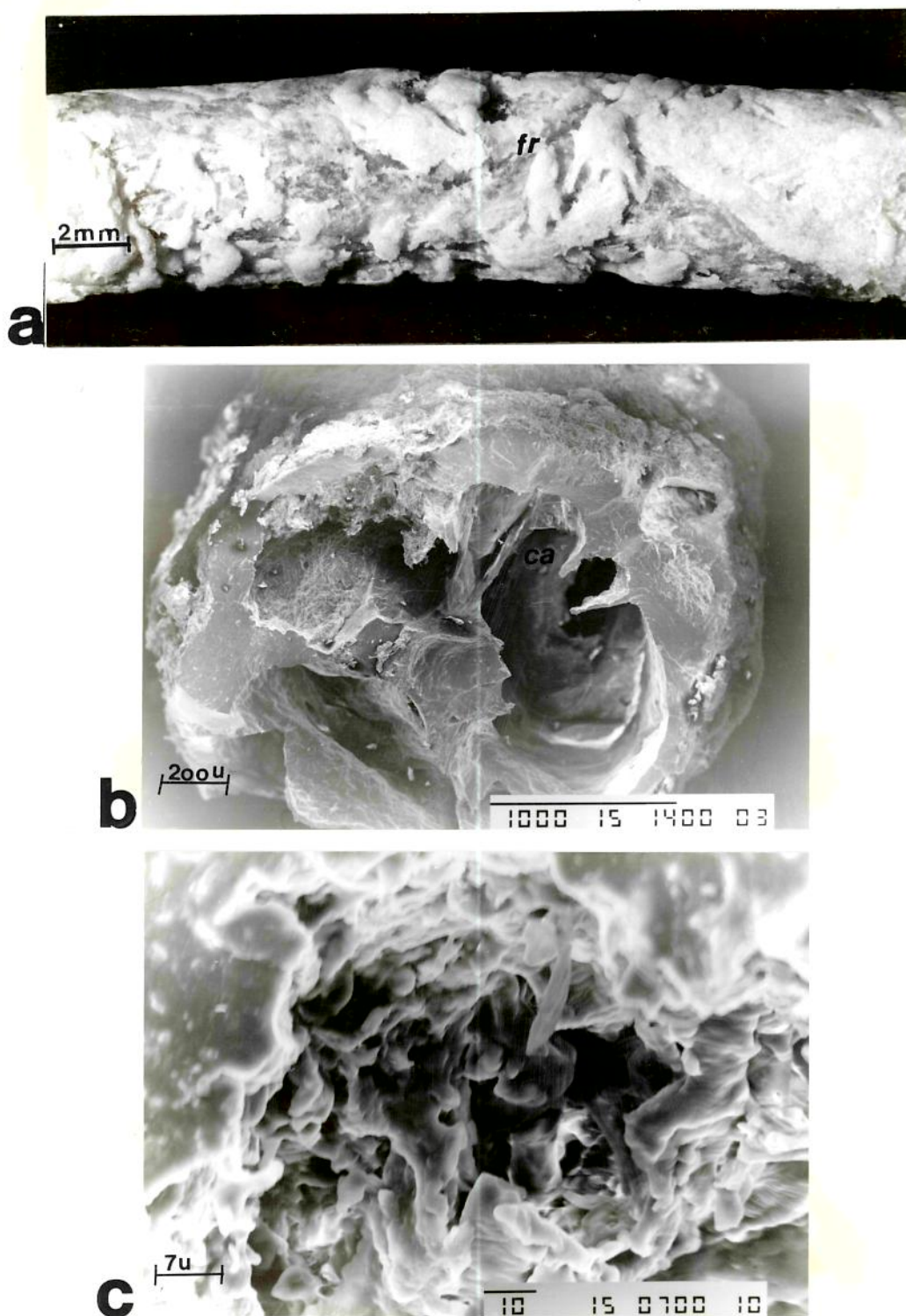


FIGURA 20. Aspecto macroscópico e microscópico (M.E.V.)* de produtos texturizados de tremço com baixa mastigabilidade.

(*) = microscópio eletrônico de varredura

ca = cavidade com ar; fr = fraturas

condições de extrusão: umidade da farinha = 22%, temperatura = 170°C; diâmetro da matriz = 7mm e velocidade do parafuso = 125rpm



U=25/T=170/D=6/R=75



U=25/T=170/D=6/R=125



U=22/T=150/D=5/R=100



U=28/T=190/D=5/R=100



U=22/T=190/D=3/R=100



U=22/T=190/D=7/R=100

FIGURA 21. Aspecto dos produtos texturizados de tremço com baixa mastigabilidade obtidos sob diferentes condições de extrusão.

U = umidade da farinha (%)
 D = diâmetro da matriz (mm)
 T = temperatura de extrusão (°C)
 R = velocidade do parafuso (rpm)

4.3. UMIDADE

Após a extrusão, o material deve ser seco para atingir as condições ideais de conservação. Quanto maior a umidade do produto texturizado maiores serão os gastos envolvidos com energia para secá-lo, portanto, tal fator deve ser considerado na análise econômica global do processo de extrusão.

Os resultados experimentais da umidade dos produtos recém-extrudados estão apresentados no Quadro 33. Tais dados mostram que a umidade do produto texturizado de tremoço variou de 7,13 a 16,30%, conforme as condições de extrusão.

O modelo abaixo apresentado, segundo resultados apresentados no Quadro 34, é estatisticamente significativo ($p = 0,00000$) e explica 93% da variação da umidade obtida nas diferentes condições de extrusão.

$$Y = 11,61 - 1,66T + 1,71U - 0,43T^2 + 0,30U^2$$

Através da superfície de resposta, apresentada na Figura 22, verifica-se que a umidade estabelecida para o produto texturizado de tremoço, até mesmo em níveis que dispensam a secagem posterior, pode ser obtida através da seleção da umidade da farinha e da temperatura de extrusão, independentemente das demais variáveis, que adequadamente controladas poderão maximizar as propriedades funcionais desejadas.

4.4. TORQUE

O torque é uma medida de trabalho mecânico necessário para bombear o material através da matriz. Um processo mais eficiente em termos de menor consumo de energia ocorre quando o torque é mínimo.

Os dados experimentais do torque são apresentados no Quadro 35. Estes

QUADRO 33. Influência das variáveis de processo de extrusão na umidade do produto texturizado de tremoço.

Tratamentos	Variáveis de extrusão				Umidade (% em base seca)
	U (%)	T (°C)	D (mm)	R (rpm)	
01	19	170	4	75	11,09
02	19	210	4	75	7,13
03	25	170	4	75	15,28
04	25	210	4	75	-
05	19	170	6	75	11,82
06	19	210	6	75	8,45
07	25	170	6	75	14,86
08	25	210	6	75	10,78
09	19	170	4	125	11,39
10	19	210	4	125	8,39
11	25	170	4	125	16,28
12	25	210	4	125	10,09
13	19	170	6	125	11,41
14	19	210	6	125	8,31
15	25	170	6	125	14,81
16	25	210	6	125	11,54
17	22	150	5	100	12,18
18	22	230	5	100	7,62
19	16	190	5	100	9,37
20	28	190	5	100	16,30
21	22	190	3	100	11,80
22	22	190	7	100	11,35
23	22	190	5	50	10,71
24	22	190	5	150	12,50
25	22	190	5	100	11,70
26	22	190	5	100	11,50
27	22	190	5	100	11,20
28	22	190	5	100	11,71
29	22	190	5	100	11,30
30	22	190	5	100	12,51
31	22	190	5	100	11,50

U = Umidade da farinha
T = Temperatura de extrusão
D = Diâmetro da matriz
R = Velocidade do parafuso

QUADRO 34. Análise de variância e estimativa dos coeficientes da regressão para umidade (%).

Média das respostas	11,50
Desvio padrão	2,36
Coefficiente de variação	1,09
R ²	0,93

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M	F	Prob > F
Regressão	4	145,2	36,30	77,05	0,00000
Resíduos	24	113	0,47		
Total	28				

Variável	Estimativa do coeficiente	Prob > t
Intercepto	11,61	0,0000
T	- 1,66	0,0000
U	1,71	0,0000
T ²	-0,43	0,0023
U ²	0,30	0,0309

GL = graus de liberdade
 SQ = soma dos quadrados
 QM = quadrado médio
 T = temperatura de extrusão
 U = umidade da farinha

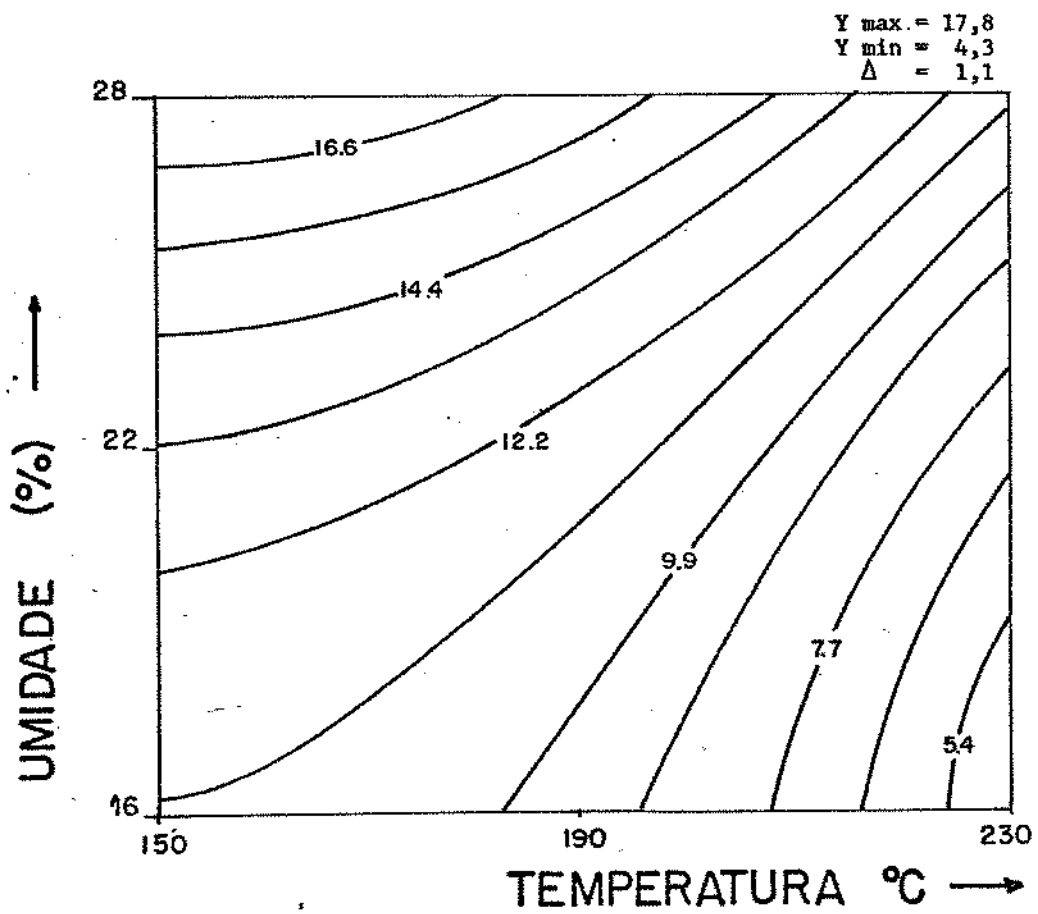


FIGURA 22. Efeito da umidade da farinha, e da temperatura de extrusão na umidade (% em base seca) de produtos texturizados de tremoço.

Velocidade do parafuso: 50- 150 rpm
Diâmetro da matriz : 3- 7mm

QUADRO 35. Influência das variáveis de extrusão de farinha desengordurada de tremço no torque.

Tratamentos	Variáveis de extrusão				Torque (gf x m)
	U (%)	T (°C)	D (mm)	R (rpm)	
01	19	170	4	75	3.700
02	19	210	4	75	3.000
03	25	170	4	75	2.200
04	25	210	4	75	1.600
05	19	170	6	75	2.100
06	19	210	6	75	2.900
07	25	170	6	75	2.400
08	25	210	6	75	1.800
09	19	170	4	125	3.800
10	19	210	4	125	3.300
11	25	170	4	125	2.200
12	25	210	4	125	1.900
13	19	170	6	125	2.700
14	19	210	6	125	2.500
15	25	170	6	125	2.200
16	25	210	6	125	2.100
17	22	150	5	100	2.100
18	22	230	5	100	1.900
19	16	190	5	100	2.900
20	28	190	5	100	1.400
21	22	190	3	100	3.100
22	22	190	7	100	2.700
23	22	190	5	50	3.000
24	22	190	5	150	2.100
25	22	190	5	100	2.100
26	22	190	5	100	2.100
27	22	190	5	100	2.000
28	22	190	5	100	2.000
29	22	190	5	100	2.000
30	22	190	5	100	2.000
31	22	190	5	100	2.000

U = Umidade da farinha

T = Temperatura de extrusão

D = Diâmetro da matriz

R = Velocidade do parafuso

dados mostram que o torque variou de 1.400 a 3.800 (gf.m), conforme as condições de extrusão. A partir destes resultados determinou-se o modelo preditivo apresentado abaixo. A análise de variância e as estimativas dos coeficientes de regressão estão apresentados no Quadro 36.

$$Y = 2119,2 - 108,3T - 441,6U - 158,30D + 220,9D^2 + 133,4R^2 + 125,0TD + 262,5UD$$

De acordo com o Quadro 36, verificou-se que o modelo é altamente significativo ($p = 0,00000$) e explica 86% da variação do torque. Podemos, portanto, considerá-lo um bom modelo e utilizá-lo para verificar a tendência do torque frente às variações de temperatura, diâmetro, umidade e velocidade do parafuso durante o processo de extrusão.

O efeito da temperatura de extrusão, da umidade da farinha e do diâmetro da matriz no torque, sob velocidade constante do parafuso (100rpm), pode ser visualizado através das superfícies de resposta apresentadas na Figura 23.

De acordo com a Figura 23, verificou-se que a medida que a umidade aumentou o torque diminuiu. Tal efeito foi observado para matrizes de 3 a 6mm de diâmetro. No caso de 7mm observou-se tendência oposta. A queda do torque com o aumento da umidade pode ser atribuído à menor viscosidade do material mais úmido, que exigiu menor esforço do motor para ser conduzido através do extrusor.

Com relação ao efeito da temperatura, verificou-se que a medida que esta aumentou o torque diminuiu, provavelmente porque o aumento da temperatura provocou uma queda de viscosidade que facilitou o fluxo do produto. Esta tendência observada no caso de matrizes com 3 e 4mm foi menor que no caso de 5mm e oposta nos diâmetros maiores. Esta inversão da tendência, no caso de grandes diâmetros, pode ser atribuída ao nível de pressão dentro do extrusor, que pode ter sido suficientemente baixo para permitir que parte da água total exista na forma de vapor. Nestas condições, quanto maior for a

QUADRO 36. Análise de variância e estimativa dos coeficientes da regressão para o torque (gf.m).

Média das respostas	2.393,15
Desvio padrão	581,9
Coefficiente de variação	1,33
R ²	0,86

Causas de variação	G.L.	S.Q	Q.M.	F	Prob > F
Regressão	7	8.724,8x10 ³	1246,x10 ³	19,99	0,00000
Resíduos	23	1.433,9x10 ³	6234,53		
Total	30				

Variável	Estimativa dos coeficientes	Prob > t
Intercepto	2119,23	0,0000
T	- 108,33	0,0445
U	- 441,66	0,0000
D	- 158,33	0,0050
D ²	220,91	0,0001
R ²	133,41	0,0083
TD	125,00	0,0572
UD	262,50	0,0003

GL = graus de liberdade
 SQ = soma dos quadrados
 QM = quadrado médio
 T = temperatura de extrusão (Cº)
 U = Umidade da farinha (%)
 D = Diâmetro da matriz
 R = Velocidade do parafuso

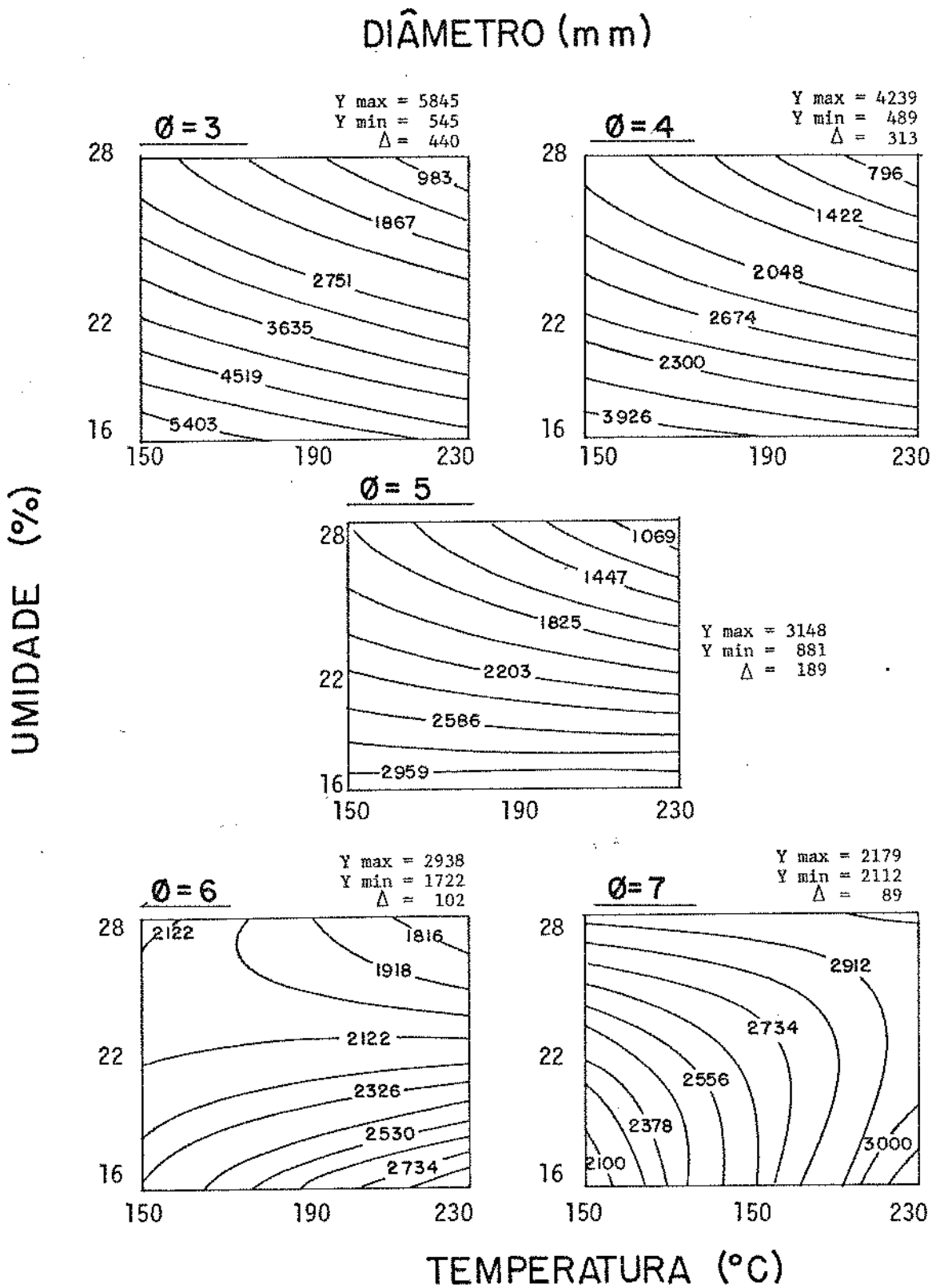


FIGURA 23. Efeito do diâmetro da matriz, umidade da farinha e da temperatura de extrusão, no torque (gf.m) durante a extrusão de farinha de tremço com velocidade do parafuso de 100 rpm.

temperatura de extrusão menor será a água retida na massa, que resultará num produto mais viscoso, que exigirá maior torque do motor para manter o fluxo através do extrusor. Assim, parece que nestas condições de grandes diâmetros da matriz (6 e 7mm) o aumento da viscosidade devido à menor quantidade de água retida na massa é maior que a redução da viscosidade provocada pelo aumento de temperatura.

Observou-se ainda que o torque máximo diminuiu à medida que se aumentou o diâmetro da matriz. Este fato ocorreu devido o aumento da vazão, que diminuiu a quantidade do material dentro do extrusor, provocando queda de pressão uma vez que a alimentação foi constante. A partir de 5mm verificou-se que o torque máximo praticamente se estabilizou.

O comportamento do torque em função da umidade da farinha, temperatura de extrusão e do diâmetro da matriz para as demais velocidades do parafuso, embora com valores diferentes, foi semelhante ao caso de velocidade de 100rpm retro-exposto. Tal fato pode ser constatado através do modelo determinado para o torque, onde se verifica que não há interações das demais variáveis com a variável R, o que resulta em superfícies de resposta semelhantes às apresentadas na Figura 23.

O efeito da velocidade do parafuso nos valores do torque pode ser visto através dos Quadros 37, 38 e 39. De acordo com estes Quadros verificou-se que o aumento de rotação provocou diminuição do torque até um valor mínimo, obtido quando a velocidade atingiu 100rpm. A partir deste ponto, o aumento de rotação provocou um aumento do torque. Este efeito foi observado em todos os níveis de temperatura, umidade e diâmetro.

QUADRO 37. Efeito da velocidade do parafuso e da temperatura no torque (gf.m) exigido durante a extrusão de farinha desengordurada de tremçoço.

Velocidade do parafuso (rpm)	Temperatura de extrusão (°C)				
	150	170	190	210	230
50	2869	2761	2653	2545	2936
75	2469	2361	2253	2144	2036
100	2336	2228	2119	2011	1903
125	2469	2361	2253	2144	2036
150	2869	2761	2653	2545	2453

Obs.: diâmetro da matriz = 5mm
umidade da farinha = 22%

QUADRO 38. Efeito da umidade da farinha e da velocidade do parafuso no torque (gf.m) exigido durante a extrusão de farinha desengordurada de tremçoço.

Velocidade do parafuso (rpm)	Umidade (%)				
	16	19	22	25	28
50	3356	3095	2653	2211	1770
75	3136	2694	2253	1811	1369
100	3002	2561	2119	1678	1236
125	3136	2694	2253	1811	1369
150	3536	3095	2653	2211	1770

Obs.: Temperatura de extrusão = 190°C
Diâmetro da matriz = 5mm

QUADRO 39. Efeito da velocidade do parafuso e do diâmetro da matriz no torque (gf.m) exigido durante a extrusão da farinha desengordurada de tremço.

Velocidade do parafuso (rpm)	Diâmetro da matriz (mm)				
	3	4	5	6	7
50	3853	3032	2653	2716	3220
75	3452	2632	2252	2315	2820
100	3319	2498	2119	2182	2686
125	3452	2632	2252	2315	2820
150	3853	3032	2653	2716	2220

Obs.: Umidade da farinha = 22%
Temperatura de extrusão = 190°C

5. CONCLUSÕES

É possível produzir produtos texturizados de tremoço doce com diferentes propriedades funcionais através do controle das variáveis operacionais da extrusão termoplástica.

A temperatura de extrusão, a umidade da farinha e o diâmetro da matriz afetam significativamente as propriedades funcionais dos produtos texturizados de tremoço. O efeito da velocidade do parafuso se limita a algumas propriedades funcionais. A combinação adequada destas variáveis permite a produção de produtos texturizados com características específicas.

É possível, em função das variáveis de extrusão, estabelecer modelos matemáticos que explicam o comportamento das propriedades funcionais dos produtos texturizados de farinha desengordurada de tremoço.

Produtos texturizados de tremoço de alta mastigabilidade são obtidos nas condições de elevada pressão (pequenos diâmetros da matriz) e/ou elevado cisalhamento (baixa umidade da farinha) e sob baixa temperatura de extrusão (170°C). Estes produtos são caracterizados pela alta densidade, elevada absorção de água a 98°C, baixa absorção de água a 40°C e baixo grau de desintegração durante a autoclavagem.

Produtos de média mastigabilidade são obtidos nas mesmas condições anteriores de pressão e cisalhamento, porém sob temperaturas de extrusão mais elevadas (190-230°C). Estes produtos são caracterizados pela baixa densida-

de, baixa absorção da água a 98°C, alto grau de desintegração durante a autoclavagem e elevada absorção de água a 40°C.

Produtos texturizados de tremço de baixa mastigabilidade são produzidos sob baixo cisalhamento (umidade da farinha média ou alta) e/ou baixa pressão (grandes diâmetros da matriz) e sob temperatura de extrusão baixa ou média (150-190°C). Estes produtos são caracterizados por alta densidade, elevada absorção de água a 98 e 40°C e baixo grau de desintegração durante a autoclavagem.

As condições operacionais de extrusão, isto é, temperatura, umidade da farinha, diâmetro da matriz e, para certos casos, a velocidade do parafuso, para a produção de proteína texturizada de tremço devem ser estabelecidas em função do conjunto de propriedades funcionais exigidas em cada aplicação.

Em face das mudanças significativas das propriedades funcionais em função das variáveis estudadas, concluiu-se que a otimização do processo de extrusão de farinha desengordurada de tremço doce, visando atender às propriedades funcionais estabelecidas e às condições de mínimo custo, pode ser feita pela intersecção das diversas regiões delimitadas, conforme interesse, nas superfícies de resposta determinadas para cada propriedade.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABOAGYE, Y. & STANLEY, D.W. Texturization of peanut proteins by and press texturizer. *Can. Inst. Food Sci. Technol. J.*, Ottawa, 18(1):3-11, 1985.
- ADOLPHSON, L.C. & HORAN, F.E. Textured vegetable proteins products as meat extenders. *Cereal Sci. Today*, St. Paul, 19:441-446, 1974.
- AGUILERA, J.M. *Texturization of foods: raw materials, processes and products* Thesis (Ph.D), Cornell, Cornell University, 1976, 180p.
- AGUILERA, J.M. & KOSIKOWSKY, F.V. Soybean extruded product: a response surface analysis. *J. Food Sci.*, Chicago, 41(3):647-650, 1976.
- AGUILERA, J.M.; KOSIKOWSKI, F.V.; HOOD, L. F. Ultrastructure changes occurring during thermoplastic extrusion of soybean grits. *J. Food Sci.*, Chicago, 41(5):1209-1213, 1976.
- AGUILERA, J.M. & TRIER, A. The revival of the lupin. *Food Technol.*, Chicago, 32(8):70-76, 1978.
- AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. *Approved methods of the AACC*. 7 ed. Sr. Paul, 1976. v. 1-2.
- AMERICAN OIL CHEMISTS SOCIETY. *Official and tentative methods of the AOCS*. Chicago, 1979. v. 1-2.
- ANSON, M.L. & PADER, M. Methods for meat-like products. *US Patent* 2.879.163, 1959.

- AOKI, H. Studies on the gelation of soybean protein 2. On the fundamental factors affecting the gelation of soybean protein, *Nippon Nogei Nakaku, Kaishi*, 42:544, 1968.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. *Official methods of analysis on the Association of Official Analytical Chemists*. 11. ed. Washington, 1979, 1015p.
- ATKINSON, K.T. Meat-like protein food. *US Patent*, 3.488.770, 1970.
- BAILEY, R.W.; MILLS, S.E.; HOVE, E.L. Composition of sweet and bitter lupin seed hulls with observations on the apparent digestibility of sweet lupin seed hulls by young rats. *J. Sci. Food Agric.*, London, 25(8):955-961, 1974.
- BALLESTER, D.; YAÑEZ, E.; GARCÍA, R.; ERASO, S.; LÓPEZ, F.; HAARDT, E.; CORNEJO, S.; LÓPEZ, A.; POKNIAK, J.; CHICHESTER, C. Chemical composition, nutritive value and toxicological evaluation of two species of sweet lupine (*Lupinus albus* and *Lupinus luteus*). *J. Agric. Food Chem.*, Washington, 28(2):402-405, 1980.
- BLAGROVE, R.J. & GILLESPIE, J.M. Isolation, purification and characterization of the globulins of *Lupinus angustifolius*. *Aust. J. Plant, Physiol.*, Eschborn, 2:13-27, 1975.
- BLIGH, E.C. & DYER, W.K. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can. J. Biochem. Physiol.*, Ottawa, 37:911-917, 1959.
- BORENSTEIN, B. Vitamin and mineral fortification. In: INGLETT, G.E. ed. *Fabricated foods*. Westport. AVI; 1975.
- BOX, G.E.P. & DRAPER, N.R. *Empirical model-building and response surface*. New York, John Wiley & Sons, 1987. 669p.

- BRASIL. Governo do Estado de São Paulo. Normas Técnicas Especiais Relativas a Alimentos e Bebidas. NTA 36. II. *Diário Oficial*, Estado de São Paulo, 21 out. 1981.
- BREENE; W.N. & BARKER, T.G. Development and application of a texture measurement procedure for textured vegetable protein. *J. Text. Stud.*, Dordrecht, 6:459-472, 1975.
- BURGESS, L.D. & STANLEY, D.W. A possible mechanism for thermal texturization of soybean protein. *Can. Inst. Food Sci. Technol. J.*, Ottawa, 9(4): 228-231, 1976.
- CAMPOS, J.E. & EL-DASH, A.A. Effect of addition of full fat sweet lupine flour on rheological properties of dough and baking quality of bread. *Cereal Chem.*, St. Paul, 55(5):619-627, 1978.
- CATRON, D.V. Impact of nutrition and food science on animal agriculture. *Soybean Dig.*, Hudson, 27(12):71-74, 1967.
- CEGLA, G.F.; TARANTO, M.V.; BELL, K.R.; RHEE, K.C. Microscopic structure of textured cottonseed flour blends. *J. Food Sci.*, Chicago, 43(3):775-779, 1978.
- CERLETTI, P. & DURANTI, M. Development of lupine proteins. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, Chicago, 56(3):460-463, 1979.
- CERLETTI, P.; DURANTI, M.; RESTANI, P. Chemical nutritional and functional properties of lupine seed proteins. In: GROSS, R. & BUNTING, E. E. eds. *Agricultural and nutritional aspects of lupines*. Proceedings of the First International Lupine Workshop, Eschborn, GTZ, 1982. p.471-483.
- CERNING-BEROARD, J. & FILIATRE, A. A comparison of the carbohydrate composition of legume seeds: horse beans, peas and lupines. *Cereal Chem.*, St. Paul, 53(6):968-978, 1976.

- CHEFTEL, C.; CUQ, J.; PROVANSAL, M.; BESANCON, P. Influence de procedes technologiques sur la composition et la valeur nutritionelle d'aliments proteiques. *Rev. Fr. Corps. Gras.*, Paris, 23:7-13, 1976.
- CLARK, J.P. Texturization by extrusion. *J. Text. Stud.*, Dordrecht, 9(5): 109-123, 1978.
- COCHRAN, W.G. & COX, G.M. *Experimental designs*. 2ed. John Wiley and Sons, 1964, New York, p. 335 a 370.
- CUMMING, D.B.; STANLEY, D.W.; DE MAN, J.M. Texture-structure relationship in texturized soy protein.II. Textural properties and ultrastructure of and extruded soybean product.*Can. Inst. Food Sci. Technol. J.*, Ottawa, 5: 124-128, 1972.
- DERPSCH, R.M.; ALBERINI, J.L.; MONDARDO, A.; MUZILLI, O. *Informações sobre tremço (Lupinus sp.)*. Londrina, IAPAR, 1980. 20p. (IAPAR. Informe de Pesquisa, 29).
- EL-DASH, A.A. Application and control of thermoplastic extrusion of cereals for food and industrial uses. In: POMERANZ, Y. & MUNCH, L. *International Symposium on Cereal: a renewable resource, theory and practice*. St. Paul, AACC, 1982, 728p.
- E.U.A./United States Department of Agriculture. *Textured vegetable protein products*. Washington, D.C. 1971 (Food and nutrition service notice, 219).
- E.U.A./United States Department of Agriculture. Note book on soy: textured vegetal protein. *Sch. Food Service J.*, 26:51-58, 1972.
- E.U.A./United States Department of Agriculture. *Edible soy protein: operational aspects of producing and marketing*. Washington, D.C., Farmers Cooperative Service, 1975. (Rep. 33-43).

- FRASIER, P.J. & CRAWSHAW, A. Relationship between die-viscosity, ultrastructure and texture of extruded soya proteins: In: ZEUTHEN, P.; CHEFTEL, J.C.; ERICKSSON, C. eds. *Thermal processing and quality of foods*. Proceedings of the Seminar on the thermal processing and quality of foods. Athens, 14-18 nov. 1983. London, Elsevier applied Science, s.d. p.89-95.
- FRASIER, P.J.; CRAWSHAW, A.; DANIELS, N.W.R.; RUSSEL EGGITT, P.W. Optimization of process variables in extrusion of soya. *J. Food Eng.*, Westport, 2:79-103, 1983.
- FRASIER, P.J.; CRAWSHAW, A.; STIRRUP, J.E.; DANIELS, N.W.B.; RUSSEL EGGITT, P.W. Factors affecting texture formation during extrusion cooking. In: LINKO, P.; MALKKI, U.; OLKKU, J.; LARINKARI, J. eds. *Food process engineering: food processing systems*. London, Applied Science, 1980.v.1, p.768-776.
- GIDDEY, C. Artificial edible structures from non-animal protein. *Cereal Sci. Today*, St. Paul, 10:516-521, 1965.
- GLADSTONES, J.S. Lupins as crop plants. *Field Crop Abstr.*, 23(2):123-148, 1970.
- GLADSTONES, J.S. *Lupins in Western Australia*. Western Australia, Dept. of agric., 1972. 37p. (Bulletin, 8834).
- GRAHAM, G. Review and outlook in session 6: human nutrition in agricultural and nutritional aspects of lupine. In: GROSS, R. & BUNTING, E. S. eds. *Agricultural and nutritional aspects of lupines*; Proceedings of the First International Lupine Workshop. Eschborn, GTZ, 1982. p.777-782.
- GROSS, V.; REYS, J.; SERPA, M. Acceptability trials with lupines. In: GROSS, R. & BUNTING, E.S. eds. *Agricultural and nutritional aspects of lupines*; Proceedings of the First International Lupine Workshop. Eschborn, GTZ, 1982, p.760-775.

- GROSS, R. & VON BAER, E. Die Lupine, ein beibrag zur nahrungs versorgung in den anden allgemeine gesichtspunkte. *Z. Ernahrungswiss*, 14:225, 1975.
- GRUEWELL, E.H.M. Some aspects of research in the application of soy proteins in foods. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, Chicago, 51(1):98 A-100A, 1974.
- GUILLAUME, J. The nutritive value of lupine seed in farm animals. In: GROSS, R. & BUNTING, E.S. eds. *Agricultural and nutritional aspects of lupin*; Proceedings of the First International Lupine Workshop. Eschborn, GTZ, 1982. p. 666-692.
- GUTCHO, M. *Textured foods and allied products*. Park Ridge. Noyes, 1973.
- HARMANN, D.V. & HARPER, J.M. Effect of extruder geometry on torque. *Trans. of the ASAE*, Madison, 16(6):1175-1178, 1973.
- HARPER, J. Extrusion processing of food. *Food Technol.*, 32(7):67-72, 1978.
- HARPER, J.M. Food extrusion. *CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, Cleveland, 11: 115-210, 1979.
- HARPER, J.M. Extrusion texturization of foods. *Food Technol.*, 40(3):70-76, 1986.
- HASHIZUME, K. & WATANABE, T. Improved production of new textured protein by freezing. *Jap. Soc. Food Technol.*, 21(4):136-145, 1974.
- HAYES, L.P.; ROBISON, J.W.; SIMMS, R.P.; RUSSELL, M.E. Process for preparing texturized protein compositions and the resulting products. U. S. Patent 3,870,805, 1975.
- HERMANSSON, A.M. Determination of functional properties of protein foods. In: POTER, J. & ROLLS, B. eds. *Problems in human nutrition*. New York, Academic Press, 1973. p.407-438.

- HILL, G.D. The composition and nutritive value of lupin seed. *Nutr. Abstr. Reviews. Série B. Slough*, 47:511, 1977.
- HOLAY, S.H. & HARPER, J.M. Influence of extrusion shear environment on plant protein texturization. *J. Food Sci.*, Chicago, 47(6):1869-1874. 1982.
- HORAN, F.E. Meat analogs. In: ALTUSCHUL, A. ed., *New protein foods*. New York Academic Press, 1975. v.1A, p.366.
- HORAN, F.E. Protein texturization. In: WHITAKER, J.R.; TANNENBAUM, S. B. eds. *Food proteins*. Westport, AVI, 1977, 484-515p.
- HOVE, E.L. Composition and protein quality of sweet lupin seed. *J. Sci. Food Agric.*, London. 25(7):851-9, 1974.
- HOVÉ, E.L. & KING, S. Trypsin inhibitor contents of lupin seed and grain legumes. *N.Z. J. Agric. Res.* 22(1):41-42, 1979.
- HUANG, F. & RHA, C. Protein structures and protei fibers - a review. *Polymer Eng. Sci.*, London, 14:81-87, 1974.
- HUDSON, B.J.F.; FLEETWOOD, J.G.; ZAND-MOGHADDAM, A. Lupin: and arable food crop for temperate climates. *Plant Foods for Man.* 2:81-87, 1976.
- HUDSON, B.J.F. The nutritional quality of lupin seed. *Qual. Plant - Plant Foods for Human Nutr.* 29(1/2):245-51, 1979.
- IAMMARTINO; N.R. Fabricated protein foods. *Chem. Eng.*, New York, 81:50-54, 1974.
- JEUNINK, J. & CHEFTEL, J.C. Chemical and physicochemical changes in field bean and soybean proteins texturized by extrusion. *J. Food Sci.*, Chicago, 44(5):1322-1328, 1979.

- JOHNSON, D.W. Functional properties of oilseeds proteins. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, Chicago, 47:402-407, 1970.
- JUNGE, I. *Lupine and quinoa a research and development in Chile*. Concepcion Scholl of Engineering, University of Concepcion, 1973. (Report of the bioengineering laboratory).
- KIES, C. & FOX, H.M. Comparison of the protein nutritional value of TVP, methionine enriched TVP and beef at two levels of intake for human adult. *J. Food Sci.*, Chicago, 36(6):841-845, 1971.
- KIES, C. & FOX, H.M. Vitamin/protein interrelationships influencing the nutritive value of soy TVP product for humans (Abstr.) *Cereal Sci. Today*, St. Paul, 18:298, 1973.
- KING, J.; AGUIRRE, C.; PABLO, S. Functional properties of lupin protein isolates (*Lupinus albus* cv. Multolupa). *J. Food Sci.*, Chicago, 50(1):82-87, 1985.
- KINSELLA, J.E. Functional properties of proteins in foods: a survey. *CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, Cleaveland, 7:219-280, 1976.
- KINSELLA, J.E. Texturized proteins: fabrication, flavoring and nutrition. *Food Sci. Nutr.*, Cleaveland, 10(2):147-207, 1978.
- KISSELL, L.T. Optimization of white layer cake formulation by a multiple factor experimental design. *Cereal Chem.*, St. Paul, 44(3):253-268, 1967.
- LAST, J. Thermoplastic extrusion trials of some oil-seed, legume and cereal proteins. *CSIRO Food Res. Q.*, Melbourne, (39):25-29, 1979.
- LAWTON, B.T.; HENDERSON, G.A.; DERLATKA, E.J. The effects of extruder variables on the gelatinization of corn starch. *Can. J. Chem. Eng.*, Ottawa, 50(2):168-172, 1972.

- LIN, M.J.Y. & HUMBERT, E.S. Certain functional properties of sunflower meal products. *J. Food Sci.*, Chicago, 39(2):368-370, 1974.
- LOH, J. & BREENE, W.M. Texture analysis of textured soy protein products: relations between instrumental and sensory evaluation. *J. Text. Stud.* Netherlands, 7(4):405-419, 1977.
- LORENZ, K.; WELSH, J.; NORMANN, R.; BEETNER, G.; FREY, A. Extrusion processing of triticale. *J. Food Sci.*, Chicago, 39(3):572-576, 1974.
- MACRAE, R. & ZAND-MOGHADDAM, A. The determination of the component oligosaccharides of lupin seeds by high pressure liquid chromatography. *J. Sci. Food Agric.*, London, 29:1093-1094, 1978.
- MALGARINI, G. & HUDSON, B.J. Valutazione della caratteristiche chimiche e de alcune propieta funzionali di prodotti derivati dal lupino (*Lupinus albus*). *Rev. Ital, Sost. Grasse*, Milano, 57:378-384, 1980.
- MANGOLD, H.K. Review and outlook in session 3: food technology. In: GROSS; R. & BUNTING, E.S. eds. *Agricultural and nutritional aspects of lupine*; Proceedings of the First International Lupine Workshop. Eschborn, GTZ, 1982. p.443-446.
- MARTIN, R.E.; WIGGINS, R.; ZIEMBA, T.J. Texturized vegetable proteins. *Food Eng.*, New York, 43:80-82, 1971.
- MAURICE, T.J.; BURGESS, L.D. & STANLEY, D.W. Texture-structure relationships in texturized soy protein. III. Textural evaluation of extruded products. *Can. Inst. Food Sci. Technol. J.*, Ottawa, 9(4):173-176, 1976.
- MAURICE, T.J. & STANLEY, D.W. Texture-structure relationships in texturized soy protein IV. Influence of process variables on extrusion texturization. *Can. Inst. Food Sci. Technol. J.*, Ottawa, 11(1):1-6, 1978.

- MERMOUD, J.; CID, F.; SEPÚLVEDA, D.; ARAUCO, G.; PEÑA, R.; SANTIBÁNEZ, E.; HERRERA, H. Incorporation of sweet lupine flour in the food of a group of school children. In: GROSS, R. & BUNTING, E.S. eds. *Agricultural and nutritional aspects of lupine*; Proceedings of the First International Lupine Workshop. Eschborn, GTZ, 1982. p.721-729.
- MERMOUD, J.; SCHNEIDER, O.; OYANGUREN, F.; MÜLLER, E.; QUINONES, A. Estudio in incorporacion de harina de L. albus en la alimentacion normal de um grupo humano. In: *Situation analises y perspectiva del lupino en Chile*. S.L. Fundacion Chile, 1977. n.p.
- MUELENAERE, H.J.H. & BUZZARD, J.L. Cooker extruders in service of world feeding. *Food Technol.*, Chicago, 23:345, 1969.
- MUSTAKAS, G.C.; ALBRECHT, W.F.; BOOKWALTER, G.M. MCGHEE, J.E.; KWOLEK, W. F.; GRIFFIN, E.L. Extruder processing to improve nutritional quality flavor and keeping quality of full-fat soy flour. *Food Technol.*, Chicago, 24:102-108, 1970.
- OLKKU, J. & VAINIONPAA, J. Extruder processing to improve nutritional quality and flavor and keeping quality of full-fat soy flour. In: LINKO, P. & MALKKI, eds. *Food process engineering: food processing systems*, London, Applied Science, 1980. v.1, p.821-826.
- ORTIZ, C.; GROSS, R.; VON BAER, E. The lupine, a contribution to nutrition in the Andes. 2. The protein quality of *Lupinus mutabilis* compared with *Lupinus luteus*, *Lupinus albus* and soja max. *Z. Ernahrungs wiss.* 14 (3):230-234, 1976.
- PADT Alimentos Bolívia. Investigación conjunta entre Ecuador y Bolívia sobre texturización y desamargado de *Lupinus mutalis*. La Paz, Bolívia, agosto, 1982. (Subprojeto I.T. PADT Alimentos).

- PHAN, C.B. & DEL ROSÁRIO, R.R. Studies on the development of texturized vegetable products by the extrusion process. I. Effect of processing variables on protein properties. *J. Food Technol.*, Oxford, 19(5):535-547, 1984.
- PEARSON, D. *Laboratory technics in food analysis*. London, John Wiley, 1973, p.10-11.
- PELEG, M. Texture profile analysis parameters obtained by a Instron Universal Testing Machine. *J. Food Sci.*, Chicago, 41:721-722, 1976.
- PION, R.; MENOLES PEREIRA, E.; PRUNGNALD, J.L. Effects of composition and processing on nutrition value of some leguminous seeds. *J. Am. Oil Chem. Soc.* Chicago, 56(3):150-153, 1979.
- POMPEI, C. & LUCISANO, M. Le lupin (*lupinus albus* L.) comme source de proteines pour l'alimentation humaine I. Etude preliminaire *Lebensm. Wiss-Technol.*, Zürich, 9(5):289-295, 1976.
- RACKIS, J.J. Biological and physiological factors in soybean. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, Chicago, 51(1):161A-174A, 1974.
- RAKOSKY, J. Soy products for meat industry. *J. Agric. Food Chem.*, Washington, 18:1005-1009, 1970.
- RANSEN, C.H. & CLARK, J.P. A viscosity model for a cooking dough. *J. Food Proc. Eng.* Westport, 2(1):39-64, 1978.
- RHEE, K.C.; KUO, C.K.; LUSAS, E.W. Texturization. In: CHERRY, J.P. ed. *Protein functionality in foods*. Washington, DC. American Chemical Society, 1981. p.51-88 (AES symposium series, 147).
- ROSSEN, J.L. & MILLER, R.C. Food extrusion. *Food Technol.*, Chicago, 27(8):46-53, 1973.

- RUIZ Jr., L.P.; WHITE, S.F.; HOVE, E.L. The alkaloid content of sweet lupin seed used in feeding trials on pigs and rats. *Anim. Feed Sci. Technol*, 2(1):59-66, 1977.
- SAIO, K.; TERASHIMA, M.; WATANABE, T. Food use of soybean 7S and 11S proteins: Changes in basic groups of soybean proteins by high temperature heating. *J. Food Sci.*, Chicago, 40(3):541-544, 1975.
- SANDERUDE, K.G. & ZIEMBA, J. New products by extrusion cooking. *Food Eng.*, New York, 40(8):84-87, 1968.
- SANTOS, R.F. *Produção de trigo e outras culturas de inverno na região tritícola Sul-Brasil*. Brasília, Ministério da Agricultura, 1980. 15p. (Série Nacional Produção Agrícola).
- SANTOS, H.P.; LHAMBY, J.C.B.; TOMASINI, R.G.A.; BAIER, A.C. *Pesquisas desenvolvidas com tremoço (Lupinus, spp) em Passo Fundo no período de 1980 a 1983*. Passo Fundo, EMBRAPA-CNPT, 1984. 19p. (Documentos CNPT, 6).
- SATHE, S.K.; DESHPANDE, S.S.; SALUNKHE, D.K. Functional properties of Lupin and proteins concentrates. *J. Food Sci.*, Chicago, 47(2):491-497, 1982.
- SAUTIER, C. & CAMUS, M. Nutritive value and acceptability of textured vegetable proteins. *Rev. Fr. Corps. Gras.*, Paris, 23:203-208, 1976.
- SCHERER, E.E. *O tremoço e seu cultivo no Estado de Santa Catarina*. Florianópolis, Empresa Catarinense de Pesquisa Agropecuária S/A, 1982. 20p. (Boletim Técnico, 14).
- SCHMIDLIN-MÉSZÁROS, J. Eine nahrungsmittelvegiftung mit lupinenbornan. *Trav. Chim. Alim. Hyg*, Bern, 64(2):194-196, 1973.

- SCHOENEBERGER, H.; SAM, O.; CREMER, H.D.; ELMADFA, I.; GROSS, R. Protein quality of *Lupinus mutabilis* and its influence through preparation and supplementation. In: GROSS, R. & BUNTING, E.S. *Agricultural and nutritional aspects of lupines*. Proceedings of the First International Lupine Workshop. Eschborn, GTZ, 1982, p.554-568.
- SGARBIERI, V.C. & GALEAZZI, M.A.M. Some physicochemical and nutritional properties of sweet lupin (*Lupinus albus* var. moltolupa) protein. *J. Agric. Food Chem.*, Washigton, 26(6):1438-1442, 1978.
- SHEARD, P.R.; MITCHELL, J.R.; LEDWARD, D.A. Extrusion behaviour of different soya isolates and the effect of particle size. *J. Food Technol.*, Oxford, 21(4):627-641, 1986.
- SHEARD, P.R.; MITCHELL, J.R.; LEDWARD, D.A. Role of carbohydrate in soya extrusion. *J. Food Technol.*, Oxford, 19(4):475-483, 1984.
- SIMONSKY, R.W. & STANLEY, D.W. Texture-structure relationships in textured soy protein V. Influence of pH and protein acylation on extrusion texturization. *Can. Inst. Food Sci. Technol. J.*, Ottawa, 15(4):294-301, 1982.
- SMITH, A.K. & CIRCLE, S.J. *Soybeans: Chemistry and technology*. Westport, AVI, 1972. v.1.
- SMITH, O.B. Why use extrusion? In: *Symposium on extrusion: process and product development*. St. Paul, Minnesota, American Association of Cereal Chemists, 1971, p.22.
- SMITH, O.B. *Textures by extrusion processing*. In: INGLETT, G.E. ed. *Fabricated foods*. Westport. AVI, 1975a, 89p.
- SMITH, O.B. Extrusion and forming: creating new foods. *Food Eng.*, New York, 16(7):48-50, 1975b.

- TARANTO, M.V.; CEGLA, G.F.; RHEE, K.C. Morphological ultrastructural and rheological evaluation of soy and cottonseed flours texturized by extrusion and no extrusion processing. *J. Food Sci.*, Chicago, 43(3):973-979, 1978.
- TARANTO, M.V.; MEINKE, W.W.; CATER, C.M.; MATTIL, K.F. Parameters affecting production and character of extrusion texturized defatted glandless cotton seed meal. *J. Food Sci.*, Chicago, 40:1264-1269, 1975.
- VAN DER VYVER, B.J.; VOSLOO, W.A.; STEENKAMP, D.J. Sweet yellow lupin seed meal in rations for bacon pigs and dairy cattle. *Fmg. S. Afric.* 30:451-452, 1955.
- VAN SOEST, P.J. Collaborative study of acid detergent and lignin. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, Chicago, 56(4):781-784, 1973.
- WATANABE, T.; EBINE, H.; OKADA, M. New protein food technologies in Japan. In: ALTSCHUL, A. ed. *New protein foods*. New York, Academic Press, 1974.
- WILDING, M.D. Textured and shaped oilseed protein food products. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, Chicago, 48:489-491, 1971.
- WILDING, M.D. Textured proteins in meat and meat-like products. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, Chicago, 51(1):128A-130A, 1974.
- WOLF, W.J. Legumes: seed composition and structure, processing into protein products, and protein properties. In: WHITAKER, J. R. & TANNENBAUM, S.R. eds. *Food proteins*, Westport, AVI, p.291-314.
- WU, L.C. & BATES, R.P. Protein-lipid films as meat substitutes. *J. Food Sci.*, Chicago, 40(1):160-163, 1975.
- YÁÑEZ, E.; GATTÁS, V.; BALLESTER, D. Valor nutritivo del lupino y su potencial como alimento humano. *Arch. Latinoam. Nutr.* 29(4):510-515, 1979.

- YÁÑEZ, E.; LOBOS, P.; DÍAZ, G.; BALLESTER, D. Effect of roasting on the chemical composition and protein quality of lupin seeds (*Lupinus albus* cv. Multolupa). *J. Food Sci.*, Chicago, 51(5):1235, 1238, 1986.
- ZIEMBA, J. Simulated meats-how they're made. *Food Eng.*, New York, 41(11): 72-75, 1969.