



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

**Desenvolvimento de pastas alimentícias instantâneas
por processo de extrusão termoplástica: Influência do tipo
de trigo, teor de emulsificantes e parâmetros do processo
na qualidade do produto.**

MATHEUS DEPIERI

Engenheiro de Alimentos

PROF. DR. YOON KIL CHANG

Orientador

Dissertação apresentada à Faculdade de
Engenharia de Alimentos, da Universidade
Estadual de Campinas para obtenção do título
de Mestre em Tecnologia de Alimentos.

Campinas-SP

2004

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA F.E.A. – UNICAMP

D441d Depieri, Matheus
Desenvolvimento de pastas alimentícias instantâneas por processo de extrusão termoplástica: Influência do tipo de trigo, teor de emulsificantes e parâmetros do processo na qualidade do produto / Matheus Depieri. – Campinas, SP: [s.n.], 2004.

Orientador: Yoon Kil Chang
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas.Faculdade de Engenharia de Alimentos.

1.Extrusão – Processo. 2.Trigo durum. I.Chang, Yoon Kil. II.Universidade Estadual de Campinas.Faculdade de Engenharia de Alimentos. III.Título.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Yoon Kil Chang

Faculdade de Engenharia de Alimentos – DTA – UNICAMP

Orientador

Profa. Dra. Fernanda Paula Collares

Faculdade de Engenharia de Alimentos – DTA – UNICAMP

Membro

Prof. Dr. Carlos Raimundo Ferreira Grosso

Faculdade de Engenharia de Alimentos – DEPAN – UNICAMP

Membro

Prof. Dr. Ahmed A. El-Dash

Faculdade de Engenharia de Alimentos – DTA – UNICAMP

Membro

Faca é faca
Pão é pão
Fome é fome.

Estranho desígnio das coisas
de serem exatamente elas
quando as olhamos sem paixão.

Tanussi Cardoso

Dedico este trabalho

Aos meus pais,
à minha família,
aos meus verdadeiros amigos.

AGRADECIMENTOS

A Deus,

Ao meu orientador, Prof. Yoon, pela amizade e confiança depositada em mim.

À Profa. Fernanda, pela ajuda fundamental na conclusão do trabalho.

Aos demais membros da banca, Prof. Carlos Grosso e Prof. Ahmed, pelas correções e sugestões feitas no trabalho.

Às minhas amigas do Laboratório de Cereais, Fernanda Hart e Alessandra, por toda a força e companheirismo.

Aos demais colegas do Laboratório, Jafet e Simone, que muito me auxiliaram no desenvolvimento dessa pesquisa.

Ao Prof. Fernando Martinez Bustos, pela grandiosa ajuda com as análises de DSC, SEM e difração de raios-X. Obrigado!

A CAPES e ao DTA, pelo auxílio financeiro, concedendo-me a bolsa.

Ao Leonard Sebio, que me ensinou bastante e continua me ensinando sobre o processo de extrusão termoplástica.

Ao meu amigo Nilo, pelo apoio na área operacional. Não teria conseguido sem você! Obrigado!

A Profa. Isabel (DEA), pelos esclarecimentos e ensinamentos da parte estatística. Obrigado por sua enorme atenção comigo!

Ao Ricardo, do microcentro, por ter recuperado a maior parte do trabalho perdido devido a panes no computador.

À minha namorada Aline, por ser uma pessoa maravilhosa e sempre me incentivar quando me sentia desanimado.

Aos meus amigos, Bei, Sorriso e Olivier, pela sincera amizade e por serem companheiros infalíveis dos frequentes *happy-hours*.

A todos que me apoiaram!

Obrigado!

ÍNDICE

Lista de Figuras	ix
Lista de Tabelas	xi
Resumo.....	xiv
Abstract.....	xvi
1 Introdução	i
2 Objetivos	3
2.1 Geral.....	3
2.2 Específicos	3
3 Revisão Bibliográfica	4
3.1 Grão de trigo.....	4
3.2 Produção de trigo	5
3.3 A farinha de trigo	5
3.4 Massas alimentícias	8
3.4.1 História e produção	8
3.4.2 Pastas Instantâneas.....	9
3.4.3 Extrusão de Pastas Alimentícias.....	11
3.4.4 Emulsificantes	13
4 Material e Métodos	16
4.1 Materiais.....	16
4.1.1 Matéria-Prima	16
4.1.2 Principais equipamentos	16
4.2 Métodos	17
4.2.1 Análises das matérias-primas	17
4.2.1.1 Composição Centesimal.....	17
4.2.1.1.1 Umidade.....	17
4.2.1.1.2 Proteínas.....	18
4.2.1.1.3 Lipídios.....	18
4.2.1.1.4 Cinzas	18
4.2.1.1.5 Carboidratos	19
4.2.1.2 Características Físico-Químicas.....	19
4.2.1.2.1 Quantidade de glúten	19
4.2.1.2.2 Número de queda	19
4.2.1.2.3 Cor	20
4.2.1.2.4 Granulometria	20
4.2.1.2.5 Farinografia.....	21
4.2.1.2.6 Extensografia.....	21
4.2.1.2.7 Análise de viscosidade	22
4.2.2 Processo de Extrusão das Farinhas	23
4.2.3 Análises das pastas instantâneas.....	23
4.2.3.1 Umidade do produto seco	24
4.2.3.2 Cor:	24
4.2.3.3 Teste de cozimento	24
4.2.3.4 Textura do produto cozido.....	25
4.2.3.5 Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC)	26
4.2.3.6 Microscopia Eletrônica de Varredura (SEM)	27
4.2.3.7 Difração de Raios-X	27
4.2.4 Delineamento Experimental	28
5 Resultados e Discussões	32
5.1 Análises das matérias-primas	32
5.1.1 Composição centesimal	32
5.1.1.1 Umidade	32

5.1.1.2	Proteínas	34
5.1.1.3	Lipídios	34
5.1.1.4	Cinzas	35
5.1.2	Cor	36
5.1.3	Granulometria	36
5.1.4	Quantidade de glúten	37
5.1.5	Número de queda	38
5.1.6	Farinografia	39
5.1.7	Extensografia	41
5.1.8	Análise da viscosidade	42
5.2	Análises das pastas instantâneas	43
5.2.1	Umidade do produto seco	43
5.2.2	Cor	44
5.2.3	Teste de cozimento	47
5.2.3.1	Tempo ótimo de cozimento	47
5.2.3.2	Perda de sólidos na água de cozimento	54
5.2.3.3	Aumento de peso e de volume durante o cozimento	60
5.2.4	Textura do produto cozido	63
5.2.5	Calorimetria diferencial de varredura (DSC)	73
5.2.6	Microscopia eletrônica de varredura	79
5.2.7	Difração de raios-X	84
6	Conclusões	88
7	Referências bibliográficas	91
ANEXO I	105
ANEXO II	112

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Efeitos das variáveis sobre os parâmetros de cor para as pastas instantâneas de trigo comum.....	46
FIGURA 2. Efeitos das variáveis sobre o tempo ótimo de cozimento das pastas instantâneas feitas a partir de trigo comum e trigo durum.....	50
FIGURA 3. Superfícies de resposta para o tempo ótimo de cozimento, referentes às pastas de farinha de trigo comum: <i>Fig. 3a.</i> temperatura x umidade, <i>Fig. 3b.</i> temperatura x teor de emulsificante e <i>Fig. 3c.</i> umidade x teor de emulsificante.....	52
FIGURA 4. Superfícies de resposta para o tempo ótimo de cozimento, referentes às pastas de farinha de trigo durum: <i>Fig. 4a.</i> temperatura x umidade, <i>Fig. 4b.</i> temperatura x teor de emulsificante e <i>Fig. 4c.</i> umidade x teor de emulsificante.....	53
FIGURA 5. Efeitos das variáveis sobre a perda de sólidos na água de cozimento das pastas instantâneas feitas a partir de <i>Fig. 5a.</i> trigo comum e <i>Fig. 5b.</i> trigo durum.....	57
FIGURA 6. Superfície de resposta para a perda de sólidos, referente às pastas de farinha de trigo comum.....	58
FIGURA 7. Superfícies de resposta para perda de sólidos referentes às pastas de semolina de trigo durum: <i>Fig. 7a.</i> temperatura x umidade, <i>Fig. 7b.</i> temperatura x teor de emulsificante e <i>Fig. 7c.</i> umidade x teor de emulsificante.....	59
FIGURA 8. Curvas que descrevem o comportamento do aumento de peso (<i>Fig. 8a.</i>) e aumento de volume (<i>Fig. 8b.</i>) das pastas instantâneas em relação à umidade.....	62
FIGURA 9. Efeitos das variáveis sobre a força máxima de ruptura das pastas instantâneas feitas a partir de <i>Fig. 9a.</i> trigo comum e <i>Fig. 9b.</i> trigo durum.....	67
FIGURA 10. Efeitos das variáveis sobre o trabalho de ruptura das pastas instantâneas feitas a partir de <i>Fig. 10a.</i> trigo comum e <i>Fig. 10b.</i> trigo durum.....	67
FIGURA 11. Superfície de resposta para força máxima de ruptura referente às pastas de farinha de trigo comum.....	69

FIGURA 12. Superfícies de resposta para força máxima de ruptura referentes às pastas de semolina de trigo durum: <i>Fig. 12a.</i> temperatura x umidade, <i>Fig. 12b.</i> temperatura x teor de emulsificante e <i>Fig. 12c.</i> umidade x teor de emulsificante.....	69
FIGURA 13. Superfícies de resposta para trabalho de ruptura referentes às pastas de semolina de trigo comum: <i>Fig. 13a.</i> temperatura x umidade, <i>Fig. 13b.</i> temperatura x teor de emulsificante e <i>Fig. 13c.</i> umidade x teor de emulsificante.....	71
FIGURA 14. Superfícies de resposta para trabalho de ruptura referentes às pastas de semolina de trigo durum: <i>Fig. 14a.</i> temperatura x umidade, <i>Fig. 14b.</i> temperatura x teor de emulsificante e <i>Fig. 14c.</i> umidade x teor de emulsificante.....	72
FIGURA 15. Micrografias referentes ao ensaio 9 das pastas instantâneas feitas a partir de farinha de trigo comum (<i>Fig. 15a</i>) e semolina de trigo durum (<i>Fig. 15b</i>).....	82
FIGURA 16. Micrografias referentes ao ensaio 6 das pastas instantâneas feitas a partir de farinha de trigo comum (<i>Fig. 16a</i>) e semolina de trigo durum (<i>Fig. 16b</i>).....	82
FIGURA 17. Micrografias referentes ao ensaio 20 das pastas instantâneas feitas a partir de farinha de trigo comum (<i>Fig. 17a</i>) e semolina de trigo durum (<i>Fig. 17b</i>).....	83
FIGURA 18. Micrografias referentes ao ensaio 4 das pastas instantâneas feitas a partir de farinha de trigo comum (<i>Fig. 18a</i>) e semolina de trigo durum (<i>Fig. 18b</i>).....	83
FIGURA 19. Difrátogramas das pastas instantâneas e suas respectivas matérias-primas, trigo comum (<i>Fig. 19a</i>) e trigo durum (<i>Fig. 19b</i>).....	87

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Composição química aproximada do grão e da farinha de trigo com 72% de extração..	4
TABELA 2. Principais países produtores de trigo de 1997 a 2002 (em milhões de toneladas).....	6
TABELA 3. Variáveis de trabalho com os seus respectivos níveis.....	31
TABELA 4. Delineamento estatístico composto central.....	31
TABELA 5. Resultados das análises das matérias-primas.....	33
TABELA 6. Resultados de umidade das pastas instantâneas secas.....	44
TABELA 7. Resultados dos parâmetros de cor das pastas instantâneas.....	46
TABELA 8. Resultados do tempo ótimo de cozimento.....	48
TABELA 9. Modelos matemáticos para tempo ótimo de cozimento.....	50
TABELA 10. Resultados da perda de sólidos na água de cozimento.....	54
TABELA 11. Modelos matemáticos para perda de sólidos na água de cozimento.....	57
TABELA 12. Resultados de aumento de peso e aumento de volume durante o cozimento.....;	61
TABELA 13. Modelos matemáticos para aumento de peso no cozimento.....	62
TABELA 14. Modelos matemáticos para aumento de volume no cozimento.....	62
TABELA 15. Resultados de força máxima de ruptura e trabalho de ruptura das pastas cozidas....	63
TABELA 16. Modelos matemáticos para força máxima de ruptura.....	68
TABELA 17. Modelos matemáticos para trabalho de ruptura.....	68
TABELA 18. Propriedades térmicas de gelatinização do amido e transição dos complexos amilose-lipídio.....	75
TABELA 19. Porcentagem de cristalinidade das amostras de pastas instantâneas e suas matérias-primas.....	86
TABELA 20. Análise de efeitos para parâmetro L (farinha de trigo comum).....	106
TABELA 21. Análise de efeitos para parâmetro L (semolina de trigo durum).....	106
TABELA 22. Análise de efeitos para parâmetro a (farinha de trigo comum).....	106

TABELA 23. Análise de efeitos para parâmetro a (semolina de trigo durum).....	107
TABELA 24. Análise de efeitos para parâmetro b (farinha de trigo comum).....	107
TABELA 25. Análise de efeitos para parâmetro b (semolina de trigo durum).....	107
TABELA 26. Análise de efeitos para tempo ótimo de cozimento (farinha de trigo comum).....	108
TABELA 27. Análise de efeitos para tempo ótimo de cozimento (semolina de trigo durum).....	108
TABELA 28. Análise de efeitos para perda de sólidos (farinha de trigo comum).....	108
TABELA 29. Análise de efeitos para perda de sólidos (semolina de trigo durum).....	109
TABELA 30. Análise de efeitos para aumento de peso (farinha de trigo comum).....	109
TABELA 31. Análise de efeitos para aumento de peso (semolina de trigo durum).....	109
TABELA 32. Análise de efeitos para aumento de volume (farinha de trigo comum).....	110
TABELA 33. Análise de efeitos para aumento de volume (semolina de trigo durum).....	110
TABELA 34. Análise de efeitos para força máxima de ruptura (farinha de trigo comum).....	110
TABELA 35. Análise de efeitos para força máxima de ruptura (semolina de trigo durum).....	111
TABELA 36. Análise de efeitos para trabalho de ruptura (farinha de trigo comum).....	111
TABELA 37. Análise de efeitos para trabalho de ruptura (semolina de trigo durum).....	111
TABELA 38. Análise de variância do modelo matemático para tempo ótimo de cozimento (farinha de trigo comum).....	113
TABELA 39. Análise de variância do modelo matemático para tempo ótimo de cozimento (semolina de trigo durum).....	113
TABELA 40. Análise de variância do modelo matemático para perda de sólidos (farinha de trigo comum).....	113
TABELA 41. Análise de variância do modelo matemático para perda de sólidos (semolina de trigo durum).....	113
TABELA 42. Análise de variância do modelo matemático para aumento de peso (farinha de trigo comum).....	114
TABELA 43. Análise de variância do modelo matemático para aumento de peso (semolina de trigo durum).....	114

TABELA 44. Análise de variância do modelo matemático para aumento de volume (farinha de trigo comum).....	114
TABELA 45. Análise de variância do modelo matemático para aumento de volume (semolina de trigo durum).....	114
TABELA 46. Análise de variância do modelo matemático para força máxima de ruptura (farinha de trigo comum).....	115
TABELA 47. Análise de variância do modelo matemático para força máxima de ruptura (semolina de trigo durum).....	115
TABELA 48. Análise de variância do modelo matemático para trabalho de ruptura (farinha de trigo comum).....	115
TABELA 49. Análise de variância do modelo matemático para trabalho de ruptura (semolina de trigo durum).....	115

RESUMO

O presente trabalho analisou a produção de pastas instantâneas feitas a partir de dois tipos de matérias-primas, a farinha de trigo comum e a semolina de trigo durum, utilizando o processo de extrusão termoplástica. O objetivo principal do trabalho foi comparar a qualidade dos dois tipos de pastas obtidos, já que pelo processo convencional de produção de massas alimentícias, a matéria-prima mais usada e que garante melhor qualidade às pastas é a semolina de trigo durum, que, por outro lado, apresenta um maior custo. Procurou-se, através do processo de extrusão, obter produtos de características semelhantes, mesmo usando uma matéria-prima de qualidade inferior e custo mais baixo, que é o caso da farinha de trigo comum. Para isso foi utilizado um extrusor termoplástico de rosca simples Brabender mod. 1014/2, seguindo um planejamento experimental do tipo composto central rotacional com 3 variáveis independentes, a temperatura na 2ª zona do extrusor (x_1), umidade da mistura inicial (x_2) e teor de emulsificante na mistura inicial (x_3). Foram analisadas, além da composição centesimal e características reológicas das matérias-primas, as seguintes respostas para as pastas instantâneas obtidas: umidade, cor, tempo ótimo de cozimento, perda de sólidos na água de cozimento, ganho de peso, ganho de volume e textura (força máxima de ruptura e trabalho de ruptura). Foram obtidos os respectivos modelos matemáticos e as superfícies de resposta de cada parâmetro. Além disso, algumas amostras foram submetidas a testes de calorimetria de varredura

diferencial, microscopia eletrônica de varredura e teste de difração de raios-X, a fim de se determinar, principalmente, o grau de gelatinização do amido nas amostras em cada condição de processo. As pastas instantâneas de melhor qualidade obtidas apresentaram tempo ótimo de cozimento de 1,5-2,0 minutos, perda mínima de sólidos na água de cozimento (1,5%), força de ruptura de 15-20 g e trabalho de ruptura em torno de 50 g. No caso da semolina de trigo durum, as condições de processo para se obter tais características seriam temperatura de 115°C, umidade da mistura inicial de 26% e teor de emulsificante de 1,0%. Já no caso da farinha de trigo comum, as condições de processo incluiriam temperatura de 105-110°C, umidade 24-25% e maior teor de emulsificante (1,15-1,5%). Micrografias, juntamente com análises de calorimetria diferencial de varredura (DSC) e difração de raios-X, evidenciaram um alto grau de gelatinização do amido e desnaturação protéica das amostras de pasta instantânea obtidas sob diferentes condições de processamento. Também foi verificada a formação de complexos amilose-emulsificante, apresentando forte influência nas características de cozimento e qualidade das pastas obtidas.

ABSTRACT

This present work analyzed the production of instantaneous pasta made from two different types of raw materials, flour of common wheat and semolina of durum wheat, using a thermoplastic extrusion process. The main purpose was to compare the quality of the two types of pasta, because through conventional process, pastas are usually made from semolina of durum wheat that guarantees a better quality but, on the other hand, shows a higher cost than other varieties of wheat. It had been tried, through cooking extrusion process, to obtain products with similar characteristics, even using a poorer quality and lower cost raw material, as the flour of common wheat. So, it was used a Brabender single screw extruder, model 1014/2, following a rotatable central-composite design with 3 independent variables: the temperature in the 2nd zone of the extruder (x_1), moisture of initial mixture (x_2) and rate of emulsifier in the initial mixture (x_3). Besides the analysis of composition and rheological characteristics of raw materials, it had been determined the following answers for obtained pastas: moisture content, color parameters, cooking time, cooking loss, weight and volume gain after rehydration, and texture (including maximum force of rupture and work of rupture). It was obtained the mathematic models and surface response for each answer. Some experiments underwent to tests of differential scanning calorimetry (DSC), scanning electron microscopy (SEM) and X-ray diffraction to determine, mainly, the extent of gelatinization in pastas for each different process conditions. High quality obtained pastas presented cooking time of 1,5-2,0 minutes, minimum cooking loss

(1,5%), force of rupture of 15-20 g and work of rupture around 50 g. In the case of durum wheat semolina, the conditions of process to get such characteristics were 115°C, 26% of initial moisture and 1,0% of emulsifier. No longer case of common wheat flour, the process conditions included temperature of 105-110°C, moisture 24-25% and high percentage of emulsifier (1,15-1,5%). Micrographs, with DSC and X-ray diffraction analysis, showed a high level of starch gelatinization and protein denaturation in pastas produced under different process conditions. It was also verified the formation of amylose-emulsifier complexes, those strongly influenced the pasta quality and cooking characteristics.

1 Introdução

Nos últimos anos, o setor de pastas alimentícias tornou-se um dos segmentos que mais cresceram na industrialização de cereais para a alimentação humana. A matéria-prima preferida para a produção destes tipos de produto é o trigo durum processado na forma de semolina ou farinha, devido ao alto teor protéico (9-18%), alto teor de pigmentos amarelos (BLANCO et al., 1988) e as suas características de qualidade após a cocção, tais como: alta capacidade de absorção de água, baixa perda de sólidos, firmeza e sem pegajosidade (DICK & YOUNGS, 1988), explicando o sucesso deste tipo de trigo no mercado.

Em alguns países, tais como a França e Itália, existem leis determinando que as pastas devem ser produzidas somente a partir do trigo durum. Mas devido a fatores pedológicos e climáticos, este tipo de trigo não é cultivado no clima tropical. Desta forma, para produzir pastas com boas características de cozimento, seria necessário importar trigo durum. A fim de evitar a importação dispendiosa de semolina de trigo durum, países em desenvolvimento procuram utilizar como alternativa as matérias-primas locais.

Embora as massas secas tradicionais continuem a dominar o mercado, o consumo de novos tipos de pastas alimentícias tem aumentado substancialmente. Inovações na tecnologia de processamento por extrusão termoplástica têm permitido oportunidades para o desenvolvimento de alimentos convenientes tais

como pastas “instantâneas” e de “rápido cozimento” que reidratam rapidamente sem a necessidade do tradicional cozimento.

Segundo a ABIMA (Associação Brasileira de Indústrias de Massas, 2003), o consumo de macarrão no Brasil, em 2002, permaneceu estável – em relação ao ano de 2001, apesar da alta no preço do trigo, da crise argentina e da elevação do dólar. O setor de macarrão encerrou o ano de 2002 com faturamento acima de R\$ 2 bilhões e produção de cerca de 1 milhão de toneladas. Para o ano de 2003, era previsto um crescimento de 10% no mercado de massas alimentícias. Mesmo com a turbulência de pressões no custo dentro do setor de massas, houve considerável crescimento da categoria de instantâneos. Nos seis primeiros meses acumulados do ano de 2002, o macarrão instantâneo cresceu 39% em relação ao mesmo período de 2001 em volume produzido. O consumo de massas no Brasil é da ordem de 5,7 quilogramas per capita por ano, bem menor que países como Chile (8,2 Kg per capita/ano), Peru (8,3 Kg per capita/ano) e Venezuela (12,7 Kg per capita/ano), além do líder mundial absoluto, Itália (28 Kg per capita/ano). Isso demonstra o enorme potencial de mercado que o Brasil representa.

O processamento tradicional de pastas instantâneas baseia-se na produção da massa (laminação ou extrusão) e secagem em câmara sob pressão, e finalmente o cozimento em óleo de fritura (PAPOTTO & ZORN, 1986). Este tipo de produto é caracterizado pelo baixo conteúdo de umidade, porém alto teor de lipídios. Isso limita a vida de prateleira do produto para 5 a 6 meses devido à rancidez oxidativa (autooxidação) do lipídio.

Embora LINKO et al. (1981) tenham reportado uma revisão compreensiva a respeito da aplicação do processo de extrusão (HTST) para o processamento de cereais, informações específicas sobre a produção de pastas instantâneas e de rápido cozimento com tal sistema são ainda limitadas. Com este tipo de processo, podemos evitar a etapa de fritura e conseqüentemente reduzir o valor calórico do produto.

2 Objetivos

2.1 Geral

Desenvolver pastas alimentícias instantâneas pelo processo de extrusão termoplástica e comparar a qualidade dos produtos obtidos a partir de dois tipos diferentes de matérias-primas, a farinha de trigo comum (*Triticum aestivum*) e a semolina de trigo durum (*Triticum durum*).

2.2 Específicos

Estudar o efeito da ação de emulsificantes e o efeito da quantidade e qualidade das proteínas na qualidade da pasta instantânea, bem como a extensão das mudanças físicas, químicas e estruturais da molécula de amido nas diferentes condições de processamento.

3 Revisão Bibliográfica

3.1 Grão de trigo

O trigo pertence à família das *Gramíneas*, gênero *Triticum*, cujos principais cultivares são: *Triticum durum*, *Triticum aestivum* e *Triticum compactum*. O trigo durum (*T. durum*) é um tetraplóide que possui 28 cromossomos, caracterizado por possuir grãos graúdos e afilados nas extremidades. Têm um endosperma translúcido, duro, de alta vitreosidade e com elevado teor de carotenóides (xantofilas) (ZUZZI, 1995; LEITÃO et al., 1990), conferindo-lhe a cor amarela característica. Normalmente, o trigo durum possui um teor maior de proteínas que o trigo comum.

O trigo comum (*T. aestivum*) é um hexaplóide com 42 cromossomos, sendo o cultivar mais difundido no mundo e possuindo grande número de variedades (LEITÃO et al., 1990). A Tabela 1 mostra a composição química aproximada do grão e da farinha de trigo com 72% de extração (KENT-JONES & AMOS, 1968).

TABELA 1. Composição química aproximada do grão e da farinha de trigo com 72% de extração.

Componentes (%)	Grão	Farinha
umidade	9,0 – 18,0	13,0 – 15,5
amido	60,0 – 68,0	65,0 – 70,0
proteína	8,0 – 15,0	8,0 – 13,0
lipídios	1,5 – 2,0	0,8 – 1,5
fibras	2,0 – 2,5	traços – 0,2
açúcares	2,0 – 3,0	1,5 – 2,0
cinzas	1,5 – 2,0	0,3 – 0,6

Fonte: KENT-JONES & AMOS, 1968.

3.2 Produção de trigo

Entre os cereais normalmente utilizados para o consumo humano, o trigo é o maior detentor de proteínas. É comprovadamente o mais nobre dos alimentos e principal componente da dieta alimentar na maioria dos países. Provavelmente, foi o primeiro cereal cultivado pelo homem, favorecido principalmente por suportar longos períodos de armazenamento, o que garante o abastecimento na entressafra (HUBNER, 1997).

O consumo abrange praticamente todas as regiões do globo terrestre. Porém, a maior parte da produção está concentrada em poucos países (Tabela 2), os quais possuem a supremacia da oferta e dominam o mercado, mantendo os preços internacionais em níveis que desmotivam a produção nos países menos estruturados economicamente.

3.3 A farinha de trigo

As massas alimentícias de melhor qualidade são as produzidas a partir do trigo durum (*T. durum*), devido ao alto teor protéico (9-18%), alto teor de pigmentos amarelos (BLANCO et al., 1988) e as suas características de qualidade após a cocção, tais como: alta capacidade de absorção de água, baixa perda de sólidos, firmeza e sem pegajosidade (DICK & YOUNGS, 1988).

Segundo IRVINE (1971), a semolina de trigo durum apresenta diversas vantagens sobre a farinha, na confecção de pastas alimentícias. Talvez a mais importante seja a de requerer menos água para formar a massa, o que implica numa menor quantidade de água a ser removida durante a secagem.

TABELA 2. Principais países produtores de trigo de 1997 a 2002 (em milhões de toneladas).

Ranking*	País	1997	1998	1999	2000	2001	2002	Média 1997-2002	% da produção mundial
1º	China	123,3	109,7	113,9	99,6	93,9	91,3	105,3	17,8%
2º	União Européia	94,8	103,7	97,6	105,5	92,2	104,8	99,8	16,9%
3º	Índia	69,4	66,3	71,3	76,4	69,7	71,8	70,8	12,0%
4º	EUA	67,5	69,3	62,6	60,8	53,3	44,0	59,6	10,1%
5º	Rússia	44,3	27,0	31,0	34,5	47,0	50,6	39,1	6,6%
6º	Canadá	24,3	24,1	26,9	26,5	20,6	15,7	23,0	3,9%
7º	Austrália	19,2	22,1	24,8	22,1	24,9	9,4	20,4	3,5%
8º	Turquia	18,7	21,0	18,0	21,0	19,0	21,0	19,8	3,3%
9º	Paquistão	16,7	18,7	17,9	21,1	19,0	18,2	18,6	3,1%
10º	Ucrânia	18,4	14,9	13,6	10,2	21,3	20,6	16,5	2,8%
11º	Argentina	15,1	12,6	15,5	16,1	15,4	12,5	14,5	2,5%
27º	Brasil	2,5	2,3	2,5	1,7	3,3	2,9	2,2	0,4%
	Outros	99,2	101,5	92,4	90,4	111,0	110,2	101,1	17,1%
	TOTAL	613,3	593,3	587,8	585,9	590,5	572,9	590,6	100,0%

*Considerando a média anual de produção entre 1997-2002.

Fonte: FAO, 2003.

Atualmente, para a produção de massas alimentícias, são preferidas farinhas de granulometria média, entre 125 e 315 μm (LEONHARDT, 1994), pois, quanto menores as partículas, mais facilmente elas se hidratam. Partículas de farinha relativamente pequenas tendem a possuir um teor mais elevado de amido danificado, podendo causar um aumento na perda de sólidos na água de cozimento da massa (MATSUO & DEXTER, 1980). No entanto, se a granulometria

da farinha for relativamente grossa, ou não homogênea, a massa poderá apresentar pontos brancos devido à sub-hidratação das partículas maiores, sendo um fator de queda na qualidade do produto (LEONHARDT, 1994).

Deve-se lembrar que esse valor mínimo ideal de granulometria para a farinha é referente ao trigo durum e por isso, tende a possuir um teor mais elevado de amido danificado que o trigo comum, quando comparados em uma mesma faixa de granulometria. SAHLSTRÖM et al. (1993) relataram que o teor de amido danificado presente na farinha de trigo é proporcional à dureza apresentada pelo grão.

Na produção de massas alimentícias com trigo comum, o principal fator que determina a queda na qualidade, quando comparadas com o trigo durum, não é a baixa granulometria das partículas da farinha, e sim a qualidade e quantidade de proteína existente.

As proteínas gliadina e glutenina, que estão presentes em todo o grão de trigo, formam um complexo chamado glúten quando submetidas a uma certa energia mecânica e na presença de água. Esse complexo protéico é muito importante para a qualidade da massa alimentícia (POMERANZ, 1988).

A farinha de trigo comum (*T. aestivum*) normalmente é utilizada para a fabricação de pão e biscoito. No entanto, no Brasil, também é a matéria-prima mais comumente empregada na produção de massas alimentícias.

Devido ao alto custo da semolina de trigo durum, quando comparada com a farinha de trigo comum, a semolina é utilizada principalmente nos países onde os consumidores são mais exigentes com a qualidade das massas alimentícias (DALBON et al., 1996).

3.4 Massas alimentícias

3.4.1 História e produção

Massa alimentícia pode ser definida como um produto não fermentado, obtida pela aplicação de energia mecânica na farinha, semolina ou sêmola de trigo com água até a obtenção de uma massa homogênea, adicionada ou não de outras substâncias e/ou aditivos permitidos pela legislação (ANVISA, 2003c). Essa massa é extrusada ou laminada e cortada no formato e tamanho desejados.

A origem exata das massas alimentícias ainda hoje é relativamente obscura. Segundo GIESE (1992), as evidências indicam que na Mesopotâmia pré-histórica já existiam alguns tipos de mistura com trigo e água.

De acordo com vários historiadores, a arte de fabricar pão e massas alimentícias é originária da Ásia Menor, se estendendo para o Oriente, através da Índia, China e Japão; e para o Ocidente através da Grécia e Itália até os demais países da Europa (MATSUO, 1992). Imigrantes europeus, principalmente de

origem italiana, introduziram o processo de fabricação de massas nos EUA antes da Guerra Civil, assim como no Brasil (BANASIK, 1981; CIACCO & CHANG, 1986).

Entre os grandes países produtores de massas alimentícias pode-se citar: Itália, EUA, França, Argentina, Suíça, Alemanha e Venezuela. Além do Japão e China, que são grandes produtores de massa do tipo frito, expandida ou instantânea.

A produção brasileira de massas alimentícias vem aumentando a cada ano que passa. Segundo a ABIMA (2003), o Brasil ocupa o terceiro lugar em produção mundial de macarrão, atrás somente da Itália e Estados Unidos, com 1 milhão de toneladas por ano e uma capacidade de produção instalada de 1,4 milhão toneladas/ano. Pode-se dizer que, com o fim do subsídio ao trigo pelo governo nos anos 90, houve uma reviravolta no setor de massas alimentícias, que passou a investir e buscar tecnologia competitiva (ABIMA, 2003).

3.4.2 *Pastas Instantâneas*

A manufatura de pastas tradicionais tem sido modernizada e disseminada no mundo na forma de pastas instantâneas. Estas pastas podem ser feitas a partir de farinha de trigo ou arroz, sendo cozidas através de posterior fritura. A mais comum, conhecida como pasta instantânea moderna, são cozidas e fritas, usualmente em óleo de palma, tendo o produto final um conteúdo de gordura de

aproximadamente 20% (GORE et al., 1988) e uma vida de prateleira de 4 a 6 meses. As pastas instantâneas são de rápido cozimento, necessitando somente 2 a 3 minutos de reidratação em água fervente para ficarem prontas.

Um dos requerimentos de qualidade da pasta instantânea é a sua coloração. Uma pasta de coloração amarela brilhante é a mais popular entre os consumidores. A taxa de extração e a cor da farinha afetam a coloração final do produto. Um outro requerimento é a força da massa e o conteúdo protéico. A força da massa deve ser adequada para o processo, mas não deve ser muito excessiva. O conteúdo protéico da farinha é significativo no processamento de pastas instantâneas por causa da influência no grau de óleo absorvido durante a fritura e a textura do produto cozido. Um terceiro requerimento é a quantidade de amido, pois a textura da pasta depende amplamente do amido gelatinizado. Farinhas manufaturadas de trigo que têm alta viscosidade de pasta estão associadas com pastas tendo melhor qualidade (KIM, 1996).

Várias técnicas têm sido propostas para a manufatura de pastas instantâneas. TSAO et al. (1976) desenvolveu um espagete instantâneo formulado com farinha de arroz comercial usando um extrusor termoplástico, entretanto, o tempo para alcançar uma textura ótima em água fervente excedeu 9 minutos. O processamento na Europa e Ásia de pastas pré-gelatinizadas tem sido desenvolvido a partir de extrusores convencionais ou laminadores de massas, que são expostas diretamente em água fervente, vapor ou energia de microondas para

cozer completamente o produto antes da desidratação ou fritura (CANTARELI, 1986; PAGANI, 1986; PAPOTTO & ZORN, 1986; QUAGLIA, 1988).

3.4.3 Extrusão de Pastas Alimentícias

A extrusão é um processo contínuo de mistura, cisalhamento e moldagem e tem sido utilizada para produzir pastas por mais de 60 anos, além de outras aplicações na indústria de alimentos, como na fabricação de *snacks*, confeitos, panificados, *pet foods* e cereais matinais.

O primeiro extrusor de rosca única para macarrão foi introduzido em 1935. Estes eram chamados também de prensas de pastas, sendo que promoviam a mistura da semolina, água e outros ingredientes para formar uma massa uniforme. O primeiro extrusor termoplástico foi desenvolvido na década de 1940 e apresentou grande aplicação para o setor de produção de alimentos. Este tipo de extrusor combina o aquecimento do alimento com a extrusão, permitindo desenvolver produtos cozidos no formato desejado. A temperatura do processamento pode alcançar até 200°C, mas o tempo de residência é geralmente pequeno, cerca de 10-60 segundos, caracterizando um processo a alta temperatura e tempo curto (HTST). O aquecimento rápido dos ingredientes a altas temperaturas melhora a digestibilidade e minimiza efeitos detrimenais, tais como o escurecimento e produção de *off-flavors*.

Existem poucas pesquisas científicas publicadas sobre a extrusão termoplástica de pastas alimentícias instantâneas. A maioria dos trabalhos relatados utiliza a extrusão para produção de pastas convencionais. O processamento térmico da pasta com alto conteúdo de água levou a uma melhor aparência do que pastas processadas a frio (RENAUDIN, 1951), mas resultava numa pasta menos firme após o cozimento (WALSH et al., 1971; ABECASSIS et al., 1994). MENDER (1977) relata que a temperatura de extrusão da pasta não deverá exceder 50°C e MEDVEDEV et al. (1987) sugeriram que produtos com qualidade satisfatória podem ser obtidos em temperaturas acima de 70°C. Entretanto, é geralmente aceito que pastas obtidas por laminação possuam melhor qualidade de cozimento que produtos extrudados.

Estudos microscópicos têm mostrado que a organização das proteínas na massa extrudada varia de acordo com o processo de produção. A rede de glúten deverá ser mais desenvolvida na laminação do que por extrusão (MATSUO et al., 1972; DEXTER et al., 1979). Confirmando estes resultados, PAGANI et al. (1989) também observaram que a extrusão contribui para a formação de uma rede protéica com numerosas descontinuidades. Eles concluíram que o processo de extrusão não é adequado para a produção de pasta quando o material é de pobre qualidade, tal como o trigo mole. Estes dados, somente parciais e algumas vezes contraditórios, não dão informações suficientes a respeito da otimização para a produção de pastas. A quantidade de informações sobre o fenômeno físico-químico que ocorre durante a extrusão justifica novas e importantes pesquisas sistemáticas sobre a formação de pastas.

3.4.4 Emulsificantes

Um dos aditivos mais comumente empregados na produção de pastas são os emulsificantes, visando melhorar o processamento e/ou a qualidade dos produtos. Os emulsificantes são compostos que apresentam extremidades hidrofílicas e hidrofóbicas na mesma molécula (RYU & WALKER, 1993). Nos emulsificantes comerciais, geralmente a parte hidrofóbica (ou lipofílica) da molécula é representada por um ácido graxo, enquanto a parte hidrofílica é formada, por exemplo, por glicerol, possivelmente esterificado com ácido acético, láctico, tartárico ou cítrico (DANISCO, 2003).

A natureza lipídica dos emulsificantes permite que eles atuem como lubrificantes no processo de extrusão, resultando em diminuição do desgaste do equipamento e facilitando, portanto, a produção. Alguns emulsificantes também garantem uma consistência mais firme ao produto, diminuindo a pegajosidade e melhorando as propriedades de retenção do amido durante o cozimento (LAI, 2002).

Os emulsificantes interagem com os componentes da farinha, ou seja, proteínas, lipídios e carboidratos. A interação entre amido e lipídios é um fenômeno bastante conhecido na indústria de alimentos, sendo basicamente a amilose, o constituinte do amido que está envolvido nessa interação. Esse fenômeno é responsável pela diminuição da pegajosidade em pastas e mudança no comportamento reológico do amido. Há também implicações nutricionais

devido a essa interação. Os efeitos dos lipídios polares sobre as propriedades do amido são comumente explicados pela formação de um complexo amilose-lipídio, descrito como sendo um complexo helicoidal por inclusão, no qual a amilose forma uma hélice ao redor da cadeia hidrofóbica do ligante (ELIASSON, 1994).

Quanto ao tipo de estrutura do complexo helicoidal, um padrão V de difração de raios-X é verificado quando lipídios contendo amidos são submetidos à extrusão termoplástica (MERCIER, 1980). GALLOWAY et al. (1989) afirmaram que a adição de agentes ligantes às soluções de amilose, induzem a formação das estruturas conhecidas como V-amilose. Essas estruturas não são verificadas entre os amidos nativos ou não tratados, segundo GALLIARD & BOWLER (1987).

A presença dos complexos amilose-lipídio pode ser detectada pela análise de calorimetria diferencial de varredura (DSC), através da verificação de fluxos endotérmicos de calor localizados em temperaturas acima da faixa de temperatura de gelatinização do amido. Esses fluxos endotérmicos correspondem ao calor necessário para fundir os complexos amilose-lipídio. As temperaturas de dissociação dos complexos dependem do tamanho da cadeia do ácido graxo e do seu grau de insaturação (RAPHAELIDES & KARKALAS, 1988). Dependendo do agente ligante, duas formas do complexo podem ser identificadas, sendo que cada uma delas possuem diferentes temperaturas de pico nas análises de calorimetria (DSC). O complexo de forma I possui menor temperatura de pico e menor cristalinidade, enquanto que a forma II apresenta maior temperatura de pico e é mais cristalina (BILLIADERIS & GALLOWAY, 1989).

A formação dos complexos emulsificante-amilose resulta em alteração do transporte de água para o interior do grânulo de amido. Se esses complexos são formados na superfície do grânulo, origina-se um filme insolúvel, que retardaria a gelatinização do amido durante o cozimento (LAI, 2002).

VASANTHAN & HOOVER (1992) reportaram que amidos desengordurados tornaram-se mais susceptíveis à hidrólise enzimática, pois teria sido aumentada a acessibilidade das cadeias de amilose à α -amilase. MERCIER et al. (1980) também verificaram que a formação do complexo amilose-lipídio diminuiu a susceptibilidade de amidos em relação à ação da enzima α -amilase. HOOVER & HADZIYEV (1981) afirmaram que o complexo formado entre amilose e monoglicerídeos previne a lixiviação das moléculas de amilose durante a gelatinização. Portanto, tende a diminuir a perda de sólidos na água de cozimento de pastas.

Durante a preparação da massa, outra interação bastante importante a ser considerada, acontece entre o emulsificante e as proteínas do trigo, aumentando a formação de ligações hidrofóbicas, pontes de hidrogênio e interações eletrostáticas, como citaram KOVACS et al. (1992).

4 Material e Métodos

4.1 Materiais

4.1.1 Matéria-Prima

Foram utilizadas a farinha de trigo comum (*T. aestivum*) e a semolina de trigo durum (*T. durum*), ambas fornecidas pela Cargill Agrícola S.A. – Tatuí-SP.

Foi adicionado o emulsificante DIMODAN® B 727 (gliceril monoestearato – GMS), fornecido pela Danisco.

4.1.2 Principais equipamentos

- Extrusor de rosca simples MOD. GNF 1014/2, BRABENDER, Duisburg, Alemanha, apresentando três zonas de aquecimento. O aquecimento é realizado por resistências elétricas e o controle é feito por termopares.
- Texturômetro TA-XT2, Stable Micro Systems, Haslemere, Inglaterra, com software XTRA DIMENSION;
- Calorímetro diferencial de varredura (Differential Scanning Calorimetry – DSC) MOD. DSC22e, METTLER TOLEDO, Columbus, OH, EUA;
- Espectrofotômetro COLOR QUEST II, HUNTERLAB, Reston, VA, EUA;
- FALLING NUMBER 1800, PERTEN INSTRUMENTS, Huddinge, Suécia;
- Difrátômetro de raios-X RIGAKU, Tóquio, Japão;
- Extensógrafo e Farinógrafo BRABENDER, Duisburg, Alemanha;

- GLUTOMATIC 2200 PERTEN INSTRUMENTS, Huddinge, Suécia;
- Microscópio eletrônico de varredura (Scanning Electron Microscopy – SEM) JEOL 25 S II, Peabody, MA, EUA;
- Rapid Visco Analyser MOD RVA-3D+ NEWPORT SCIENTIFIC, Warriewood, Austrálias.

4.2 Métodos

4.2.1 Análises das matérias-primas

Foram realizadas as seguintes análises, em triplicata (com exceção das análises de farinografia e extensografia, feitas em duplicata), tanto para a farinha de trigo comum como para a semolina de trigo durum:

4.2.1.1 Composição Centesimal

4.2.1.1.1 Umidade

Determinou-se a umidade das matérias-primas por secagem em estufa por 1 hora a 130°C, segundo o método nº 44-15A da AACC (1995).

4.2.1.1.2 Proteínas

Segundo o método nº 46-13 da AACC (1995), foi determinado o nitrogênio total pela técnica de Micro-Kjeldahl, usando-se um fator igual a 5,7 para a conversão de nitrogênio em proteína.

4.2.1.1.3 Lipídios

A determinação de lipídios totais foi realizada segundo o método de BLIGH & DYER (1959), no qual a amostra (3g), depois de retirada a umidade em estufa, foi tratada com uma solução de clorofórmio, metanol e água nas proporções 1:2:0,8 respectivamente e, então, agitada. Depois de cerca de 30 minutos, adicionou-se uma mistura de clorofórmio e água, na proporção de 1:1, e agitou-se novamente. Em seguida, a solução foi deixada em repouso, a fim de proporcionar a separação das fases polar e apolar. A fase apolar foi então separada e a fase polar (aquosa) descartada. Depois de eliminar traços de água através da adição de sulfato de sódio anidro, uma alíquota de 5 mL foi colocada em estufa a 100°C até massa constante.

4.2.1.1.4 Cinzas

A porcentagem de cinzas foi determinada segundo o método nº 08-01 da AACC (1995), através de calcinação das amostras em mufla a 550°C até massa constante.

4.2.1.1.5 Carboidratos

Calculados por diferença, incluiu amido e fibras.

4.2.1.2 Características Físico-Químicas

4.2.1.2.1 Quantidade de glúten

Utilizou-se o equipamento GLUTOMATIC 2200 PERTEN INSTRUMENTS para a determinação da quantidade de glúten, segundo a metodologia citada por CUBADDA et al. (1992). Foi determinado o teor de glúten úmido, que corresponde ao peso (%) da massa viscoelástica desenvolvida a partir de 10 g de farinha e 4,8 mL de solução salina (NaCl a 2%) e, em seguida, lavada com a mesma solução salina, para a retirada do amido, proteínas solúveis (globulinas e albuminas), fibras e minerais. Posteriormente, foi determinado o teor de glúten seco, correspondente ao peso (%) da massa lavada após sua secagem entre duas placas aquecidas do secador GLUTORK 2020 a 150°C por 4 minutos. A proporção esperada de glúten úmido em relação ao glúten seco é de, aproximadamente, 3:1.

4.2.1.2.2 Número de queda

Foi determinado através do aparelho *Falling Number* PERTEN, segundo o método nº 56-81B da AACC (1995), utilizando-se 7 g de amostra (corrigida para

14 % de umidade), adicionada de 25 mL de água destilada, seguido de vigorosa agitação antes do início do teste.

4.2.1.2.3 Cor

Foi determinada segundo o método de triestímulos (XYZ) com o sistema **L*** **a*** **b*** (MINOLTA, 1994), utilizando-se o espectrofotômetro Color Quest II HUNTERLAB. Os parâmetros significam basicamente: **L**, medida da luminosidade de um material e varia do zero (para o preto) até ao 100 (para o branco); **a**, medida do vermelho (**a** positivo) ou do verde (**a** negativo); **b**, medida do amarelo (**b** positivo) ou do azul (**b** negativo).

4.2.1.2.4 Granulometria

Foi caracterizada a granulometria de cada uma das matérias-primas (farinha e semolina) determinando-se a distribuição do tamanho das partículas, segundo MATSUO & DEXTER (1980). Colocou-se 100 g de amostra no conjunto de peneiras (20, 35, 60, 80 e 100 mesh - ABNT) do aparelho Granutest durante 20 minutos de agitação, e, em seguida, calculou-se, após pesagem, a porcentagem retida em cada peneira.

4.2.1.2.5 Farinografia

As características farinográficas de cada uma das matérias-primas foram avaliadas segundo a adaptação do método nº 54-10 da AACC (1995) proposta por IRVINE et al. (1961), no qual utiliza-se uma absorção de água fixa (31,5%), fornecendo os parâmetros reológicos mais próximos da massa desenvolvida para pastas, as quais utilizam tipicamente uma absorção em torno de 30%. WALSH et al. (1971) consideraram uma umidade ideal de 32% para a extrusão de semolina de trigo durum. Os parâmetros analisados a partir dos farinogramas obtidos foram:

- tempo de desenvolvimento da massa (TDM) ou tempo de mistura: definido como o tempo, em minutos, que a massa leva para atingir o ponto de máxima consistência, representado pelo pico máximo da curva;
- consistência máxima (CM): definida como a consistência da massa, em unidades farinográficas (UF), medida no pico máximo da curva;
- índice de tolerância à mistura (ITM): calculado através da diferença, em unidades farinográficas (UF), entre o pico máximo da curva e o topo da curva medido 4 minutos após ter atingido o pico máximo. Quanto maior essa diferença menor a tolerância à mistura.

4.2.1.2.6 Extensografia

Foram determinadas as propriedades extensográficas das matérias-primas segundo o método 54-10 da AACC (1995). Os parâmetros avaliados foram:

- resistência à extensão ou elasticidade (R): definida como a altura da curva, em unidades extensográficas (UE), a 50 mm do seu início;
- resistência máxima (Rm): representada pela altura máxima da curva, em unidades extensográficas (UE);
- extensibilidade (E): definida como o comprimento, em mm, do início ao fim do extensograma;
- número proporcional (D): calculado a partir da razão R_m/E .

4.2.1.2.7 Análise de viscosidade

Foi utilizado o equipamento *Rapid Visco Analyser* (RVA) segundo a metodologia proposta por PANOZZO & MACCORMICH (1993). A 3,5 g de amostra adicionou-se 25 mL de água, em cadinho de alumínio descartável, anexando uma pá de plástico descartável para misturar a suspensão durante o aquecimento. A suspensão foi então aquecida até 60°C, numa taxa de 12°C/min, e mantida a 60°C por 4 minutos; em seguida, a temperatura foi elevada até 95°C, permanecendo por 8 minutos e, finalmente, foi resfriada até 50°C por 8 minutos. O perfil de viscosidade foi registrado e os parâmetros calculados pelo software *Thermocline for Windows* (versão 1.10), acoplado ao equipamento. Os parâmetros analisados foram:

- Temperatura de pasta: dada pela temperatura, em °C, no ponto onde se verifica um primeiro aumento da viscosidade;
- Viscosidade máxima: viscosidade máxima, em RVU, verificada durante o período de aquecimento;

- Viscosidade mínima à 95°C: menor valor da viscosidade, em RVU, durante a estabilização da temperatura em 95°C.
- Viscosidade final: viscosidade, em RVU, no ponto final do ciclo de resfriamento, à temperatura de 50°C.

4.2.2 Processo de Extrusão das Farinhas

Foi feito o pré-condicionamento da farinha e da semolina, adicionando-se água destilada sob agitação para se atingir a umidade desejada em cada ensaio. O emulsificante, na forma sólida em pó, também foi adicionado nesta etapa. A amostra permaneceu por 24 horas sob refrigeração para a estabilização da umidade, sendo que nova determinação de umidade foi feita depois desse período, cabendo um novo ajuste quando necessário. Após esse procedimento, a amostra estava pronta para ser extrusada.

As pastas extrusadas foram secas por 40 minutos a 60°C até atingirem 12% de umidade ou menos (COLE et al., 1990).

4.2.3 Análises das pastas instantâneas

A sequência dos ensaios analisados também foi definida por sorteio prévio. Todas as análises foram realizadas em duplicata. As análises para cada ensaio foram:

4.2.3.1 Umidade do produto seco

Foi determinada a umidade das pastas secas através de secagem em estufa por 1 hora a 130°C, segundo o método nº 44-15 da AACC (1995).

4.2.3.2 Cor:

Para a determinação dos parâmetros **L***, **a*** e **b***, as pastas secas foram trituradas até 20 mesh, como descrito por BERGMAN et al. (1994). O procedimento de medida foi idêntico ao realizado para as matérias-primas.

4.2.3.3 Teste de cozimento

As características de cozimento das pastas foram determinadas segundo o método nº 16-50 da AACC (1995), onde 10 g de pasta foram introduzidas num béquer contendo 140 mL de água destilada em ebulição, até se atingir o tempo ótimo de cozimento. Os parâmetros analisados foram:

- Tempo ótimo de cozimento: definido como o tempo necessário para desaparecer a cor branca no eixo central da pasta (parte não hidratada), verificada quando se comprimia, entre duas placas de acrílico, uma amostra da pasta retirada a cada 15 segundos;

- Perda de sólidos na água de cozimento: determinada através da evaporação, em estufa a 105°C até massa constante, de uma alíquota de 25 mL da água utilizada no cozimento. A porcentagem dos sólidos perdidos foi calculada como:

$$Sol. (\%) = \frac{\text{Peso do resíduo evaporado (g)} \times \text{Volume da água de cozimento (mL)}}{\text{Peso da amostra (g)} \times \text{Volume da alíquota (mL)}} \times 100;$$

- Aumento de peso do produto cozido: foi determinado pela pesagem de 10 g de amostra crua após seu cozimento (durante o tempo ótimo de cozimento determinado para cada amostra). O resultado do aumento de peso é a razão entre o peso da pasta cozida pelo peso da pasta crua, expresso em porcentagem (%);

- Aumento de volume do produto cozido: o volume da pasta crua e da pasta cozida foi determinado pelo deslocamento de hexano em proveta de 100 mL. A razão entre os dois, em porcentagem, expressa o resultado do aumento de volume.

4.2.3.4 Textura do produto cozido

As pastas foram cozidas seguindo o mesmo procedimento realizado para o teste de cozimento, cada ensaio durante o seu respectivo tempo ótimo de cozimento. Em seguida, as pastas foram drenadas por cerca de 3 minutos. Então, a textura foi analisada através do aparelho *TA-XT2 Texture Analyser (Stable Micro*

System, UK). O *probe* utilizado (A/SPR) consistia em duas pinças separadas por uma distância de 100 mm, próprias para a fixação das extremidades de um filamento de pasta cozida. O teste baseia-se na extensão do filamento de pasta cozida, pela aplicação de uma força de tensão entre suas extremidades, até a sua completa ruptura. As velocidades do pré-teste e do teste em si foram de 3 mm/s e a velocidade do pós-teste foi de 5 mm/s. Para cada amostra, foram realizadas 5 medidas, utilizando 5 filamentos diferentes da mesma pasta. O modo de análise de textura utilizado (medida da força de tensão) permitiu a determinação dos seguintes parâmetros (calculados pelo *software* XTRA DIMENSION, acoplado ao equipamento):

- Força máxima de ruptura: correspondente à força (em g) de tensão aplicada entre as extremidades da pasta cozida até o seu rompimento;
- Trabalho de ruptura: correspondente ao valor da área sob a curva da força exercida sobre a pasta pelo tempo (em g.s).

4.2.3.5 Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC)

Os termogramas dos ensaios e das matérias-primas foram obtidos segundo a metodologia utilizada por NODA et al. (2001). Foi utilizado o equipamento DSC22e marca METTLER TOLEDO. Primeiramente, foi adicionada água destilada a 3 mg de amostra, previamente moídas, até se obter uma concentração de 30% de sólidos. Os cadinhos de alumínio contendo a mistura foram fechados hermeticamente, para evitar a perda de umidade e, então, aquecidos de 20 a

200°C, a uma taxa de varredura de 10°C/min. Utilizou-se um cadinho vazio como referência.

4.2.3.6 Microscopia Eletrônica de Varredura (SEM)

As pastas secas foram examinadas em um microscópio eletrônico de varredura JOEL 25 S II, conforme a metodologia descrita por DEXTER et al. (1979). As amostras foram congeladas em nitrogênio líquido, liofilizadas e então fraturadas para se expor a superfície interna. Cobriu-se a superfície a ser analisada com uma camada de ouro de espessura de aproximadamente 20-25 nm.

4.2.3.7 Difração de Raios-X

As amostras finamente moídas foram usadas para a medida das respectivas difrações de raios-X. As amostras empacotadas num suporte de alumínio foram montadas verticalmente ao difratômetro de raios-X (marca RIGAKU) operando a 35 kV, 15 mA, com radiação incidente de $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda = 0,15405$ nm). A velocidade de varredura utilizada foi de $0,45^\circ 2\theta / \text{min}$ e a faixa de medição de 5° a $40^\circ 2\theta$. As porcentagens de cristalinidade, dado um padrão de referência, foram estimadas pelo *software (Diffra/at by socabim V1.2)* acoplado ao equipamento, seguindo a seguinte equação:

$$\% \text{ de cristalinidade} = \frac{\text{Área dos picos}}{\text{Área total} - \text{Área do ruído}}$$

4.2.4 Delineamento Experimental

Foram escolhidos como parâmetros variáveis:

- temperatura de extrusão na 2ª zona (°C);
- umidade da mistura inicial (farinha ou semolina + emulsificante) (%);
- teor de emulsificante na mistura inicial (%).

Os parâmetros fixos, definidos em ensaios preliminares, foram: a velocidade de rotação do parafuso (120 rpm), a taxa de compressão da rosca (1:3), vazão do alimentador (70 g/min), abertura e desenho da matriz (3,0 mm x 0,6 mm), temperatura na 1ª zona (90°C) e temperatura na 3ª zona ou matriz (90°C).

Para analisar o efeito combinado dessas variáveis nas características tecnológicas das pastas extrudadas, foi aplicado um delineamento estatístico em metodologia de superfície de resposta (MSR) do tipo composto central rotacional de 2³ ordem (BOX et al., 1978).

Os parâmetros do processo, estabelecidos como variáveis independentes, foram estudados em 3 níveis codificados como -1, 0, +1, calculados de acordo com a seguinte equação:

$$x_i = X_i - Z / \Delta X_i \quad (1)$$

onde:

x_i = valor codificado da variável X_i ;

X_i = valor real da variável;

Z = valor real da variável no ponto central;

ΔX_i = valor do intervalo de variação de X_i .

Este delineamento apresenta também dois níveis de variáveis axiais que são codificado como $-\alpha$ e $+\alpha$. O valor depende do número fatorial ($F = 2^K$) do delineamento e do número de variáveis independentes ($K = 3$), sendo o valor definido pela equação:

$$\alpha = (F)^{1/4} = (2^K)^{1/4} = 1,681 \quad (2)$$

Os valores máximos e mínimos de cada variável independente foram estabelecidos dentro das possibilidades operacionais do processo de extrusão, baseados também em dados de literatura e ensaios preliminares (Tabela 3).

Desta forma, o planejamento experimental foi elaborado segundo o delineamento composto central, com três variáveis e cinco níveis ($-\alpha$, -1 , 0 , $+1$, $+\alpha$), conforme a Tabela 4. Este delineamento foi aplicado duas vezes. Na primeira etapa, a pasta instantânea foi feita com a farinha de trigo comum e, na segunda etapa, com farinha de trigo durum. Desta forma, foram realizados 40 experimentos, sendo 20 em cada etapa, incluindo 6 repetições no ponto central. A seqüência de execução dos experimentos foi aleatória, definida através de sorteio prévio.

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

$$Y_i = F(X_1, X_2, \dots, X_K) \quad (3)$$

Através de uma análise de regressão, pode ser ajustado para cada resposta (Y) um polinômio de segunda ordem com as variáveis explicativas (X_K). A expressão geral utilizada para prever o comportamento de cada resposta avaliada pode ser escrita da seguinte forma:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{33} X_3^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \varepsilon \quad (4)$$

onde:

Y_i = função resposta;

X_1, X_2, X_3 = valores das variáveis independentes;

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

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

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

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

ε = erro experimental.

TABELA 3. Variáveis de trabalho com os seus respectivos níveis.

Variáveis		Níveis				
Codificado	Real	$-\alpha$	-1	0	+1	$+\alpha$
X_1	Temperatura na 2ª zona do extrusor (°C)	98	105	115	125	132
X_2	Umidade da mistura inicial (%)	21	23	26	29	31
X_3	Teor de emulsificante na mistura inicial (%)	0,16	0,5	1,0	1,5	1,84

$\pm |\alpha| = 1,681$.

TABELA 4. Delineamento estatístico composto central.

Ensaio	Codificado			Real		
	x_1	x_2	x_3	X_1	X_2	X_3
01	-1	-1	-1	105	23	0,5
02	+1	-1	-1	125	23	0,5
03	-1	+1	-1	105	29	0,5
04	+1	+1	-1	125	29	0,5
05	-1	-1	+1	105	23	1,5
06	+1	-1	+1	125	23	1,5
07	-1	+1	+1	105	29	1,5
08	+1	+1	+1	125	29	1,5
09	$-\alpha$	0	0	98	26	1,0
10	$+\alpha$	0	0	131	26	1,0
11	0	$-\alpha$	0	115	21	1,0
12	0	$+\alpha$	0	115	31	1,0
13	0	0	$-\alpha$	115	26	0,16
14	0	0	$+\alpha$	115	26	1,84
15	0	0	0	115	26	1,0
16	0	0	0	115	26	1,0
17	0	0	0	115	26	1,0
18	0	0	0	115	26	1,0
19	0	0	0	115	26	1,0
20	0	0	0	115	26	1,0

$\pm |\alpha| = 1,681$; x_1 , x_2 , x_3 = variáveis dependentes: temperatura, umidade e teor de emulsificante do modelo codificado, respectivamente; X_1 = Temperatura na 2ª zona do extrusor (°C); X_2 = Umidade da matéria-prima (%); X_3 = Teor de emulsificante (%).

A partir da equação de regressão obtida por esta técnica, alterando-se duas variáveis enquanto a terceira permanece constante, foi possível obter gráficos tridimensionais de superfície de resposta, bem como suas respectivas curvas de nível com o auxílio do software “Statistica”.

5 Resultados e Discussões

5.1 Análises das matérias-primas

Os resultados de todas as análises feitas para a caracterização das matérias-primas estão expressos na Tabela 5.

5.1.1 *Composição centesimal*

5.1.1.1 Umidade

Segundo a portaria nº 132 de 19 de fevereiro de 1999, do Ministério da Saúde (ANVISA, 2003), o teor de umidade na farinha de trigo não deve ser superior a 14,5%, sendo a umidade o principal fator para sua conservação. O teor de umidade determinado para cada matéria-prima, considerando base úmida para efeito de comparação, foi de 12,3% (14,0% em base seca) para a farinha de trigo comum e 15,5% (18,3% em base seca) para a semolina de trigo durum, a qual se apresentou, portanto, acima do limite de umidade permitido pela legislação (Tabela 5).

TABELA 5. Resultados das análises das matérias-primas: farinha de trigo comum e semolina de trigo durum.

Análise	Farinha de Trigo Comum	Semolina de Trigo Durum
Composição centesimal*		
Umidade (%)	14,0 ± 0,2	18,3 ± 0,4
Proteínas (%)	10,9 ± 0,2	12,1 ± 0,3
Lipídios (%)	2,0 ± 0,1	2,0 ± 0,1
Cinzas (%)	0,6 ± 0,03	0,9 ± 0,01
Carboidratos (%)	86,5 ± 0,2	85,0 ± 0,2
Cor		
L	93,36 ± 1,08	88,03 ± 1,23
a	-0,29 ± 0,04	-2,29 ± 0,16
b	8,92 ± 0,22	26,00 ± 0,76
Granulometria (% retida em cada peneira)		
20 mesh (840 µm)	0,2 ± 0,04	0,0 ± 0,0
35 mesh (500 µm)	0,2 ± 0,03	0,2 ± 0,01
60 mesh (250 µm)	2,3 ± 0,2	48,3 ± 0,8
80 mesh (180 µm)	47,8 ± 1,2	32,0 ± 1,0
100 mesh (150 µm)	43,9 ± 2,3	11,8 ± 1,1
Fundo (< 150 µm)	5,6 ± 1,2	7,7 ± 0,1
Quantidade de glúten (%)		
Glúten úmido	26,3 ± 0,6	31,4 ± 0,4
Glúten seco	9,2 ± 0,2	10,6 ± 0,1
Atividade diastática		
Número de queda (s)	305 ± 5	374 ± 6
Farinografia**		
TDM (min)	2,5	5,0
CM (UF)	890	510
ITM (UF)	115 ± 7	60
Extensografia***		
R (UE)	565 ± 7	620 ± 14
Rm (UE)	565 ± 7	655 ± 7
E (mm)	85,5 ± 1,0	105,5 ± 1,0
D = Rm/E	6,6 ± 0,1	6,2 ± 0,1
Viscosidade (RVA)		
Temperatura de pasta (°C)	87,0 ± 1,0	85,5 ± 0,2
Viscosidade máxima (RVU)	214,0 ± 2,4	201,0 ± 1,6
Viscosidade mínima à 95°C (RVU)	135,0 ± 0,1	171,0 ± 0,7
Viscosidade final (RVU)	254,5 ± 0,1	333,4 ± 3,2

*Composição centesimal dada em base seca.

**Absorção fixa de 31,5%; TDM = tempo de desenvolvimento da massa; CM = consistência máxima; ITM = índice de tolerância à mistura.

***Considerando somente o tempo de 135 minutos; R = resistência à extensão; Rm = Resistência máxima à extensão; E = extensibilidade; D = número proporcional.

5.1.1.2 Proteínas

Observou-se, pela Tabela 5, que a semolina de trigo durum apresentou um teor protéico mais alto que a farinha de trigo comum (12,1% e 10,9% em base seca, respectivamente), o que era esperado, considerando que a quantidade de proteínas das farinhas de trigo durum é geralmente mais elevada que o das farinhas de trigo para pão (BAKHSHI & BAINS, 1987). O teor protéico encontrado para a semolina de trigo durum, porém, está abaixo dos valores mais comumente encontrados na literatura, geralmente acima de 14,0 %, em base seca. (DEXTER & MATSUO, 1980; DEXTER et al., 1983; BERGMAN, 1994; FARDET et al., 1998).

Há trabalhos que reportaram que um aumento no teor protéico da farinha resulta em aumento de cor, do tempo de cozimento e firmeza interna em “*noodles*” (MISKELLY, 1984; OH et al., 1985). MATSUO et al. (1972) verificaram que um teor protéico mínimo de 11% é necessário para se obter pastas convencionais que apresentem qualidade de cozimento aceitável. Porém a qualidade, além da quantidade, das proteínas também é um fator muito importante a ser considerado na produção de pastas (DICK & MATSUO, 1988).

5.1.1.3 Lipídios

Ambas as matérias-primas apresentaram o mesmo teor de lipídios (2,0% em base seca). Esses teores são superiores aos encontrados por BERGMAN et al. (1994), os quais ficaram entre 1,2-1,3% (em base seca) para a farinha de trigo

comum e para a semolina de trigo durum. Os lipídios também possuem papel importante na elaboração de pastas. Segundo BARNES et al. (1981), cerca de 90% dos lipídios livres presentes na farinha de trigo se ligam aos seus componentes durante o processamento de pastas, especialmente durante a secagem e, provavelmente, complexam-se com a amilose. Com a gelatinização, os lipídios ligados ou os lipídios internos ao grânulo de amido são liberados ou expostos para interagir com a amilose (MORRISON, 1981). RHO et al. (1989) verificaram que os lipídios apolares, que representam cerca de 70% da parcela total, são os maiores responsáveis pela funcionalidade dos lipídios livres das farinhas.

5.1.1.4 Cinzas

O teor de cinzas está diretamente relacionado com o grau de extração da farinha durante a moagem, mas também depende do tipo do trigo (CUBADDA, 1988). A farinha de trigo comum apresentou um teor de cinzas de 0,63% em base seca, entrando na classificação de farinha de trigo especial ou de primeira, segundo a Portaria nº 354 de 18 de julho de 1996 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 2003). Para a semolina de trigo durum, a Secretaria de Vigilância Sanitária especifica, segundo a portaria nº 132 de 19 de fevereiro de 1999, um teor máximo de cinzas de 0,92% em base seca, sendo que a semolina utilizada apresentou 0,91%. As farinhas de trigo comum (para pão) tendem a apresentar um teor de cinzas menor que as farinhas de trigo durum (BAKHSHI & BAINS, 1987).

5.1.2 Cor

A farinha de trigo comum apresentou um valor de **L** mais elevado, indicando um branco mais acentuado em relação à semolina de trigo durum. OLIVER et al. (1992) verificou uma correlação negativa entre o teor de cinzas da farinha e o valor **L**.

A semolina, por sua vez, apresentou um valor menor do parâmetro **a**, ao mesmo tempo em que apresenta um valor de **b** maior. Isso é devido à cor amarela característica da semolina de trigo durum, já que apresenta uma maior presença de carotenóides (BLANCO et al., 1988). Os valores dos parâmetros estão expressos na Tabela 5.

5.1.3 Granulometria

Segundo a Portaria nº 354/96 da Anvisa, 98% da farinha de trigo deve passar através de peneira com abertura de malha de 250 µm. Observou-se que a farinha de trigo utilizada apresentou passagem de 97,3% em malha de 250 µm (Tabela 5). Para a semolina de trigo durum, a Portaria nº 132/99 especifica que o total do produto deve passar em peneira com abertura de malha de 841 µm e, no máximo, 10% passar em peneira com abertura de malha de 150 µm. A semolina apresentou 100% de passagem pela malha de 840 µm e em torno de 8% passou pela peneira com abertura de malha de 150 µm.

A qualidade inferior de pastas feitas a partir de farinhas de trigo comum se deve em parte à granulometria mais fina da farinha, que está numa faixa de 0-150 μm , enquanto que a semolina apresenta partículas entre 200-400 μm e é usualmente empregada na produção de pastas (SAHLSTRÖM et al., 1993).

COLE et al. (1990) notaram que a granulometria não influenciou na firmeza dos produtos (pasta pré-gelatinizadas) feitos a partir de trigo durum. Enquanto que, ABECASSIS et al. (1987) verificaram uma menor firmeza em pastas convencionais preparadas a partir de farinha em relação às aquelas preparadas a partir de semolina de trigo durum.

5.1.4 Quantidade de glúten

As quantidades de glúten úmido determinadas para cada uma das matérias-primas foram 26,3 e 31,4% para a farinha de trigo comum e semolina de trigo durum, respectivamente. Enquanto que a quantidade de glúten seco verificada foi de 9,2% para a farinha de trigo comum e 10,6% para a semolina de trigo durum (Tabela 5). RHO et al. (1989) verificaram uma quantidade de glúten (seco) de 8,6%, em base seca, na farinha de trigo comum utilizada na produção de “noodles”. Já CUBADDA et al. (1992) encontraram teores de glúten seco entre 8,7 e 14,4% para semolinas de trigo durum analisadas.

A análise de glúten úmido fornece muitas informações a respeito da qualidade da matéria-prima, indicando o conteúdo protéico aproximado e a

capacidade de hidratação do glúten, além das propriedades de manuseio e a aparência da amostra (MATSUO, 1988).

Em relação ao papel do glúten na determinação das qualidades de pastas, BREEN et al. (1977) afirmaram que o glúten do trigo, adicionado em formulações de espaguete, comportou-se como um adjunto bastante útil, reduzindo a perda de sólidos e melhorando a firmeza dos produtos cozidos.

Porém, a firmeza de superfície e a cor branca diminuíram, em “*noodles*” feitos a partir de farinhas de trigo reconstituídas, com o aumento do teor de glúten acima de 7% (RHO et al., 1989).

5.1.5 Número de queda

O número de queda, em segundos, indica o grau de germinação do trigo e baseia-se na mudança de viscosidade do amido gelatinizado, sendo um teste amplamente utilizado por ser rápido, simples e de baixo custo (DICK & MATSUO, 1988). Quanto maior o valor do número de queda, maior o grau de germinação do trigo e, conseqüentemente, maior o grau de atividade das enzimas amilolíticas. MATSUO et al. (1982) reportaram que uma alta atividade de α -amilase em pastas convencionais causou um aumento da perda de sólidos na água de cozimento e comprometeu a textura, devido ao aumento de açúcares redutores.

Os números de queda encontrados foram 305 e 374 segundos para a farinha de trigo comum e para a semolina de trigo durum, respectivamente. Esses

resultados indicam uma baixa atividade amilolítica, pois estão acima do valor de 300 segundos (LUNN et al., 2001).

5.1.6 Farinografia

A farinografia é um dos testes mais empregados para avaliar a qualidade de mistura da farinha de trigo (GUARIENTI, 1996). A quantidade de água e o tempo de mistura necessários para que a massa atinja uma consistência ótima para manipulação são verificados na análise de farinografia pelos parâmetros absorção de água e tempo de desenvolvimento da massa, respectivamente. Esta análise avalia também a capacidade de resistência da massa ao trabalho mecânico (estabilidade). Todas as fases dessa mistura ficam registradas em um gráfico denominado farinograma (TIPPLES et al., 1978; AACC, 1995).

No presente trabalho, foi utilizada uma absorção fixa de 31,5% e os resultados da análise farinográfica das matérias-primas são apresentados na Tabela 5. A semolina de trigo durum apresentou um tempo de desenvolvimento da massa maior que o da farinha de trigo comum (4,0 e 2,5 minutos, respectivamente). Já a consistência máxima e o índice de tolerância à mistura foram maiores no caso da farinha de trigo comum (890 e 115 UF) em relação à semolina de trigo durum (540 e 60 UF).

Esses resultados referentes à semolina de trigo durum estão de acordo com os resultados obtidos por RAO et al. (2001) referentes à semolina classificada

como moderada, considerando-se a força do glúten. Os seus parâmetros para as duas variedades de semolina de força moderada foram: tempo de desenvolvimento da massa de 7,25 e 5,5 minutos; consistência máxima de 500 e 560 UF; índice de tolerância à mistura de 30 UF. Em geral, glutens fortes apresentam consistência máxima mais baixa em relação aos glutens mais fracos, pois tendem a apresentar uma maior absorção de água para o desenvolvimento da massa. Isso faz com que a massa se desenvolva em grandes aglomerados e, portanto, a mistura da massa pelas lâminas do equipamento é menor em relação a uma massa mais homogênea.

Farinhas fortes têm normalmente alto teor de proteína e são caracterizadas por uma alta absorção de água, maior tempo de desenvolvimento da massa e baixo índice de tolerância à mistura (BLOKSMA & BUSHUK, 1988). DEXTER et al. (1981) verificaram que farinhas apresentando glúten de força mediana são preferíveis para a produção de pastas convencionais.

IRVINE et al. (1961) compararam os parâmetros farinográficos de semolinas de trigo durum contendo diferentes teores protéicos e os resultados para a semolina com 12,2% de proteína em base seca (próximo ao utilizado no presente trabalho) foram: tempo de desenvolvimento da massa de 4,5 minutos, consistência máxima de 520 UF e índice de tolerância à mistura de 80 UF.

5.1.7 Extensografia

A extensografia oferece dados para complementar as informações fornecidas pelo farinógrafo. Massas preparadas com conteúdos de água que proporcionam a mesma resistência à mistura podem apresentar ampla variação na resistência à extensão. Portanto, a utilização do extensógrafo juntamente com o farinógrafo permite maior diferenciação e melhor caracterização tecnológica da farinha de trigo.

A farinha de trigo durum apresentou tanto maior resistência à extensão quanto maior extensibilidade em relação à farinha de trigo comum (Tabela 5). Segundo BOYACIOGLU & D'APPOLONIA (1994), é esperado que farinhas de trigo durum apresentem maior extensibilidade e menor resistência à extensão que as farinhas de trigo para pão, porém isso não foi observado em nossa análise.

O valor do parâmetro D (R_m/E) verificado para a semolina de trigo durum está de acordo com os valores encontrados por RAO et al. (2001) para as semolinas classificadas como fortes, considerando a força do glúten. O mesmo acontece com a farinha de trigo comum, que apresenta valor de R_m/E maior que os encontrados por RAO et al. (2000) para farinhas extra fortes.

5.1.8 Análise da viscosidade

A temperatura de pasta indica a temperatura mínima necessária para cozer uma determinada amostra, o que pode ter implicações na estabilidade de outros componentes presentes em uma formulação e também indica a energia a ser consumida (NEWPORT SCIENTIFIC, 1998).

A viscosidade máxima do amido está inversamente correlacionada com o teor de amilose do mesmo (ZENG et al., 1997; PETERSEN & FULCHER, 2001). Segundo DENGATE (1984) e SASAKI et al. (2000), o amido com teor de amilose reduzido apresenta valores mais altos de viscosidade máxima pelo fato de ocorrer maior inchamento dos grânulos, diminuindo, conseqüentemente, a água livre da suspensão amido-água. Já a viscosidade final a 50°C é o parâmetro que indica a capacidade do material formar uma pasta viscosa ou gel após o cozimento e resfriamento (NEWPORT SCIENTIFIC, 1998).

NODA et al. (2001) encontraram para as farinhas de alguns cultivares de trigo, usadas na fabricação de “*noodles*”, os seguintes parâmetros pela análise de RVA: viscosidade máxima entre 267-348 RVU, “*breakdown*” (valor obtido pela diferença entre a viscosidade máxima e a viscosidade à temperatura de 95°C) entre 44-82 RVU, “*setback*” (diferença entre o valor da viscosidade final à 50°C e o valor da viscosidade à temperatura de 95°C e) entre 107-139 e temperatura de pasta entre 68,2-86°C.

Os resultados obtidos (Tabela 5) apresentaram algumas discrepâncias em relação a esses valores, sendo que a farinha de trigo comum e a semolina de trigo durum apresentaram, respectivamente, viscosidade máxima de 214 e 201 RVU, “*breakdown*” de 79 e 30 RVU, “*setback*” de 119,5 e 162,4 RVU e temperatura de pasta de 87 e 85,5°C.

Segundo NODA et al. (2001), uma correlação positiva entre viscosidade máxima da farinha e a elasticidade do produto (“*noodle*”), além de uma correlação negativa entre temperatura de pico e elasticidade do produto, foram verificadas. Outra observação reportada sugere que, quanto menor o valor de “*setback*”, maior a dificuldade em retrogradar.

5.2 Análises das pastas instantâneas

5.2.1 Umidade do produto seco

As amostras de todos os ensaios apresentaram umidade entre 10-11% (Tabela 6), estando abaixo do valor de referência de 12% citado por COLE et al. (1990) como umidade das pastas secas a serem armazenadas enquanto não analisadas.

TABELA 6. Resultados de umidade das pastas instantâneas secas.

Ensaio	Temperatura (°C)	Umidade (%)	Emulsificante (%)	Umidade (%)	
				Farinha de trigo comum	Semolina de trigo durum
1	105	23	0,5	10,7	10,3
2	125	23	0,5	10,6	10,6
3	105	29	0,5	10,3	10,7
4	125	29	0,5	10,3	10,4
5	105	23	1,5	11,0	10,8
6	125	23	1,5	10,7	10,9
7	105	29	1,5	10,5	10,7
8	125	29	1,5	10,5	10,6
9	98	26	1,0	10,6	10,7
10	131	26	1,0	10,5	10,4
11	115	21	1,0	10,7	10,8
12	115	31	1,0	10,6	10,6
13	115	26	0,2	10,0	10,5
14	115	26	1,8	10,7	10,7
15	115	26	1,0	10,2	10,5
16	115	26	1,0	10,7	10,4
17	115	26	1,0	10,8	10,4
18	115	26	1,0	10,3	10,3
19	115	26	1,0	10,4	10,4
20	115	26	1,0	10,7	10,3

5.2.2 Cor

Os resultados dos parâmetros **L**, **a** e **b** referentes às pastas secas estão expressos na Tabela 7. Observa-se que os valores obtidos para o parâmetro **L**, que expressa a intensidade do branco nas amostras, mostraram-se bastante próximos, apesar de que as pastas de trigo comum apresentaram, em geral, um valor de **L** ligeiramente menor que as pastas de trigo durum. Essa pequena diferença também foi notada por BERGMAN et al. (1994). Porém, as pastas convencionais feitas a partir de 100% de trigo comum apresentaram um valor de **L** maior que aquelas feitas a partir de 100% de trigo durum, sendo, respectivamente, 55,1 e 52,7.

No caso do parâmetro **b** (amarelo – azul), os valores dos ensaios que utilizaram semolina de trigo durum foram, em geral, maiores quando comparados aos ensaios que utilizaram trigo comum. Isso sugere que se manteve a característica de cor amarela no produto de trigo durum, garantida pela presença de um alto teor de carotenóides. Quanto ao parâmetro **a** (vermelho – verde), os ensaios referentes à farinha de trigo comum apresentaram valores maiores comparados aos ensaios referentes à semolina de trigo durum, sendo que o valor máximo obtido entre os produtos de trigo comum foi de 3,79 (ensaio 8) e de trigo durum 2,50 (ensaio 10).

Verificou-se que apenas no caso das pastas feitas a partir de trigo comum as variáveis estudadas apresentam efeitos significativos ($p < 0,05$) sobre os valores dos parâmetros **L** e **b**, como mostrados na Figura 1. As análises dos efeitos das variáveis sobre os parâmetros de cor das pastas instantâneas estão nas Tabelas 20-25 do Anexo I. A temperatura do processo de extrusão e a umidade da mistura inicial apresentaram efeito negativo sobre o valor de **L**, enquanto que o teor de emulsificante apresentou um efeito positivo, ou seja, aumentando-se o teor de emulsificante na mistura de farinha de trigo comum verificou-se um aumento da intensidade da cor branca nas pastas. Essa observação não está de acordo com o que RHO et al. (1989) reportaram com relação à cor de “*noodles*” feitos a partir de trigo comum, observando que farinhas desengorduradas tendem a produzir pastas mais brancas ($>$ valor **L**). A temperatura (quadrática) e a umidade também apresentaram efeito negativo sobre o valor do parâmetro **b**, enquanto que a interação temperatura x emulsificante apresentaram efeito positivo. Em relação ao

parâmetro *a*, somente a interação temperatura x emulsificante apresentou efeito significativo (positivo).

TABELA 7. Resultados dos parâmetros de cor das pastas instantâneas secas.

Ensaio	Temperatura (°C)	Umidade (%)	Emulsificante (%)	Farinha de trigo comum			Semolina de trigo durum		
				L	a	b	L	a	b
1	105	23	0,5	67,52	2,97	17,39	67,49	1,73	19,66
2	125	23	0,5	55,84	2,51	14,52	58,76	1,60	20,34
3	105	29	0,5	59,84	2,68	14,50	63,80	1,81	19,62
4	125	29	0,5	52,15	2,99	12,38	61,17	2,29	19,77
5	105	23	1,5	72,12	2,21	14,95	69,97	1,55	18,12
6	125	23	1,5	66,91	3,54	18,49	66,80	1,24	17,31
7	105	29	1,5	63,25	2,56	14,57	63,48	1,74	17,52
8	125	29	1,5	60,05	3,79	16,46	62,56	2,02	20,25
9	98	26	1,0	59,36	2,37	13,76	60,99	0,60	14,84
10	131	26	1,0	58,52	2,59	16,15	65,78	2,50	23,03
11	115	21	1,0	69,89	3,01	19,35	72,56	1,07	19,32
12	115	31	1,0	52,97	3,02	12,33	64,38	1,94	19,97
13	115	26	0,2	55,72	3,63	16,40	65,60	2,32	22,09
14	115	26	1,8	65,26	2,42	16,96	68,26	1,87	19,50
15	115	26	1,0	62,00	3,09	17,11	70,66	2,33	22,16
16	115	26	1,0	62,94	3,03	17,40	64,90	1,88	19,71
17	115	26	1,0	63,75	3,34	17,74	67,13	1,94	21,92
18	115	26	1,0	56,86	2,57	14,63	70,41	1,79	19,50
19	115	26	1,0	62,74	3,28	17,67	61,03	0,86	15,66
20	115	26	1,0	62,15	2,67	16,82	63,13	1,99	18,66

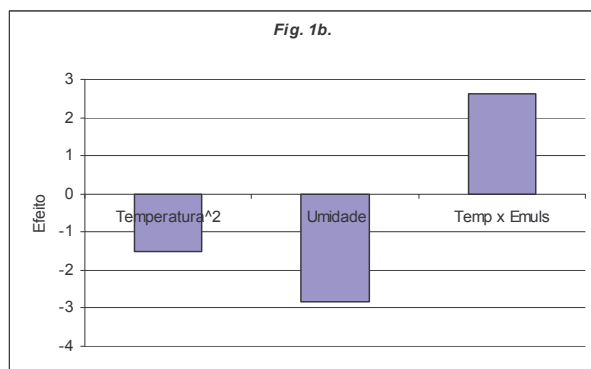
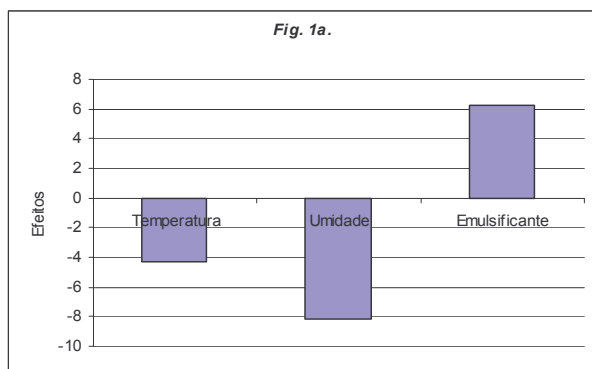


FIGURA 1. Efeitos das variáveis sobre os parâmetros de cor para as pastas instantâneas de trigo comum: Parâmetro L (Fig. 1a) e Parâmetro b (Fig. 1b).

5.2.3 Teste de cozimento

5.2.3.1 Tempo ótimo de cozimento

Para todos os ensaios, o tempo ótimo de cozimento determinado foi inferior a 3 minutos (Tabela 8), que é o valor de referência entre os produtos do mercado. Houve casos, inclusive, que o tempo ótimo se manteve abaixo de 1 minuto (ensaios 14 de trigo comum e trigo durum), embora não signifique que o produto apresentou uma consistência desejável, mostrando-se muito quebradiço, sem firmeza e pegajoso. Os ensaios que apresentaram tempos ótimos de cozimento elevados (3 minutos) também não apresentaram consistências adequadas, mostrando-se extremamente elásticos. Os melhores resultados a serem considerados são os ensaios que apresentaram tempos de cozimento intermediários, entre 1,5 e 2 minutos, tanto para o trigo comum quanto para o trigo durum.

Os valores do tempo ótimo de cozimento para as pastas feitas a partir de farinha de trigo comum foram semelhantes àqueles das pastas de semolina de trigo durum. Já BERGMAN et al. (1994) reportaram que pastas convencionais feitas a partir de 100% de farinha de trigo comum (*“soft wheat”*), sem adição de emulsificantes, apresentaram um tempo ótimo de cozimento cerca de 30% menor (7 minutos contra 10 minutos) que as pastas convencionais feitas a partir de 100% de semolina de trigo durum, sem emulsificantes. RHO et al. (1989) também verificaram um tempo de cozimento, em geral, menor para *“noodles”* feitos a partir

de farinha de trigo mole em relação àqueles feitos a partir de uma variedade de trigo duro.

TABELA 8. Resultados do tempo ótimo de cozimento.

Ensaio	Temperatura (°C)	Umidade (%)	Emulsificante (%)	Tempo de Cozimento (min)	
				Farinha de trigo comum	Semolina de trigo durum
1	105	23	0,5	2,0	2,0
2	125	23	0,5	3,0	3,0
3	105	29	0,5	3,0	2,25
4	125	29	0,5	3,0	3,0
5	105	23	1,5	1,0	1,0
6	125	23	1,5	1,25	1,0
7	105	29	1,5	1,0	1,17
8	125	29	1,5	2,0	3,0
9	98	26	1,0	1,0	1,0
10	131	26	1,0	2,0	2,5
11	115	21	1,0	2,0	1,25
12	115	31	1,0	3,0	2,25
13	115	26	0,2	3,0	3,0
14	115	26	1,8	0,75	0,83
15	115	26	1,0	2,0	1,5
16	115	26	1,0	2,0	1,5
17	115	26	1,0	1,5	2,5
18	115	26	1,0	2,0	1,25
19	115	26	1,0	2,0	1,0
20	115	26	1,0	2,0	1,5

Pela análise dos efeitos (Figura 2) verifica-se que as variáveis que mais influenciaram no tempo ótimo de cozimento das pastas, para ambas as matérias-primas utilizadas, foram, em ordem decrescente: teor de emulsificante (linear), temperatura (linear) e umidade (no caso das pastas de trigo comum, os termos linear e quadrático). As análises dos efeitos são mostradas nas Tabelas 26 e 27 do Anexo I.

O teor de emulsificante apresentou um efeito negativo sobre o tempo ótimo de cozimento. Espera-se, no entanto, que o tempo de cozimento aumente ao se adicionar agentes emulsificantes à massa. Durante o processo de extrusão termoplástica, os emulsificantes adicionados provavelmente alteram o transporte de água para o interior dos grânulos de amido da farinha de trigo, devido à formação dos complexos emulsificante-amilose. Se esses complexos são formados na superfície do grânulo de amido, um filme insolúvel pode ser formado, o que irá retardar a gelatinização do amido (RYU & WALKER, 1993). RHO et al. (1989) observaram que farinhas desengorduradas produziram “*noodles*” com menor tempo de cozimento, mas com maior força de corte, indicando aumento de gomosidade e pior mastigabilidade.

O efeito positivo da temperatura sobre o tempo ótimo de cozimento é explicado pelo aumento da fração protéica insolúvel durante o processo de extrusão termoplástica devido ao aumento de temperatura. A extrusão a uma temperatura mais alta (96°C) causou um aumento maior na fração de resíduo insolúvel de semolina de trigo durum em relação à extrusão dessa semolina a uma temperatura mais baixa (50°C) (UMMADI et al., 1995). LI & LEE (1997) também verificaram que o aumento de temperatura de extrusão na zona da matriz causou um aumento drástico da fração protéica insolúvel, comparada com a farinha de trigo não processada, onde as proteínas insolúveis da farinha de trigo extrusada saltaram de 12 para 66,5% do total protéico, com o aumento de temperatura da zona da matriz de 60 para 160°C.

A umidade da mistura inicial também apresentou um efeito positivo sobre o tempo ótimo de cozimento, pois está diretamente relacionada com o grau de gelatinização ocorrido durante o processo de extrusão das pastas (BURT & RUSSELL, 1983).

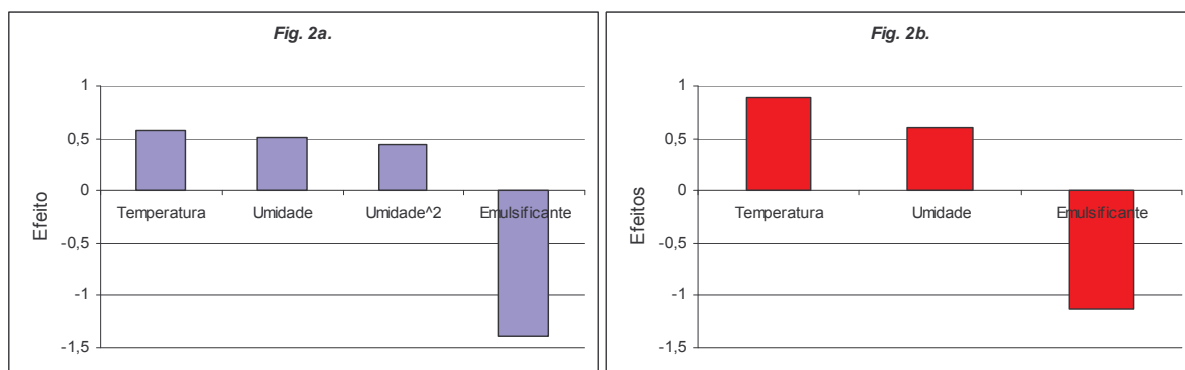


FIGURA 2. Efeitos das variáveis sobre o tempo ótimo de cozimento das pastas instantâneas feitas a partir de trigo comum (Fig. 2a) e trigo durum (Fig. 2b).

Foram analisados estatisticamente os dados para a obtenção de modelos matemáticos para os dois casos, mostrados na Tabela 9. Em ambos os casos, o modelo obtido foi validado pelo teste F, apresentando F calculado maior que o tabelado. Porém, notou-se, pelo valor R^2 , que o modelo referente às pastas de trigo comum apresentou melhor ajuste.

TABELA 9. Modelos matemáticos para tempo ótimo de cozimento.

	Modelo Codificado	Nível de significância	R^2	$F_{\text{calculado}}$	F_{tabelado}
Farinha de trigo comum	$y = 1,82 + 0,29.x_1 + 0,25.x_2 + 0,23.x_2^2 - 0,70.x_3$	95% ($p < 0,05$)	0,91	38,7	3,06
Semolina de trigo durum	$y = 1,82 + 0,45.x_1 + 0,30.x_2 - 0,57.x_3$	95% ($p < 0,05$)	0,70	11,5	3,29

Pela análise das superfícies de respostas obtidas, pode-se observar com mais clareza o efeito de cada variável sobre o tempo ótimo de cozimento.

No caso das pastas de farinha de trigo comum, pela Figura 3a, nota-se que temperaturas abaixo dos 105°C combinadas com umidades não superiores a 26%, resultarão em produtos apresentando tempos ótimos de cozimento inferiores a 1,5 minuto. À medida que se elevam a temperatura e umidade, o tempo ótimo de cozimento tende a subir. A Figura 3b mostra que teores de emulsificante acima de 1,0% associados a temperaturas abaixo de 105°C também geram produtos com tempo ótimo de cozimento reduzido (< 1,5 minuto). Quando se aumenta a temperatura e se reduz o teor de emulsificante, o tempo ótimo de cozimento aumenta. Teores de emulsificante acima de 1,25% também reduzem o tempo ótimo de cozimento quando associados a uma extensa faixa de umidade (21 – 28%). Reduzindo o teor de emulsificante e aumentando-se a umidade, tem-se um aumento no tempo ótimo de cozimento, como se vê na Figura 3c.

Para os produtos de semolina de trigo durum, as relações entre as variáveis e as respostas são lineares (modelos geram planos). A Figura 4 sugere que tempos ótimos de cozimento reduzidos são conseguidos com a diminuição simultânea da temperatura e umidade e com o aumento do teor de emulsificante.

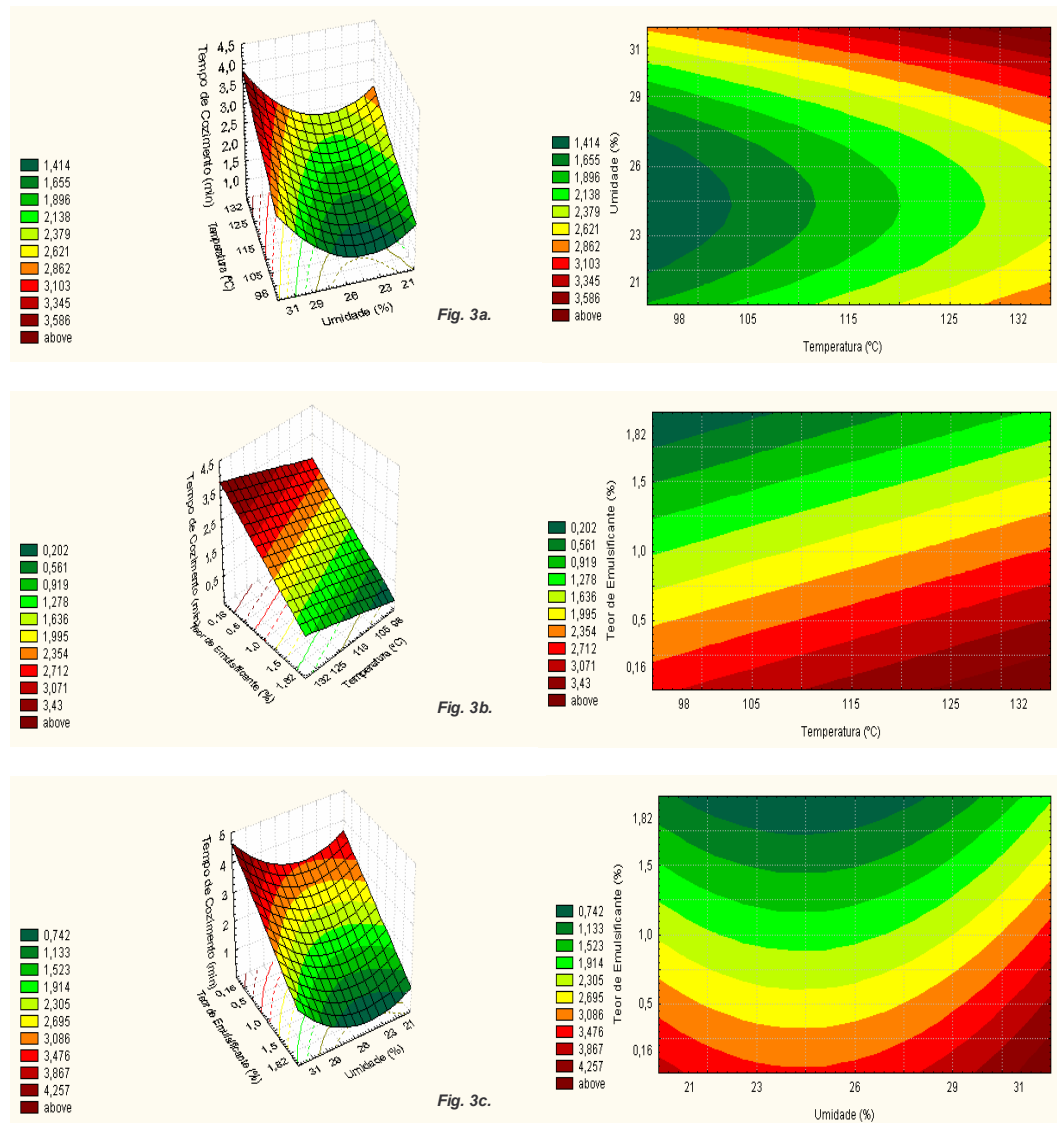


FIGURA 3. Superfícies de resposta para o tempo ótimo de cozimento, referentes às pastas de farinha de trigo comum: temperatura x umidade (Fig. 3a), temperatura x teor de emulsificante (Fig. 3b) e umidade x teor de emulsificante (Fig. 3c).

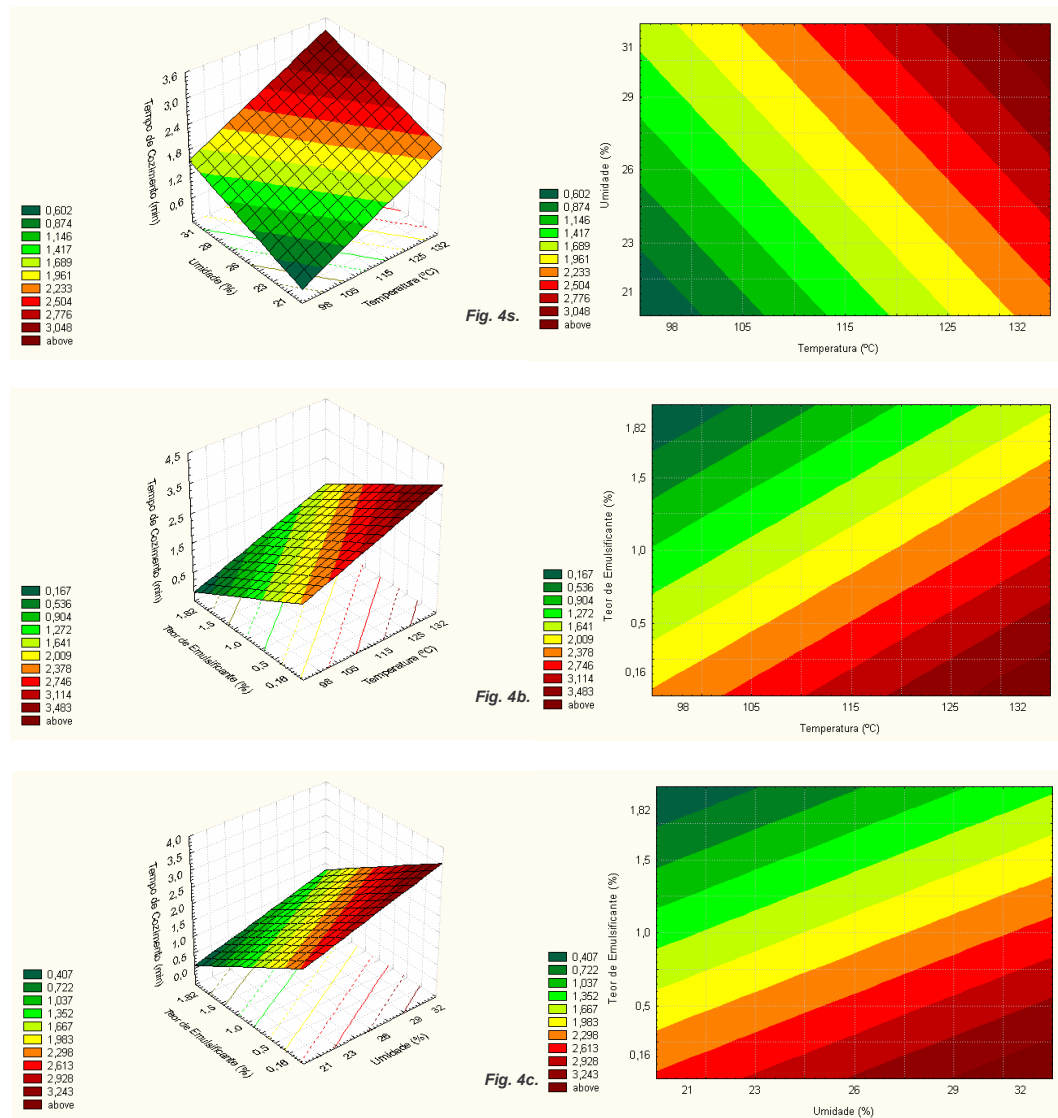


FIGURA 4. Superfícies de resposta para o tempo ótimo de cozimento, referentes às pastas de farinha de trigo durum: temperatura x umidade (*Fig. 4a*), temperatura x teor de emulsificante (*Fig. 4b*) e umidade x teor de emulsificante (*Fig. 4c*).

5.2.3.2 Perda de sólidos na água de cozimento

Os valores de perda de sólidos observados entre as pastas de trigo comum e de trigo durum foram bastante parecidos, como mostra a Tabela 10. A perda máxima para o trigo comum foi de 2,5% (ensaio 4) e para o trigo durum 2,6% (ensaio 13).

TABELA 10. Resultados da perda de sólidos na água de cozimento.

Ensaio	Temperatura (°C)	Umidade (%)	Emulsificante (%)	Perda de Sólidos (%)	
				Farinha de trigo comum	Semolina de trigo durum
1	105	23	0,5	2,1	2,2
2	125	23	0,5	1,9	1,7
3	105	29	0,5	2,4	1,9
4	125	29	0,5	2,5	2,5
5	105	23	1,5	1,5	1,3
6	125	23	1,5	1,3	1,5
7	105	29	1,5	1,5	1,7
8	125	29	1,5	1,5	2,0
9	98	26	1,0	1,4	2,1
10	131	26	1,0	1,4	1,7
11	115	21	1,0	1,7	1,3
12	115	31	1,0	1,7	2,4
13	115	26	0,2	2,4	2,6
14	115	26	1,8	1,1	1,3
15	115	26	1,0	1,5	1,5
16	115	26	1,0	1,5	1,3
17	115	26	1,0	1,3	1,5
18	115	26	1,0	1,4	1,6
19	115	26	1,0	1,4	1,5
20	115	26	1,0	1,7	1,5

Esperava-se uma diferença maior entre os produtos feitos a partir de diferentes matérias-primas. BERGMAN et al. (1994) verificaram que pastas convencionais feitas a partir de 100% de farinha de trigo comum (*“soft wheat”*), sem adição de emulsificantes, apresentaram uma perda de sólidos cerca de 89%

maior que pastas convencionais feitas a partir de 100% de semolina de trigo durum, sem emulsificantes.

O teor de amilose é um fator importante a ser considerado a respeito da perda de sólidos. Como constatou LAI (2001), pastas de arroz feitas a partir de farinha com alto teor de amilose (~31%) apresentaram perda de sólidos entre 26% (sem emulsificantes) e 11% (com adição de emulsificantes), enquanto pastas elaboradas a partir de farinha de arroz que continham baixo teor de amilose (~18,5%) apresentaram perda de sólidos entre 60% (sem emulsificantes) e 31% (com adição de emulsificantes).

A adição de emulsificantes afeta drasticamente a perda de sólidos das pastas durante o cozimento. A Figura 5 mostra que tanto para os produtos feitos a partir de farinha de trigo comum quanto para os produtos de trigo durum, o teor de emulsificantes (linear) apresenta um efeito negativo sobre a resposta, além de representar o efeito mais expressivo. Alguns autores citaram que a adição de emulsificantes diminuiu a perda de sólidos na água de cozimento em pastas (KOVACS et al., 1992; MATSUO et al., 1986; LAI et al., 2001), enquanto outros observaram que a utilização de farinhas desengorduradas originou pastas com perdas de sólidos maiores (VASANTHAN & HOOVER, 1992; RHO et al, 1989).

A presença de lipídios diminui a lixiviação da amilose durante a gelatinização devido à formação amilose-lipídio. A complexação entre amilose e lipídio, particularmente monoglicerídeos, diminui a presença de amilose na

superfície da pasta cozida, resultando em diminuição da adesividade. Além disso, essa complexação diminui o intumescimento e a solubilidade do grânulo de amido e, portanto, uma diminuição na perda de sólidos é esperada (MATSUO et al., 1986).

COLE et al. (1990) reportaram que um aumento do teor de gliceril monoestearato de 0,75 para 2,0% aumentou a perda de sólidos de pastas pré-gelatinizadas (de 1,4% para 2,1%), porém reduziu a lixiviação de amilose da superfície da pasta para a água de reidratação.

Foi observado um efeito positivo significativo do teor de umidade (linear e quadrático) sobre a perda de sólidos das pastas feitas a partir de ambas as matérias-primas e que, provavelmente, está relacionado com o grau de gelatinização do amido. A quantidade de amido gelatinizado é maior quanto maior o teor de umidade. Porém, Lai et al. (2001) verificaram que a formação de um filme de amido gelatinizado sobre a superfície de pastas de arroz aumentou a tolerância ao cozimento, o que não está de acordo com o verificado neste trabalho, já que o aumento do grau de gelatinização promoveu um aumento da perda de sólidos na água de cozimento.

Para o caso das pastas feitas a partir de trigo durum, foi ainda observado o efeito significativo da temperatura (quadrática) e da interação temperatura x umidade. As análises dos efeitos estão nas Tabelas 28 e 29 do Anexo I.

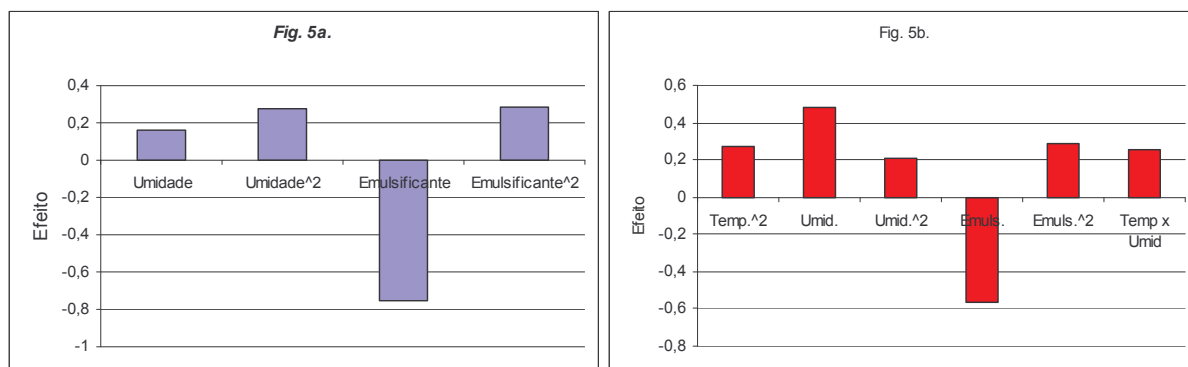


FIGURA 5. Efeitos das variáveis sobre a perda de sólidos na água de cozimento das pastas instantâneas feitas a partir de trigo comum (Fig. 5a) e trigo durum (Fig. 5b).

Foram obtidos os modelos matemáticos que predizem o comportamento das variáveis estudadas em relação à perda de sólidos das pastas na água de cozimento, para os dois tipos de pastas instantâneas obtidas (com farinha de trigo comum e semolina de trigo durum), e são apresentados na Tabela 11.

TABELA 11. Modelos matemáticos para perda de sólidos na água de cozimento.

	Modelo Codificado	Nível de significância	R ²	F _{calculado}	F _{tabelado}
Farinha de trigo comum	$y = 1,49 + 0,08.x_2 + 0,14x_2^2 - 0,38.x_3 + 0,14x_3^2$	95% (p<0,05)	0,87	24,7	3,06
Semolina de trigo durum	$y = 1,51 + 0,14.x_1^2 + 0,24.x_2 + 0,11x_2^2 - 0,28.x_3 + 0,14x_3^2 + 0,13.x_1.x_2$	95% (p<0,05)	0,83	10,4	2,92

Analisando as superfícies de respostas, conclui-se que, no caso dos produtos feitos a partir de trigo comum, as condições que determinam uma redução no teor de sólidos perdidos no cozimento são aumento no teor de emulsificante e umidade em torno dos 26%, como mostra a Figura 6.

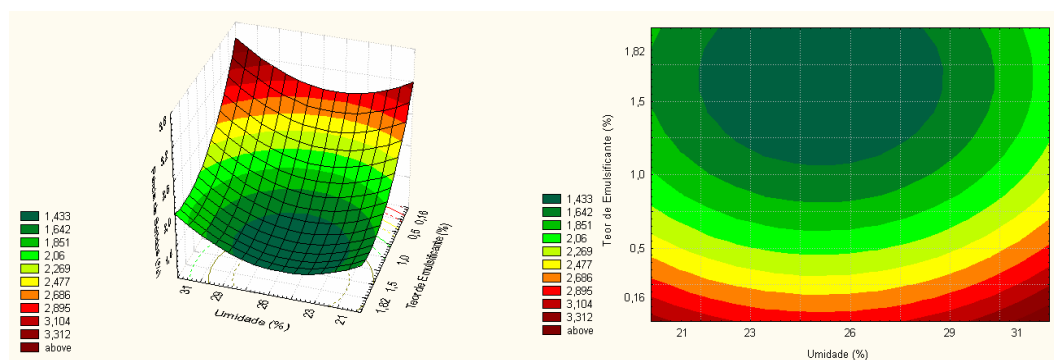


FIGURA 6. Superfície de resposta para a perda de sólidos, referente às pastas de farinha de trigo comum.

No caso dos produtos de semolina de trigo durum, o comportamento é semelhante. Para se reduzir a perda de sólidos, aumenta-se o teor de emulsificante, porém mantém-se a umidade em torno dos 23% (Figura 7a). Além disso, umidades mais baixas e temperaturas mais altas também diminuem a perda de sólidos (Figura 7b). Mesmo efeito é conseguido aumentando-se o teor de emulsificante e mantendo-se a temperatura em torno de 115°C (Figura 7c).

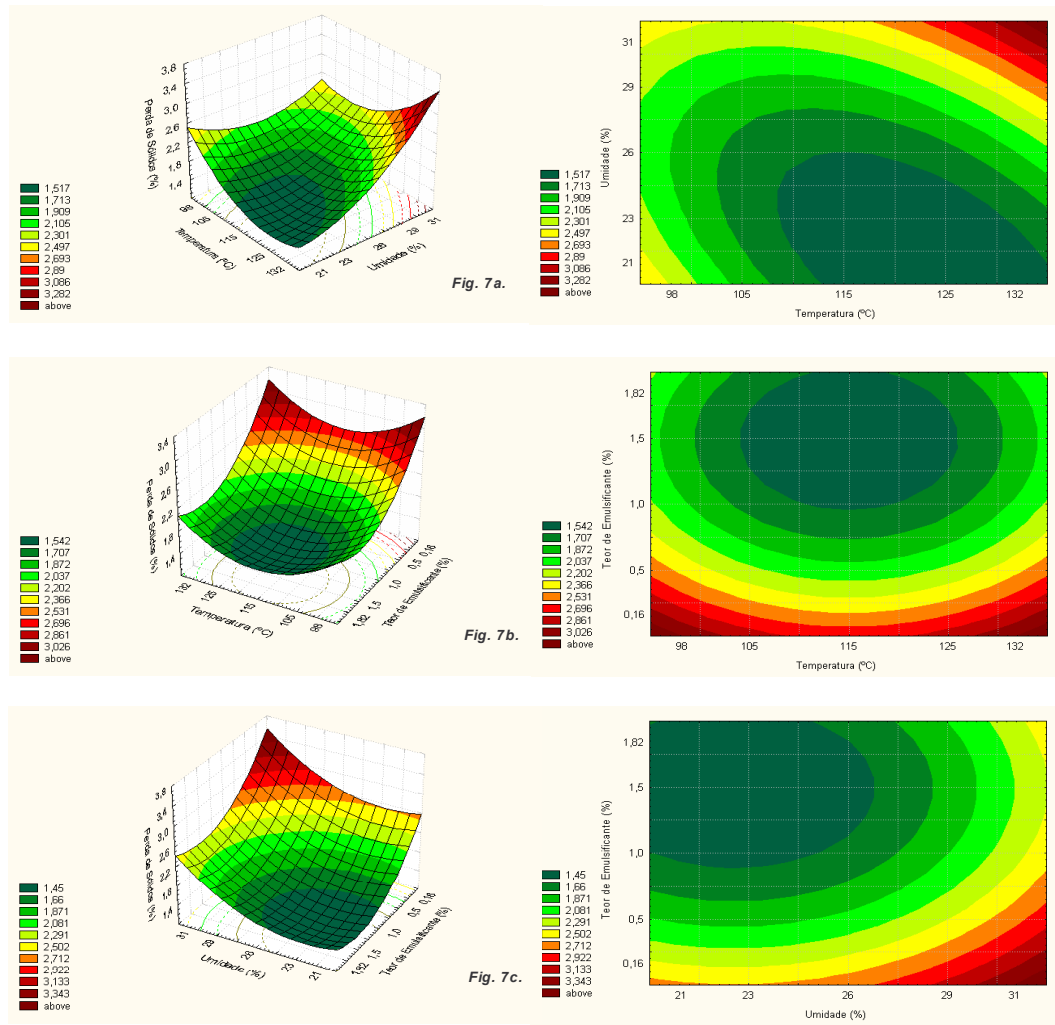


FIGURA 7. Superfícies de resposta para perda de sólidos referentes às pastas de semolina de trigo durum: temperatura x umidade (Fig. 7a), temperatura x teor de emulsificante (Fig. 7b) e umidade x teor de emulsificante (Fig. 7c).

5.2.3.3 Aumento de peso e de volume durante o cozimento

As pastas instantâneas de trigo comum apresentaram aumentos de peso e de volume ligeiramente maiores em comparação com as pastas de trigo durum (Tabela 12). Essa observação está de acordo com o que BERGMAN et al. (1994) reportaram, onde pastas convencionais feitas a partir de 100% de farinha de trigo comum (“*soft wheat*”) apresentaram um ganho de peso cerca de 28% superior às pastas convencionais feitas a partir de 100% de semolina de trigo durum.

Já COLE et al. (1990), verificaram que pastas pré-gelatinizadas feitas a partir de *T. aestivum* apresentaram um aumento de peso de 104,4%, abaixo do valor atingido pelas pastas produzidas a partir de *T. durum*, que foi de 114,8%.

Verificou-se um aumento de peso máximo de 170% (ensaio 12) entre as amostras que utilizaram farinha de trigo comum, enquanto que entre as amostras de semolina de trigo durum, o aumento máximo foi de 159% (ensaio 8). Os aumentos máximos de volume foram: 15 mL por 100 g para pastas de trigo comum (ensaios 3 e 12) e 14 mL por 100 g para pastas de trigo durum (ensaios 3, 4, 8, 10, 12 e 20).

A única variável que apresentou efeito significativo ($p < 0,05$) sobre o aumento de peso e volume foi o teor de umidade (linear) da mistura inicial (Tabelas 30-33 do Anexo I). Alguns autores relataram a influência dos emulsificantes e lipídios no aumento de peso de pastas após o cozimento

(KOVACS et al., 1992; COLE et al., 1990; LAI et al., 2001; MATSUO et al., 1986).

Porém, não se nota um consenso, pois alguns trabalhos mostraram que o aumento de peso foi maior na presença de emulsificantes enquanto que, em outros, os emulsificantes reduziram este aumento.

TABELA 12. Resultados de aumento de peso e de volume durante o cozimento.

Ensaio	Temperatura (°C)	Umidade (%)	Emulsificante (%)	Aumento de peso (%)		Aumento de volume (ml/100g)	
				Farinha de trigo comum	Semolina de trigo durum	Farinha de trigo comum	Semolina de trigo durum
1	105	23	0,5	94	115	9	11
2	125	23	0,5	111	128	10	13
3	105	29	0,5	160	137	15	14
4	125	29	0,5	145	140	14	14
5	105	23	1,5	132	105	11	9
6	125	23	1,5	104	103	11	9
7	105	29	1,5	148	101	13	10
8	125	29	1,5	154	159	14	14
9	98	26	1,0	124	120	12	10
10	131	26	1,0	153	148	14	14
11	115	21	1,0	79	96	10	8
12	115	31	1,0	170	149	15	14
13	115	26	0,2	136	118	12	10
14	115	26	1,8	129	107	11	10
15	115	26	1,0	130	100	12	9
16	115	26	1,0	126	117	10	10,5
17	115	26	1,0	108	130	10	12
18	115	26	1,0	156	104	14	10
19	115	26	1,0	124	115	12	10
20	115	26	1,0	145	143	13	14

A Figura 8 mostra como variam o aumento de peso e de volume em função do teor de umidade. As Tabelas 13 e 14 mostram os respectivos modelos matemáticos ajustados para ambas as respostas.

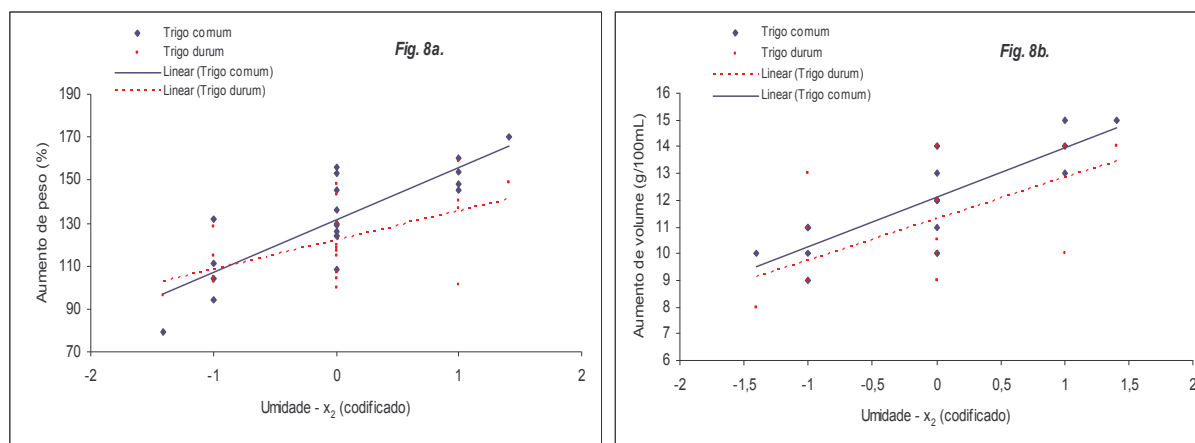


FIGURA 8. Curvas do aumento de peso (Fig. 8a.) e aumento de volume (Fig. 8b.) das pastas instantâneas em relação à umidade.

TABELA 13. Modelos matemáticos para aumento de peso no cozimento.

	Modelo Codificado	Nível de significância	R^2	$F_{\text{calculado}}$	F_{tabelado}
Farinha de trigo comum	$y = 131,4 + 23,4.x_2$	95% ($p < 0,05$)	0,71	43,1	4,41
Semolina de trigo durum	$y = 121,7 + 12,8.x_2$	95% ($p < 0,05$)	0,33	8,9	4,41

TABELA 14. Modelos matemáticos para aumento de volume no cozimento.

	Modelo Codificado	Nível de significância	R^2	$F_{\text{calculado}}$	F_{tabelado}
Farinha de trigo comum	$y = 12,1 + 3,4.x_2$	95% ($p < 0,05$)	0,63	30,5	4,41
Semolina de trigo durum	$y = 11,3 + 1,5.x_2$	95% ($p < 0,05$)	0,35	9,6	4,41

5.2.4 Textura do produto cozido

Os parâmetros escolhidos para a análise da textura dos produtos obtidos foram a força máxima de ruptura e o trabalho de ruptura. Os resultados obtidos para os dois parâmetros estão na Tabela 15.

TABELA 15. Resultados de força máxima de ruptura e trabalho de ruptura das pastas cozidas.

Ensaio	Temperatura (°C)	Umidade (%)	Emulsificante (%)	Força Máxima de Ruptura (g)		Trabalho de Ruptura (g.s)	
				Farinha de trigo comum	Semolina de trigo durum	Farinha de trigo comum	Semolina de trigo durum
1	105	23	0,5	11,5	10,6	67,3	42,2
2	125	23	0,5	25,9	20,9	139,6	91,5
3	105	29	0,5	11,3	23,8	84,4	189,2
4	125	29	0,5	31,0	26,6	242,7	222,4
5	105	23	1,5	9,3	10,0	20,7	22,8
6	125	23	1,5	17,1	12,3	49,1	21,3
7	105	29	1,5	12,0	9,0	59,7	20,5
8	125	29	1,5	25,2	24,3	135,5	114,6
9	98	26	1,0	9,1	8,5	33,0	26,9
10	131	26	1,0	27,6	26,0	161,7	124,1
11	115	21	1,0	17,7	13,6	67,0	24,8
12	115	31	1,0	20,3	21,6	101,5	123,6
13	115	26	0,2	38,8	30,4	520,4	241,4
14	115	26	1,8	13,9	10,0	42,6	17,6
15	115	26	1,0	20,5	11,5	98,3	37,7
16	115	26	1,0	11,2	13,7	38,8	57,2
17	115	26	1,0	11,1	13,8	32,6	42,9
18	115	26	1,0	14,1	18,6	40,7	69,3
19	115	26	1,0	13,4	11,4	55,6	35,9
20	115	26	1,0	16,9	20,5	65,6	86,1

Apesar de não ter havido correlação dos parâmetros de textura obtidos com os valores de análise sensorial da pasta cozida, notou-se através de uma análise subjetiva que a textura ideal não seria necessariamente a que apresentasse maior ou menor valor de força máxima e trabalho de ruptura. Os valores extremos, tanto altos como baixos, implicavam em textura indesejável. Valores baixos para força e trabalho de ruptura, geralmente, se associavam a pegajosidade e falta de firmeza da pasta cozida, ao passo que valores muito altos indicavam uma massa exageradamente elástica.

A força máxima de ruptura transmite a idéia de quanto a massa cozida é elástica, suportando a tensão exercida através de seus extremos. Os valores máximos e mínimos obtidos para esta resposta foram, respectivamente, 38,8 g (ensaio 13) e 9,1 g (ensaio 9) para os ensaios com trigo comum e 30,4 g (ensaio 13) e 8,5 g (ensaio 9) para os ensaios com trigo durum. Nota-se que, as pastas instantâneas feitas a partir de farinha de trigo comum tendem a apresentar uma elasticidade maior que as pastas de trigo durum, estando de acordo com NODA et al. (2001), os quais detectaram uma correlação positiva entre a viscosidade máxima das farinhas e o grau de elasticidade dos produtos (*"noodles"*).

Os valores máximos obtidos referentes ao trabalho de ruptura, que indica a energia necessária para romper a massa, foram 520,4 g.s (Ensaio 13) para trigo comum e 241,4 g.s (Ensaio 13) para trigo durum, enquanto os valores mínimos foram 20,69 g.s (Ensaio 5) para trigo comum e 17,61 g.s (Ensaio 14) para o trigo durum. É observado que, os mesmos ensaios que apresentaram os maiores

valores para força máxima de ruptura também apresentaram os valores mais elevados de trabalho de ruptura. No entanto, os ensaios que apresentaram os valores mínimos de trabalho não corresponderam aos ensaios de menor força de ruptura, porém todos reuniam condições semelhantes, ou seja, baixa temperatura ou alto teor de emulsificante.

Pela análise estatística dos dados (Tabelas 34-37 do Anexo I), verificou-se que a temperatura e o teor de emulsificante foram as variáveis que apresentaram os efeitos significativos ($p < 0,05$) mais importantes sobre a força máxima de ruptura, tanto para pastas de trigo comum como para pastas de trigo durum (Figura 9). A temperatura teve um efeito positivo sobre a resposta, enquanto que o teor de emulsificante apresentou um efeito negativo. No caso das pastas de trigo durum, a umidade também apresentou um efeito positivo sobre a força de ruptura.

O teor de emulsificante (linear e quadrático) também foi a variável que apresentou o maior efeito sobre o trabalho de ruptura das pastas de trigo comum e trigo durum, sendo um efeito negativo em ambos os casos (Figura 10). Para as pastas de trigo comum, a temperatura e a umidade também apresentaram efeitos (positivos) sobre a resposta. Nas pastas de trigo durum, a umidade foi a segunda variável de maior influência sobre a resposta, seguida pela temperatura (ambas apresentando um efeito positivo) e pela interação umidade x emulsificante (efeito negativo).

COLE et al. (1990) verificaram um efeito negativo da adição de emulsificantes sobre a força e energia de compressão em pastas pré-gelatinizadas.

LAI et al. (2001) atribuíram a diminuição da dureza das pastas de arroz à adição de emulsificante (GMS), sendo explicado pelo fato do emulsificante ter limitado a quantidade de grânulos de amido que se submeteram à posterior gelatinização ou ter diminuído a lixiviação de moléculas de amilose que formariam um filme de amido mais duro e resistente na superfície da pasta. Isso porque o emulsificante, especialmente GMS, complexa-se eficientemente com a amilose, restringindo o intumescimento do grânulo e, portanto, diminuindo a solubilidade da amilose.

Quanto ao teor protéico das matérias-primas, alguns autores citaram que um teor mais elevado de glúten levou a uma textura mais firme da pasta (OH et al., 1995; MISKELLY, 1984; BREEN et al. 1977). COLE et al. (1990) sugeriram que, embora o glúten influencie a firmeza de pastas convencionais, talvez as condições de processamento HTST, tais como altas temperaturas e alto cisalhamento, desnaturem o glúten e então limitem sua funcionalidade na pasta pré-gelatinizada.

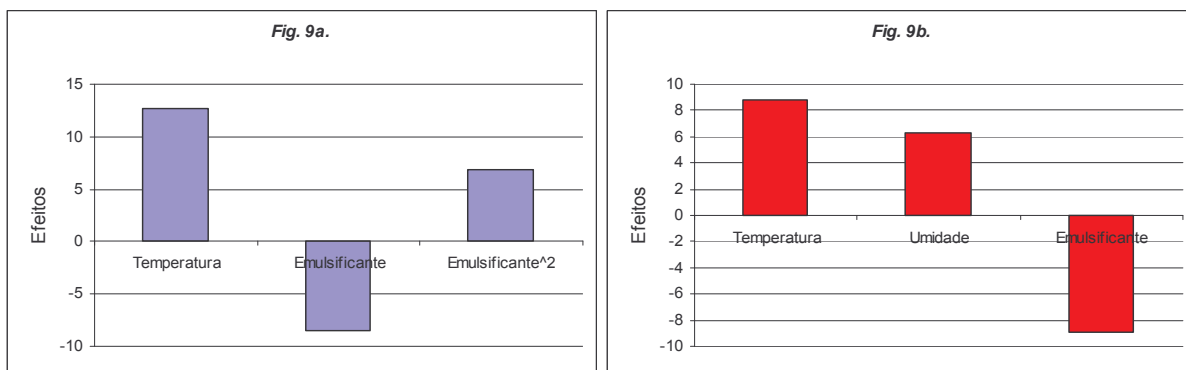


FIGURA 9. Efeitos das variáveis sobre a força máxima de ruptura das pastas instantâneas feitas a partir de trigo comum (Fig. 9a) e trigo durum (Fig. 9b).

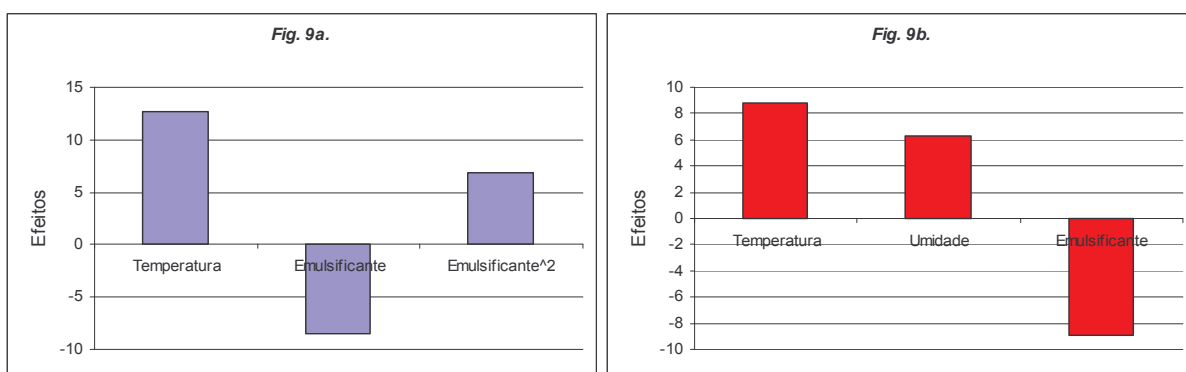


FIGURA 10. Efeitos das variáveis sobre o trabalho de ruptura das pastas instantâneas feitas a partir de trigo comum (Fig. 10a) e trigo durum (Fig. 10b).

Os modelos matemáticos que descrevem o comportamento das variáveis estudadas sobre a força máxima de ruptura e o trabalho de ruptura são mostrados nas Tabelas 16 e 17, respectivamente. As Figuras 11 e 12 mostram as superfícies de resposta obtidas para cada uma dessas respostas.

TABELA 16. Modelos matemáticos para força máxima de ruptura.

	Modelo Codificado	Nível de significância	R ²	F _{calculado}	F _{tabelado}
Farinha de trigo comum	$y = 15,7 + 6,31.x_1 - 4,24.x_3 + 3,27.x_3^2$	95% (p<0,05)	0,76	16,9	3,24
Semolina de trigo durum	$y = 16,8 + 4,40.x_1 + 3,17.x_2 - 4,44.x_3$	95% (p<0,05)	0,75	16,0	3,24

TABELA 17. Modelos matemáticos para trabalho de ruptura.

	Modelo Codificado	Nível de significância	R ²	F _{calculado}	F _{tabelado}
Farinha de trigo comum	$y = 56,9 + 40,4.x_1 + 22,25.x_2 - 78,5.x_3 + 67,3.x_3^2$	95% (p<0,05)	0,75	11,3	3,06
Semolina de trigo durum	$y = 64,01 + 24,8.x_1 + 39,18.x_2 - 54,40.x_3 + 24,30.x_3^2 - 23,35.x_2.x_3$	95% (p<0,05)	0,91	29,3	2,96

Pela análise da superfície de resposta obtida tem-se que, para o caso da farinha de trigo comum (Figura 11), a força máxima de ruptura apresenta seu menor valor quando o teor de emulsificante está entre 0,75 e 1,82% e a temperatura não passa de 100°C. À medida que se caminha para teores menores de emulsificante e temperaturas mais elevadas observa-se um aumento da força máxima de ruptura. Já para o caso da semolina de trigo durum, seus produtos apresentarão queda na força de ruptura quando se reduzem a temperatura e a umidade, e aumenta-se o teor de emulsificante (Figura 12).

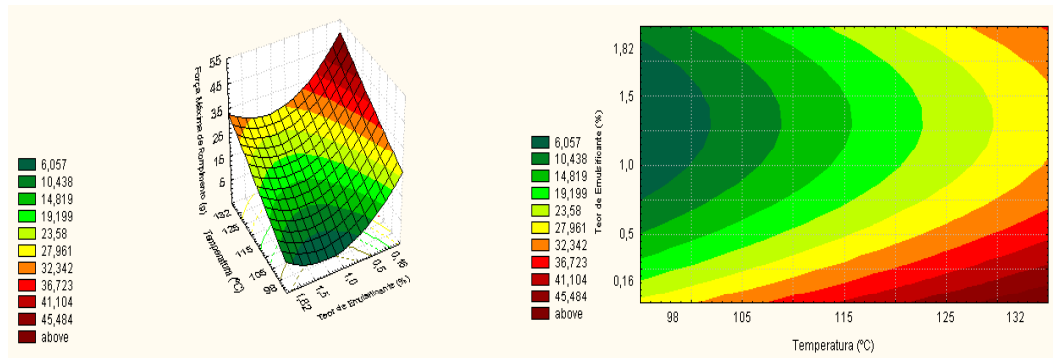


FIGURA 11. Superfície de resposta para força máxima de ruptura referente às pastas de farinha de trigo comum.

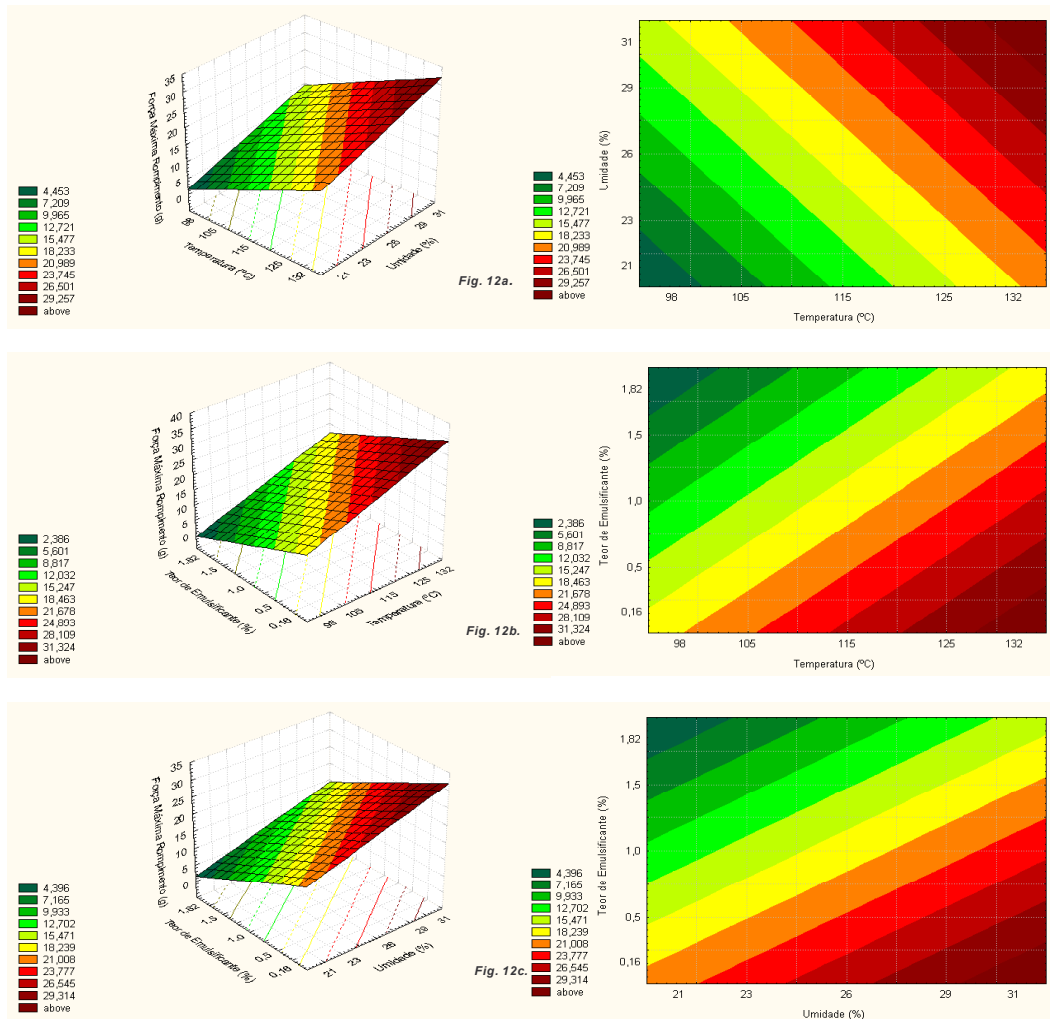


FIGURA 12. Superfícies de resposta para força máxima de ruptura referentes às pastas de semolina de trigo durum: temperatura x umidade (Fig. 12a), temperatura x teor de emulsificante (Fig. 12b) e umidade x teor de emulsificante (Fig. 12c).

Através das superfícies apresentadas nas Figuras 13a e 14a, é observado que, para ambos os casos, o trabalho de ruptura aumenta com o aumento da temperatura e da umidade. O efeito do teor de emulsificante, no entanto, é muito mais evidente quando se analisam as superfícies referentes aos produtos de trigo comum (Figuras 13b e 13c), pois numa faixa de teor de emulsificante entre 1,0 e 1,5%, o aumento da temperatura ou da umidade pouco ou nada contribui para o aumento do trabalho de ruptura. No caso dos produtos de trigo durum o comportamento é similar. Teores de emulsificante altos reduzem o trabalho de ruptura mesmo a temperaturas mais altas (Figura 14b) e umidades mais altas (Figura 14c).

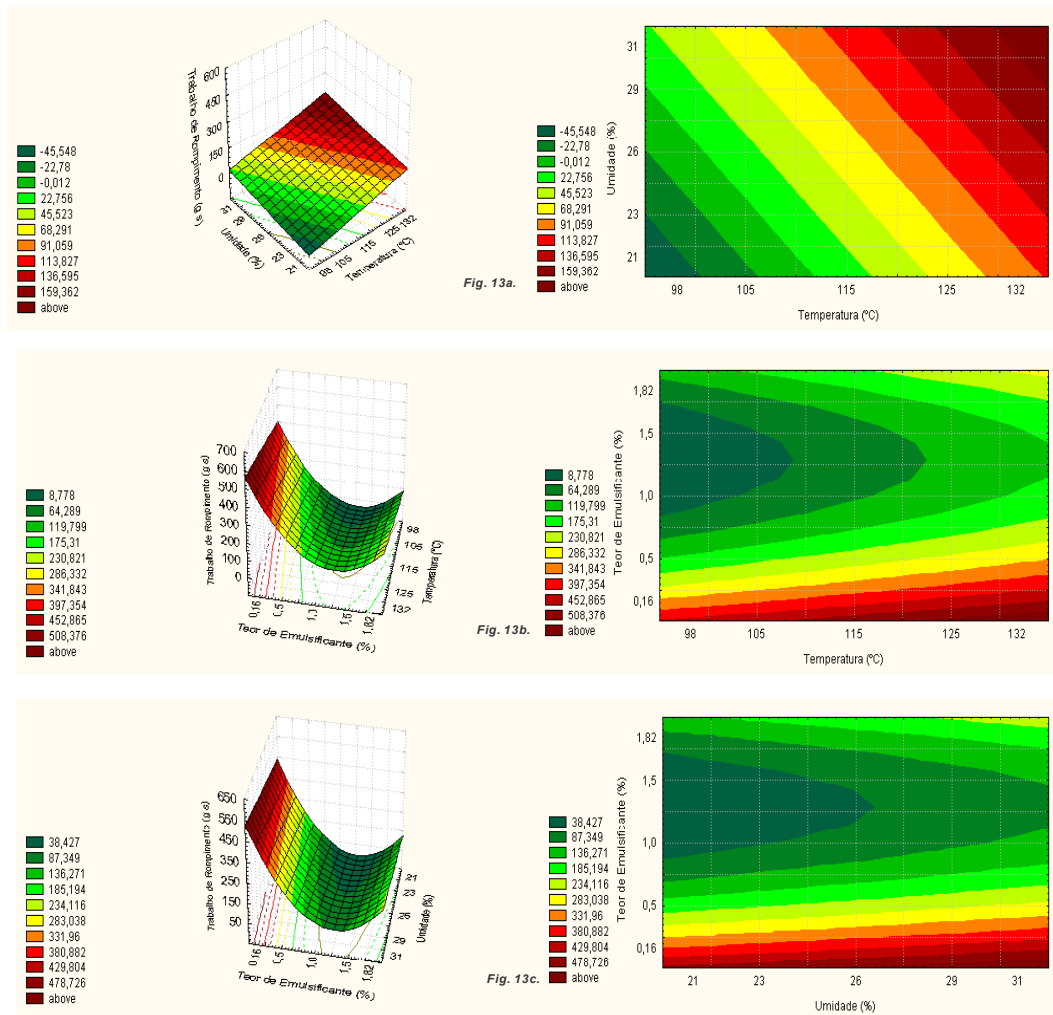


FIGURA 13. Superfícies de resposta para trabalho de ruptura referentes às pastas de semolina de trigo comum: temperatura x umidade (Fig. 13a), temperatura x teor de emulsificante (Fig. 13b) e umidade x teor de emulsificante (Fig. 13c).

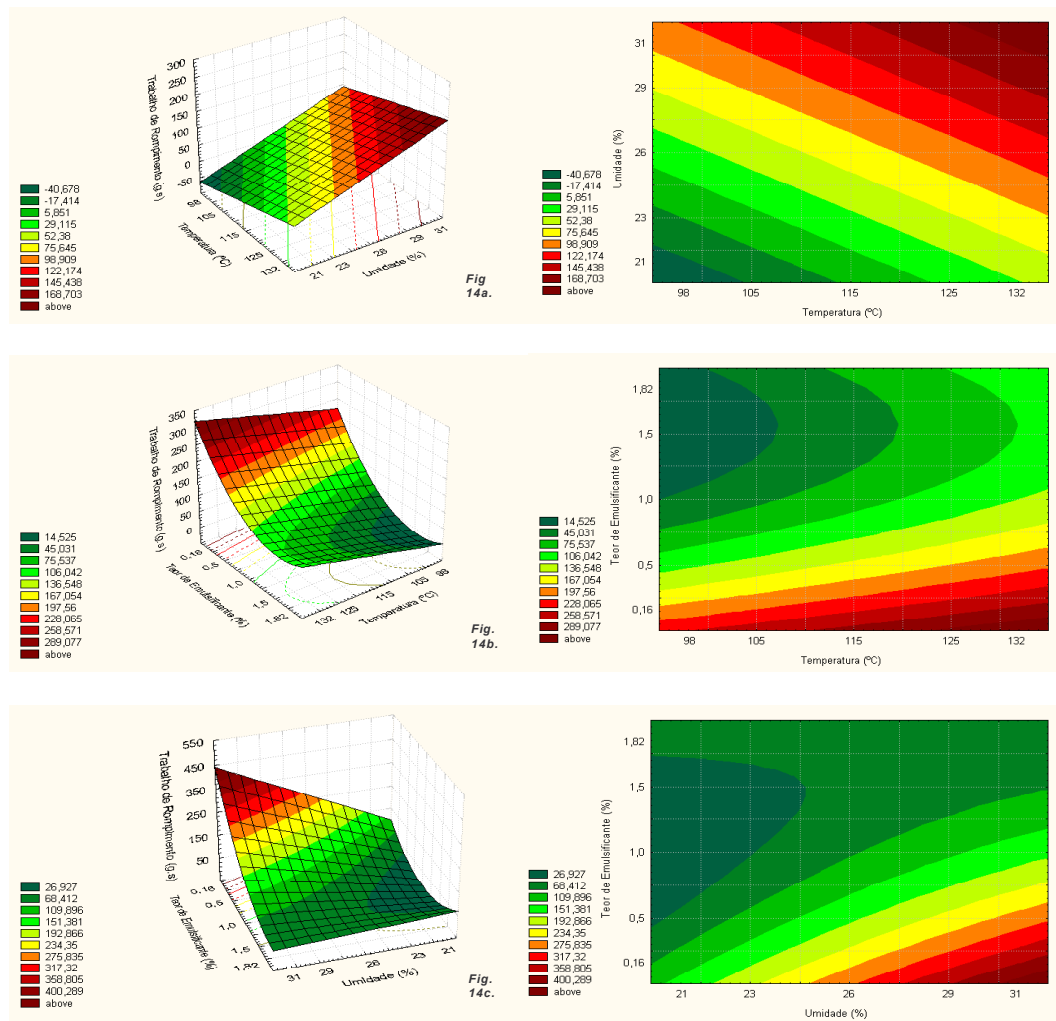


FIGURA 14. Superfícies de resposta para trabalho de ruptura referentes às pastas de semolina de trigo durum: temperatura x umidade (Fig. 14a), temperatura x teor de emulsificante (Fig. 14b) e umidade x teor de emulsificante (Fig. 14c).

5.2.5 Calorimetria diferencial de varredura (DSC)

Para a análise de calorimetria diferencial de varredura não foram considerados todos os 20 ensaios referentes a cada uma das matérias-primas. Foram escolhidos apenas 9 ensaios de cada tipo de pasta (trigo comum e trigo durum), que representassem regiões extremas dentro do planejamento experimental, incluindo pontos axiais e centrais. Assim, as amostras analisadas corresponderam aos ensaios 2, 4, 6, 8, 9, 10, 12, 13 e 20, além das próprias matérias-primas, farinha de trigo comum e semolina de trigo durum.

Através da análise de calorimetria diferencial de varredura são detectados fluxos de calor à medida que se aumenta a temperatura da amostra e são registrados os seguintes parâmetros que determinam as propriedades térmicas da amostra analisada: temperatura de início da transição térmica (T_o), temperatura de pico (T_p), temperatura final da transição térmica (T_f) e entalpia da transição térmica (ΔH).

A Tabela 18 mostra todos os parâmetros térmicos determinados referentes às matérias-primas (farinha de trigo comum e semolina de trigo durum) e às pastas instantâneas produzidas sob diferentes condições de processamento.

Para as matérias-primas, foi detectado somente um fluxo endotérmico de calor que se refere à gelatinização do amido do trigo, em concordância com SISWOYO & MORITA (2003).

A farinha de trigo comum apresentou uma temperatura de início de gelatinização de 54,3°C, temperatura de pico a 61,1°C e temperatura final em 66,8°C. A entalpia de gelatinização foi de 4,69 J/g. Esses resultados estão ligeiramente abaixo dos valores encontrados por SAHLSTRÖM et al. (1993), que verificaram temperaturas de gelatinização para diferentes variedades de *T. aestivum* entre 65,4 e 67,7°C, e entalpia de gelatinização entre 5,2 e 6,8 J/g.

Os valores de T_o , T_p , T_f e entalpia ΔH para trigo durum foram similares aos valores reportados por CUBADDA et al. (1990) e YUE et al. (1999) para pasta seca, amido de trigo durum e amido isolado de pasta seca à baixa, média e alta temperatura. CARVALHO & MITCHELL (2000) também reportaram valores similares para farinha de trigo mole (comum) e semolina.

Os parâmetros térmicos referentes à semolina de trigo durum se mostraram ligeiramente inferiores em relação àqueles encontrados para a farinha de trigo comum. NODA et al. (2001) encontraram uma correlação negativa entre o teor de amilose no amido de trigo e os valores de T_p e ΔH . Essa observação também está de acordo com os resultados observados aqui, já que a viscosidade máxima, também inversamente correlacionada com o teor de amilose, mostrou-se menor para semolina de trigo durum em relação à farinha de trigo comum.

TABELA 18. Propriedades térmicas de gelatinização do amido e transição dos complexos amilose-lipídio.

	Gelatinização				Complexo amilose-lipídio (I)				Complexo amilose-lipídio (II)			
	To (°C)	Tp (°C)	Tf (°C)	ΔH (J/g)	To (°C)	Tp (°C)	Tf (°C)	ΔH (J/g)	To (°C)	Tp (°C)	Tf (°C)	ΔH (J/g)
Trigo Comum												
Farinha	54,3	61,1	66,8	4,69	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ensaio 02 (125/23/0,5)*	50,0	55,5	57,9	0,007	122,6	125,8	129,3	0,27	177,1	179,5	182,3	0,15
Ensaio 04 (125/29/0,5)	ND	ND	ND	ND	117,9	125,6	127,7	0,68	164,2	177,6	187,8	0,78
Ensaio 06 (125/23/1,5)	50,2	53,8	56,2	0,21	114,6	121,6	128,8	0,56	181,3	186,3	189,3	0,27
Ensaio 08 (125/29/1,5)	48,6	50,7	53,1	0,16	115,8	124,0	133,4	3,18	166,4	181,2	184,8	10,51
Ensaio 09 (98/26/1,0)	51,8	55,2	58,3	0,16	92,5	101,2	114,9	1,66	ND	ND	ND	ND
Ensaio 10 (131/26/1,0)	47,6	51,8	53,8	0,004	113,9	123,0	130,6	1,22	175,8	179,7	184,5	0,37
Ensaio 12 (115/31/1,0)	ND	ND	ND	ND	113,6	119,9	122,8	1,39	ND	ND	ND	ND
Ensaio 13 (115/26/0,2)	48,3	52,5	54,6	0,005	113,4	119,9	124,5	0,52	170,0	179,7	188,9	8,16
Ensaio 20 (115/26/1,0)	52,6	54,4	57,7	0,12	117,4	123,5	127,4	0,33	182,6	187,1	192,8	1,91
Trigo Durum												
Semolina	53,6	60,0	66,7	4,05	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ensaio 02 (125/23/0,5)	50,8	59,6	61,8	0,009	118,4	119,5	121,1	1,21	176,8	183,6	188,9	1,11
Ensaio 04 (125/29/0,5)	44,9	51,5	53,5	0,10	110,8	113,5	116,7	0,11	178,1	184,1	189,3	0,62
Ensaio 06 (125/23/1,5)	50,1	54,2	56,6	0,41	150,5	153,7	157,8	1,49	185,1	188,7	190,4	0,21
Ensaio 08 (125/29/1,5)	49,4	54,6	58,0	0,29	115,2	124,4	132,3	0,77	175,1	183,1	195,0	1,78
Ensaio 09 (98/26/1,0)	50,1	51,6	56,3	0,15	97,7	105,8	115,3	1,38	ND	ND	ND	ND
Ensaio 10 (131/26/1,0)	ND	ND	ND	ND	115,4	119,8	126,1	2,74	160,3	167,0	174,8	0,26
Ensaio 12 (115/31/1,0)	50,2	53,5	55,4	0,11	115,1	120,9	130,0	0,77	ND	ND	ND	ND
Ensaio 13 (115/26/0,2)	53,6	54,5	55,2	0,005	126,9	132,6	138,8	0,28	174,5	177,4	181,1	0,20
Ensaio 20 (115/26/1,0)	50,4	53,9	56,6	0,005	114,0	118,5	123,5	0,40	ND	ND	ND	ND

*Os números entre parênteses representam as condições do processo de extrusão, na seguinte ordem: temperatura (em °C)/teor de umidade (em %)/teor de emulsificante (%).

ND = não detectado.

As entalpias de gelatinização estão relacionadas com o grau de cristalinidade dos grânulos de amido (ZOBEL et al., 1988). Como a cristalinidade é, principalmente, uma propriedade da molécula de amilopectina, é esperado que um amido com alto teor de amilopectina apresente uma entalpia de gelatinização mais alta.

Entre as pastas instantâneas, foram observados três fluxos endotérmicos de calor para a maioria das amostras analisadas.

O primeiro fluxo endotérmico, referente à gelatinização do amido, apresentou entalpias bastante baixas em todos os casos, sendo que as mudanças térmicas foram tão sensíveis em alguns casos, a ponto de não serem detectadas. Isso implica que durante o processo de extrusão termoplástica, o amido já havia sido, em sua maior parte, gelatinizado. No entanto, as maiores entalpias de gelatinização observadas entre as pastas se referem aos ensaios, de ambas as matérias-primas, cujas condições do processamento preveniram a gelatinização, ou seja, baixa temperatura (ensaio 9), baixo teor de umidade ou alto teor de emulsificante (ensaios 6 e 8).

Segundo BURT & RUSSELL (1983), quanto menor o teor de umidade, maior deve ser a temperatura para se atingir um grau de gelatinização completa.

A presença dos complexos amilose-emulsificante, por cobrir a superfície do amido, retarda o transporte de água para o interior do grânulo, diminuindo o intumescimento (RYU & WALKER, 1993) e, portanto, o grau de gelatinização.

Os outros dois fluxos endotérmicos de calor subseqüentes, observados entre as pastas instantâneas, referem-se à fusão dos complexos amilose-lipídio formados durante o processo de extrusão termoplástica. BILLIADERIS & GALLOWAY (1989) e TUFVESSON & ELIASSON (2000) verificaram a formação de dois tipos de complexos amilose-lipídio, os quais são identificados como complexos de forma (I), que apresentam menor temperatura de fusão (T_p) e menor cristalinidade, e complexos de forma (II), que apresentam temperatura de pico mais alta e maior cristalinidade.

A maioria dos ensaios apresentou os dois tipos de complexos amilose-lipídio (forma I e II), com exceção dos ensaios 9 e 12 (trigo comum e trigo durum), além do ensaio 20 (trigo durum), que apresentaram somente o fluxo endotérmico de calor referente ao complexo amilose-lipídio de menor temperatura de pico (T_p).

O ensaio 9 de ambos os casos (trigo comum e durum), o qual utilizou a menor temperatura no processo de extrusão (98°C), apresentou também o menor valor de temperatura de fusão (T_p) do complexo de forma (I). GALLOWAY et al. (1989) verificaram que complexos formados a 60°C (em solução com excesso de água) apresentaram temperatura de fusão na primeira endoterma cerca de 25°C menor que os complexos formados a 90°C (110 contra 135°C). Isso se deve a

uma estrutura mais compactada e um maior comprimento da cadeia apresentado pelos complexos formados a uma temperatura mais elevada. GALLOWAY et al. (1989) também constataram que o processo de extrusão induz a formação de complexos a altas temperaturas com propriedades semelhantes àqueles formados à 90°C.

DONAVAN et al. (1983) reportaram que o tratamento com calor não afeta a formação de complexos de amilose-lipídio. Embora, durante o processo de extrusão e alguns processos de secagem de cereais ocorra um aumento na formação desses complexos.

As condições durante o processamento de alimentos, tais como pressão, cisalhamento, tempo de aquecimento, taxa de calor e temperatura, têm grande influência na formação dos complexos amilose-lipídio (GALLOWAY et al., 1989).

Foi verificado que o ensaio 8 de ambos os casos (trigo comum e trigo durum) apresentou uma maior entalpia de fusão dos complexos de forma (II). O ensaio 8 reúne tanto temperatura quanto teores de umidade e emulsificante elevados. Segundo GALLOWAY et al. (1989), as entalpias dos complexos amilose-GMS são, em geral, proporcionais à quantidade de lipídios adicionados e à fusão desses complexos é fortemente influenciada pela quantidade de água presente no sistema. ELIASSON (1994) também constatou que a transição térmica do complexo amilose-lipídio depende do teor de umidade.

Temperatura e teor de umidade elevados, em geral, resultaram na maior formação de complexos amilose-lipídio de forma (II).

TUFVESSON & ELIASSON (2000) observaram, porém, que o mais alto valor de entalpia de fusão dos complexos de forma (II) (5,2 J/g) foi maior que o mais alto valor para forma (I) (3,9 J/g), mesmo a quantidade de material nas amostras sendo a mesma. Isso pode ser explicado pelo maior grau de cristalinidade da forma (II).

Também foi verificado que o valor de ΔH dos complexos de forma (II) é, em geral, maior entre as amostras feitas a partir de farinha de trigo comum quando comparadas com as amostras feitas de trigo durum.

5.2.6 Microscopia eletrônica de varredura

Pela análise das micrografias das pastas instantâneas secas de alguns ensaios, pôde-se verificar o efeito de cada variável do processo sobre a microestrutura do produto.

As pastas que sofreram um tratamento térmico mais brando (Ensaio 9), mostradas na Figura 15, apresentaram uma estrutura interna porosa, onde grânulos de amido estavam profundamente embutidos na matriz protéica, que consistia em uma rede de proteína coagulada e densa. Essa estrutura observada

é bastante similar à estrutura descrita por CUNIN et al. (1995), referente à pasta convencional depois de cozida e caracteriza uma gelatinização ainda não completa. Entre as duas matérias-primas utilizadas, a diferença observada foi que os grânulos de amido apareciam mais completamente cobertos pelo glúten no caso das pastas feitas a partir de semolina de trigo durum (Figura 15b), o que também foi observado por DEXTER et al. (1979) em “*noodles*”.

As pastas referentes ao ensaio 6, embora tenham sido processadas sob uma temperatura elevada, apresentaram em sua estrutura, tanto no caso daquelas feitas a partir de trigo comum como para aquelas feitas a partir de trigo durum, grânulos de amido intumescidos que não foram rompidos (Figura 16). Isso, possivelmente, se deve à interação do emulsificante com o amido, a qual proporcionou uma maior resistência do grânulo em relação à sua deformação. GHIASI et al. (1982) relataram comportamento similar em gelatinização de amido de trigo adicionado de monoglicerídeos, em que os grânulos mantiveram-se relativamente intactos depois de tratamento térmico a 95°C. A adição de emulsificantes restringe significativamente o intumescimento dos grânulos de amido, podendo retardar ou diminuir a sua gelatinização (LAI, 2001; MARTIN et al., 1991). Associado a isso, o teor de umidade da amostra (23%) pode ter contribuído para uma gelatinização incompleta do amido (BURT & RUSSELL, 1983).

SISWOYO & MORITA (2003) notaram diferenças estruturais entre os grânulos de amidos desengordurados e amidos com emulsificantes. A superfície

do amido de trigo desengordurado sem GPC (mono ou diacil glicerofosfatidilcolina) se mostrou mais lisa, diferente do amido com GPC, que aparecia relativamente irregular, com algumas partículas ocas apresentando uma estrutura perfurada na superfície. Isso se deve à interação amido-emulsificante na superfície do grânulo.

Foi verificada uma grande alteração na estrutura interna das pastas instantâneas quando as condições do processo incluíam aumento de temperatura, teor de umidade e teor de emulsificante, como no ensaio 20. No caso das pastas de farinha de trigo comum, a estrutura tornou-se menos porosa, a rede protéica tornou-se mais lisa e mais contínua e os grânulos de amido apareceram mais fortemente aderidos (Figura 17a). As pastas de semolina de trigo durum também apresentaram uma superfície mais lisa, porém muito mais compacta que as pastas de trigo comum, além da presença de algumas fendas ou aberturas, sugerindo certas descontinuidades (Figura 17b).

Com um aumento ainda maior da temperatura e do teor de umidade, e redução do teor de emulsificante, como no ensaio 4, verificou-se que a estrutura interna das pastas tornou-se uma massa única, onde não havia mais distinção entre as partes protéica e amilácea (Figura 18). Os grânulos de amido não foram mais encontrados em sua forma intacta e foi observado somente um conjunto de fibras compostas de proteínas do glúten e material proveniente dos grânulos rompidos (CUNIN et al., 1995).

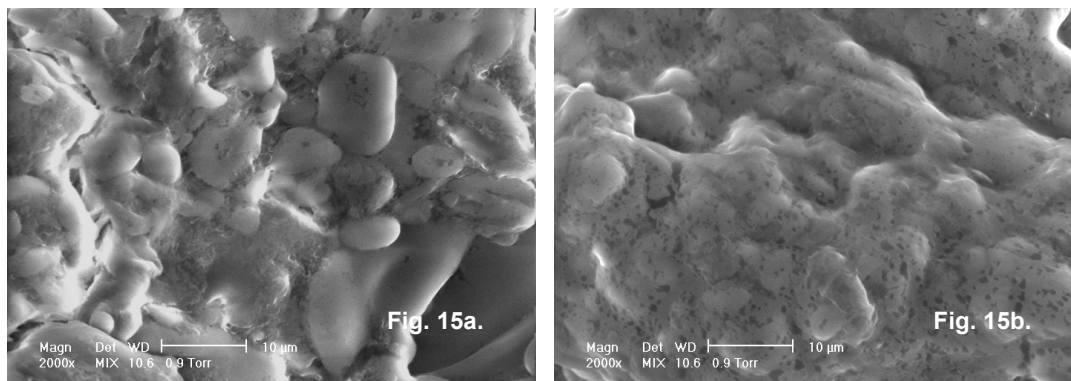


FIGURA 15. Micrografias referentes ao ensaio 9 das pastas instantâneas feitas a partir de farinha de trigo comum (*Fig. 15a*) e semolina de trigo durum (*Fig. 15b*).

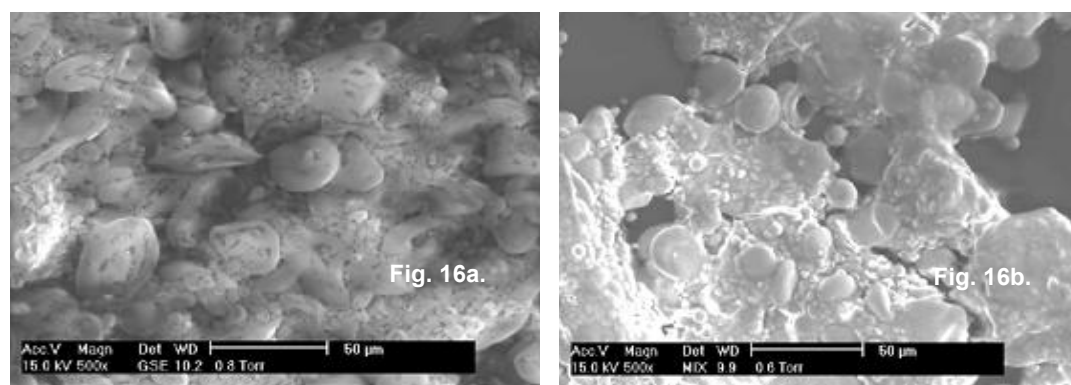


FIGURA 16. Micrografias referentes ao ensaio 6 das pastas instantâneas feitas a partir de farinha de trigo comum (*Fig. 16a*) e semolina de trigo durum (*Fig. 16b*).

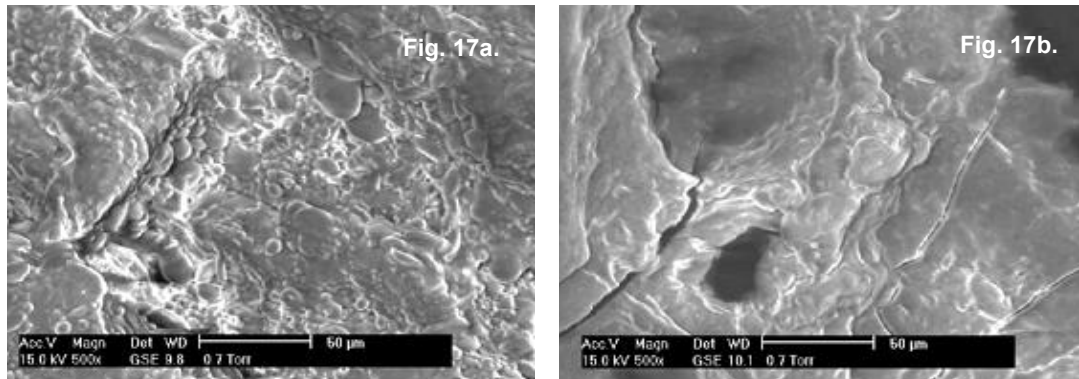


FIGURA 17. Micrografias referentes ao ensaio 20 das pastas instantâneas feitas a partir de farinha de trigo comum (*Fig. 17a*) e semolina de trigo durum (*Fig. 17b*).

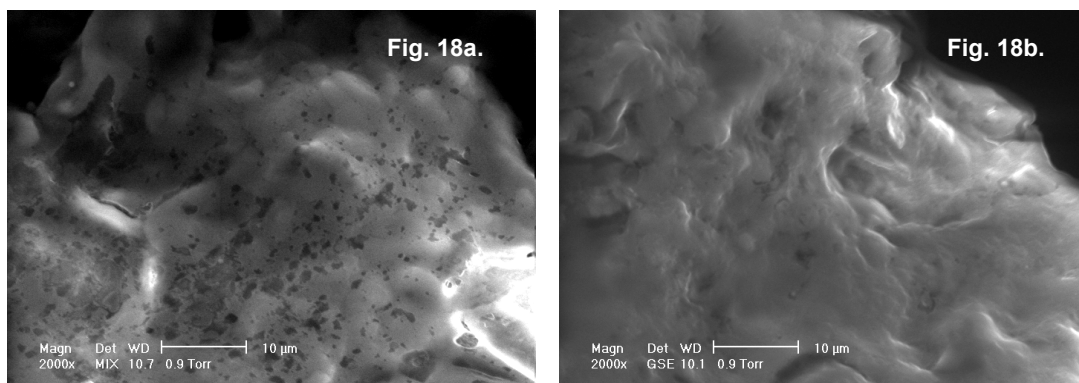


FIGURA 18. Micrografias referentes ao ensaio 4 das pastas instantâneas feitas a partir de farinha de trigo comum (*Fig. 18a*) e semolina de trigo durum (*Fig. 18b*).

5.2.7 Difração de raios-X

Da mesma forma que para as análises de DSC, somente os ensaios 2, 4, 6, 8, 9, 10, 12, 13 e 20 referentes a cada uma das matérias-primas foram submetidos à análise de difração de raios-X. Também foram analisadas a farinha de trigo comum e a semolina de trigo durum.

Os difratogramas de raios-X referentes às pastas instantâneas e suas respectivas matérias-primas são apresentados na Figura 19. A farinha de trigo comum e a semolina de trigo durum apresentaram picos localizados em 2θ igual a 15, 17, 18.1 e 23,3°, os quais são característicos para padrões tipo-A (LE BAIL et al., 1999).

As amostras extrudadas de trigo comum e trigo durum apresentaram dois picos localizados em 2θ igual a 12 e 19°, caracterizando a presença de cristais do tipo V, devido à formação de complexos amilose-lipídio. LE BAIL et al. (1999) também verificaram a presença de picos a 6,24 e 9,52°, e ainda um terceiro pico a 3,6° ($2\theta = 7,2^\circ$), o qual não foi constatado neste trabalho. O pico a 19°, caracterizando o padrão V, evidenciou a presença do complexo amilose-lipídio (MERCIER et al., 1980).

O padrão E não foi registrado em nenhuma das amostras extrudadas. Este padrão, geralmente, aparece em cereais extrudados processados em alta temperatura e com baixo teor de umidade (DONALD & CAMERON, 1993).

As diferenças em percentagem de áreas cristalinas são apresentadas na Tabela 19. A redução da porcentagem de área cristalina nas pastas instantâneas em relação às matérias-primas indica que houve gelatinização da maior parte do amido presente originalmente na farinha e na semolina utilizadas.

PRIESTLEY (1975), analisando o processamento de arroz, concluiu que existe uma correlação linear inversa significativa entre a quantidade de material cristalino e o grau de gelatinização da amostra. Além disso, foi notado que, abaixo de 20% de umidade, não houve mudança na cristalinidade da amostra. Foi concluído que a gelatinização do amido no arroz não ocorre abaixo de 20% de umidade, enquanto que ela é completa a partir de um teor de umidade de 45%.

VASANTHAN & HOOVER (1992) verificaram que não houve mudanças significativas na cristalinidade relativa entre o trigo nativo e o trigo desengordurado. A redução das regiões cristalinas das amostras controle (farinhas de trigo comum e trigo durum), quando processadas por extrusão, é atribuída às diferentes condições de temperatura e umidade a que são submetidas.

TABELA 19. Porcentagem de cristalinidade das amostras de pastas instantâneas e suas matérias-primas.

Amostra	% de Cristalinidade	
	Farinha de trigo comum	Semolina de trigo durum
Controle	10,93	8,33
Ensaio 02 (125/23/0,5)*	3,38	3,10
Ensaio 04 (125/29/0,5)	1,75	2,92
Ensaio 06 (125/23/1,5)	4,63	2,28
Ensaio 08 (125/29/1,5)	5,44	1,65
Ensaio 09 (98/26/1,0)	2,14	2,08
Ensaio 10 (131/26/1,0)	2,71	0,78
Ensaio 12 (115/31/1,0)	2,84	1,89
Ensaio 13 (115/26/0,2)	1,88	1,78
Ensaio 20 (115/26/1,0)	2,48	3,27

*Os números entre parênteses representam as condições do processo de extrusão, na seguinte ordem: temperatura (em °C)/teor de umidade (em %)/teor de emulsificante (%).

A percentagem de cristalinidade registrada nas pastas instantâneas poderia também indicar o grau de retrogradação que ocorreu durante e depois da secagem. LARSSON & ELIASSON (1997) reportaram que os ciclos de secagem em pasta aumentam a formação de regiões cristalinas mais estáveis.

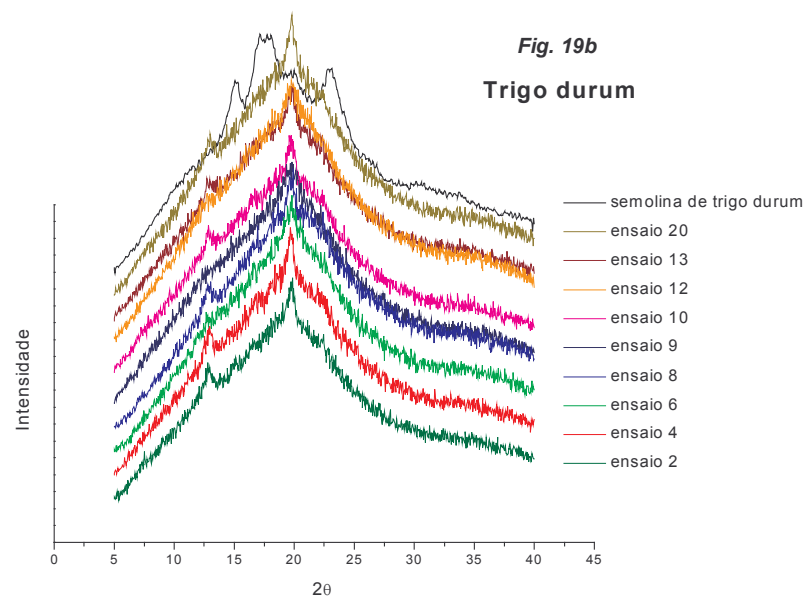
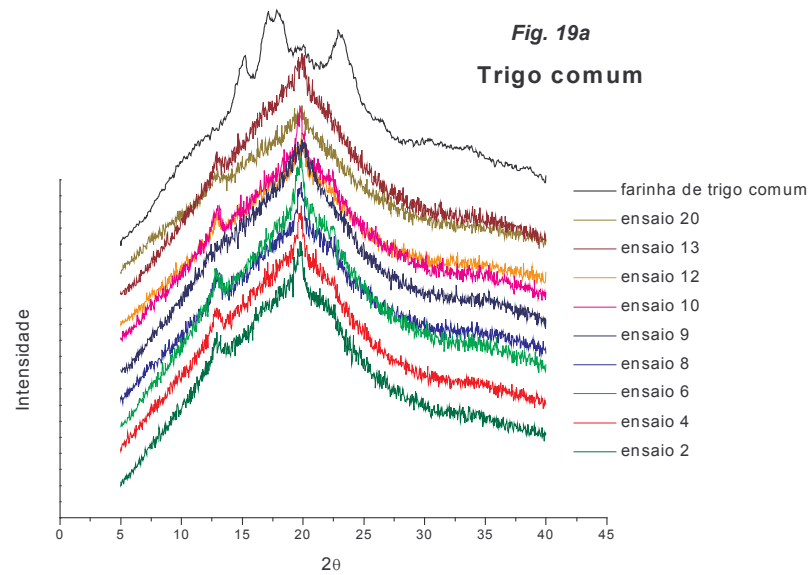


FIGURA 19. Difrátogramas das pastas instantâneas e suas respectivas matérias-primas, trigo comum (*Fig. 19a*) e trigo durum (*Fig. 19b*).

6 Conclusões

O processo de extrusão termoplástica permitiu a obtenção de pastas instantâneas de boa qualidade utilizando tanto a farinha de trigo comum como a semolina de trigo durum. No processo convencional de produção de pastas, a matéria-prima mais indicada é a semolina, principalmente devido ao alto teor protéico, incluindo proteínas de melhor qualidade que atendem ao perfil tecnológico ideal para a produção de massas alimentícias. Portanto, no processo de extrusão termoplástica, a influência da proteína na produção de pastas instantâneas é minimizada. Por outro lado, neste processo, o papel do amido gelatinizado é importante na confecção de massas alimentícias instantâneas de boa qualidade, como foi mostrado nas micrografias, ensaios em DSC e difração de raios-X, evidenciando um alto grau de gelatinização.

As pastas instantâneas de melhor qualidade obtidas apresentaram tempo ótimo de cozimento de 1,5-2,0 minutos, perda mínima de sólidos na água de cozimento (1,5%), força de ruptura de 15-20 g e trabalho de ruptura em torno de 50 g. Pela análise das superfícies de respostas obtidas, concluiu-se que as condições de processo que resultariam em um produto que reunisse as características acima, no caso da semolina de trigo durum, seriam as próximas das condições centrais, ou seja, temperatura de 115°C, umidade da mistura inicial de 26% e teor de emulsificante de 1,0%. Para se obter um produto similar utilizando a farinha de trigo comum, as condições de processo incluiriam

temperatura de 105-110°C, umidade 24-25% e maior teor de emulsificante (1,15-1,5%).

Notou-se que os valores para a cor dos produtos foram discrepantes (principalmente os valores para os parâmetros **a** e **b**), devido à presença maior de carotenóides no caso da semolina de trigo durum. Embora não foi possível a obtenção de modelo matemático que descrevesse a influência dos parâmetros de processo na cor, essa diferença poderia ser minimizada no produto que utiliza a farinha de trigo comum, por exemplo, pela adição de corantes (beta-caroteno ou urucum).

As análises de calorimetria diferencial de varredura e difração de raios-X mostraram que a maioria das combinações entre as condições de processo adotadas foi suficiente para promover um alto grau de gelatinização do amido. Pela análise de micrografias, no entanto, foi notado que certas condições de processo, como por exemplo temperatura e teor de umidade mais baixos e elevado teor de emulsificante, mantiveram intactos alguns grânulos de amido, devido às condições brandas do processo ou ao efeito da complexação amilose-emulsificante.

O trabalho mostrou, enfim, que é possível, através do ajuste de alguns parâmetros relacionados ao processo de extrusão termoplástica, obter produtos similares e de boa qualidade utilizando dois tipos distintos de matérias-primas (farinha de trigo comum e semolina de trigo durum). Inclusive, foram apresentados modelos matemáticos estatisticamente significativos ($p < 0,05$) que descreveram o

comportamento dos diferentes parâmetros envolvidos no processo e que, possivelmente, possibilitariam a sua otimização.

Com isso, na produção de pastas instantâneas, a substituição da semolina de trigo durum por uma outra matéria-prima de pior qualidade, no caso, a farinha de trigo comum, torna-se viável do ponto de vista tecnológico e, principalmente, justificada do ponto de vista econômico.

7 Referências bibliográficas

ABECASSIS, J.; ABBOU, R.; CHAURAND, M.; MOREL, M. H.; VERNOUX, P. Influence of extrusion conditions on extrusion speed, temperature and pressure in the extruder and on pasta quality. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 17, n. 3, p. 247-253, 1994.

ABECASSIS, J.; AUTRAN, J. C.; KOBREHEL, K.; Composition and quality of durum wheat mill streams. In: **Cereals in a Europe Context**. Ellis Horwood, Chichester: I. D. Morton Ed., 1987. p. 300.

ABIMA, Associação Brasileira das Indústrias de Massas Alimentícias. **Perfil do Mercado Nacional**. 2003. Disponível em: <http://www.abima.com.br>.

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. **Approved methods**. 9 ed. Saint Paul: AACC, 1995.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. 2003a. **Portaria nº 354 de 18 de julho de 1996**. Disponível em: <www.anvisa.gov.br/legis/portarias/354_96.htm>

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. 2003b. **Portaria nº 132, de 19 de fevereiro de 1999**. Disponível em: <www.anvisa.gov.br/legis/portarias/32_99.htm>

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. 2003c. **Resolução RDC nº93, de 31 de outubro de 2000**. Disponível em: <www.e-legis.bvs.br/leisref/public/showAct.php>

BAKHSHI, A. K.; BAINS, G. S. Study of the physico-chemical, rheological, baking and noodle quality of improved durum and bread wheat cultivars. **Journal of Food Science and Technology**, India, v. 24, n. 5 p. 217-221, 1987.

BANASIK, O. J. Pasta processing. **Cereal Foods World**, Saint Paul, v.26, n. 4, p. 166-169, 1981.

BARNES, P. J.; DAY, K. W.; SCHOFIELD, J. D. Comercial pasta manufacture: Changes in lipid binding during processing of durum wheat semolina. **Zeitschrift-fuer-Lebensmittel-Untersuchung-und-Forschung**, v. 172, n. 5, p. 373-376, 1981.

BERGMAN, C. J.; GUALBERTO, D. G.; WEBER, C. W. Development of a high-temperature-dried soft wheat pasta supplemented with cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). Cooking quality, color and sensory evaluation. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 71, n. 6, p. 523-527, 1994.

BILLIADERIS, C. G.; GALLOWAY, G. Crystallization behavior of amylose-V complexes: structure-property relationships. **Carbohydrate Research**, Amsterdam, v. 189, n. 1, p. 31-48, 1989.

BLANCO, A.; DE PACE, C.; PORCEDDU, E.; SCARASCIA MUGNOZZA, G. T. Genetics and breeding of durum wheat in Europe. In: FABRIANI, G.; LINTAS, C. **Durum wheat: chemistry and technology**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1988. p. 17-45.

BLIGH, E. C.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry and Phisiology**, Ottawa, v. 37, p. 911-917, 1959.

BLOKSMA, A. H. & BUSHUK, W. Rheology and chemistry of dough. In: POMERANZ, Y. **Wheat: chemistry and technology**. 3 ed. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1988. v. 2, p. 131-217.

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

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

BOYACIOGLU, M. H.; D'APPOLONIA, B. L. Characterization and utilization of durum wheat for breadmaking. I. Comparison of chemical, rheological, and baking properties between bread wheat flours and durum wheat flours. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 71, n. 1, p. 21-28, 1994.

BREEN, M. D.; BANASIK, O. J.; WALSH, D. E. Use of various protein sources in pasta. **Macaroni Journal**, Minneapolis, v. 58, n. 9, p. 26-34, 1977.

BURT, D. J.; RUSSELL, P. L. Gelatinization of low water content wheat starch – water mixtures. **Starch**, Weinheim, v. 35, n. 10, p. 354-360, 1983.

CANTARELLI, C. Technological development in the pasta industry. In: CANTARELLI, C.; MERCIER, C. eds. **Pasta and extrusion cooked foods: some technological and nutritional aspects**. London: Elsevier, 1986. chap. 5, p. 33.

CARVALHO, C. W. P.; MITCHELL, J. R. Effect of sugar on the extrusion of maize grits and wheat flour. **International Journal of Science and Technology**, London, v. 35, n. 6, p. 569-576, 2000.

CIACCO, C. F.; CHANG, Y. K. **Massas: tecnologia e qualidade**. São Paulo: Ícone/Campinas: Editora da Unicamp, 1986. 127p.

COLE, M. E.; JOHNSON, D. E.; COLE, R. W.; STONE, M. B. High temperature-short time pasta, processing: effect of formulation on extrudate properties. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 55, n. 6, p. 1651-1656, 1990.

CUBADDA, R. Evaluation of durum wheat, semolina, and pasta in Europe. In: FABRIANI, G.; LINTAS, C. **Durum wheat: chemistry and technology**. Saint Paul, American Association of Cereal Chemists, 1988. chap. 11, p. 217-228.

CUBADDA, R.; D'EGIDIO, M. G.; MARIANI, B. M.; NARDI, S.; NOVARO, P. Chemical and technological variables and their relationships: a predictive equation for pasta cooking quality. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 67, n. 3, p. 275-281, 1990.

CUBADDA, R.; CARCEA, M.; PASQUI, L. A. Suitability of the gluten index method for assessing gluten strength in durum wheat and semolina. **Cereal Foods World**, Saint Paul, v. 37, n. 12, p. 866-869, 1992.

CUNIN, C.; HANDSCHIN, P.; WALTHER, P.; ESCHER, F. Structural changes of starch during cooking of durum wheat pasta. **Lebensmittel-Wissenschaft-und-Technologie**, London, v. 28, n. 3, p. 323-328, 1995.

DALBON, G.; GRIVON, D.; PAGANI, M. A. Continuous manufacturing process. In: KRUGER, J. E.; MATSUO, R. B.; DICK, J. W. **Pasta and noodle technology**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemistry, 1996. p. 13-58.

DANISCO. Emulsifiers. 2003. Disponível em: <www.ingredients.danisco.com/products>

DENGATE, H. N. Swelling, pasting and gelling. In: POMERANZ, Y. **Advances in Cereal Science and Technology**, Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1984. chap. 2, p. 49-82.

DEXTER, J. E.; MATSUO, R. R. Relationship between durum wheat protein properties and pasta dough rheology and spaghetti cooking quality. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 28, n. 5, p. 899-902, 1980.

DEXTER, J. E.; MATSUO, R. R.; DRONZEK, B. L. A scanning electron microscopy study of Japanese noodles. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 56, n. 3, p. 202-208, 1979.

DEXTER, J. E.; MATSUO, R. R.; MORGAN, B. C. Spaghetti stickiness: some factors influencing stickiness and relationship to other cooking quality characteristics. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 48, n. 5, p. 1545-1551, 1559, 1983.

DEXTER, J. E.; MATSUO, R. R.; PRESTON, K. R.; KILBORN, R. H. Comparison of gluten strength, mixing properties, baking quality and spaghetti quality of some Canadian durum and common wheats. **Canadian Institute of Food Science and Technology**, Ottawa, v. 14, n. 2, p. 108-111, 1981.

DICK, J. W.; MATSUO, R. R. Durum wheat and pasta products. In: POMERANZ, Y. **Wheat chemistry and technology**. 3. ed. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1988. v. 2, p. 507-547.

DICK, J. W.; YOUNGS, V. L. Evaluation of durum wheat, semolina and pasta in the United States. In: FABRIANI, G.; LINTAS, C. **Durum wheat: chemistry and technology**. Saint Paul, American Association of Cereal Chemists, 1988. chap. 13, p. 237-248.

DONALD, A. M.; CAMERON R. E. A small-angle X-ray scattering study of the absorption of water into the starch granule. **Carbohydrate Research**, Amsterdam, v. 244, n. 2, p. 225-236, 1993.

DONOVAN, J. W.; LORENZ, K.; KULP, K. Differential scanning calorimetry of heat-moisture treated wheat and potato starches. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 60, n. 5, p. 381-387, 1983.

ELIASSON, A. C. Interactions between starch and lipids studied by DSC. **Thermochimica Acta**, v. 246, n. 2, p. 343-356, 1994.

FARDET, A.; BALDWIN, P. M.; BERTRAND, D.; BOUCHET, B.; GALLANT, D. J.; BARRY, J. L. Textural images analysis of pasta protein networks to determine influence of technological processes. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 75, n. 5, p. 699-704, 1998.

GALLIARD, T.; BOWLER, P. Morphology and composition of starch. In: GALLIARD, T. ed. **Starch: properties and potencial**. New York: John Wiley & Sons, 1987. v. 13, p. 55-78.

GALLOWAY, G. I.; BILIADERIS, C. G.; STANLEY, D. W. Properties and structure of amylose-glyceryl monostearate complexes formed in solution or on extrusion of wheat flour. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 54, n. 4, p. 950-957, 1989.

GHIASI, K.; HOSENEY, R.C.; VARRIANO-MARSTON, E. Gelatinization of wheat starch. I. Excess-water systems. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 59, n. 2, p. 81-85, 1982.

GIESE, J. Pasta: new twist on an old product. **Food Technology**, Chicago, v. 46, n.2, p. 118-126, 1992.

GORE, P. J.; MISKELLY, D. M.; MOSS, H. J. The quality of instant noodles. Proc. 38th **Australian Cereal Chemistry Conference**. Melbourne: Royal Australian Chemical Institute (RACI). 1988. p. 97-102.

GUARIENTI, E. M. **Qualidade industrial de trigo**. 2 ed. Passo Fundo: EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Trigo, 1996. 36 p.

HOOVER, R.; HADZIYEV, D. Characterization of potato starch and its monoglyceride complexes. **Starch**, Weinheim, v. 33, p. 290-300, 1981.

HUBNER, O. **Trigo**. Acompanhamento da Situação Agropecuária do Paraná. Curitiba: Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Paraná, 1997.

IRVINE, G. N.; BRADLEY, J. W.; MARTINI, G. C. A farinograph technique for macaroni doughs. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 38, n. 2, p. 153-164, 1961.

IRVINE, G. N. Durum wheat and pasta products. In: POMERANZ, Y., ed. **Wheat chemistry and technology**. 2 ed. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1971. chap. 3, p. 777-796.

KENT-JONES, D. W.; AMOS, A. J. **Modern cereal chemistry**. 6 ed. London: Food Trade Press Ltd., 1968. 730 p.

KIM, S. K. Instant Noodles Technology. **Cereal Foods World**, Saint Paul, v. 41, n. 4, p. 213-218, 1996.

KOVACS, E.; VAMOS-KARDOS, E.; KISS-LASZLAVIK, M.; PALLAGI, E. Effects of emulsifiers on the properties of pasta. **Acta Alimentaria**, v. 21, n. 3-4, p. 205-217, 1992.

LAI, H. M. Effects of rice properties and emulsifiers on the quality of rice pasta. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 82, n. 2, p. 203-216, 2001.

LARSSON, H.; ELIASSON, A. C. Influence of the starch granule surface on the rheological behaviour of wheat flour dough. **Journal of Texture Studies**, Trumbull, Connecticut, v. 28, n. 5, p. 487-501, 1997.

LE BAIL, P.; BIZOT, H.; OLLIVON, M.; KELLER, G.; BOURGOUX, C.; BULEON, A. Monitoring the crystallization of amylose-lipid complexes during maize starch melting by synchrotron X-ray diffraction. **Biopolymers**, New York, v. 50, n. 1, p. 99-110, 1999.

LEITÃO, R. F. F.; GONÇALVES, J. R.; EIROA, M. N. U.; GARCIA, E. E. C. **Tecnologia de massas alimentícias: manual técnico nº 5**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1990. 71p.

LEONHARDT, G. F. **Massas alimentícias, tecnologia e administração: tecnologia do processamento**. Módulo 1. Mauá: Instituto Mauá de Tecnologia, 1994.

LI, M.; LEE, T. C. Relationship of the extrusion temperature and the solubility and disulfide bond distribution of wheat proteins. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, Washington, v. 45, p. 2711-2717, 1997.

LINKO, P.; COLONNA, P.; MERCIER, C. High-temperature, short-time extrusion cooking. In: POMERANZ, Y. ed. **Advances in cereal science and technology**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1981. p. 145-235.

LUNN, G. D.; MAJOR, B. J.; KETTLEWELL, P. S.; SCOTT, R. K. Mechanisms leading to excess alpha-amylase activity in wheat (*Triticum aestivum*, L) grain in the U.K. **Journal of Cereal Science**, London, v. 33, p. 313-329, 2001.

MARTIN, M. L.; ZELEZNAK, K. J.; HOSENEY, R. C. A mechanism of bread firming. I. Role of starch swelling. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 68, n. 5, p. 498-503, 1991.

MATSUO, R. R. Evaluation of durum wheat, semolina, and pasta in Canada. In: FABRIANI, G.; LINTAS, C. **Durum wheat: chemistry and technology**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1988. chap. 14, p. 249-261.

MATSUO, R. R. Processo comercial de produção de massas alimentícias. Apresentado ao programa de moagem e processamento de trigo durum para brasileiros. São Paulo, 17 a 27 de 08/1992.

MATSUO, R. R.; BRADLEY, J. W.; IRVINE, G. N. Effect of protein content on the cooking quality of spaghetti. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 49, n. 6, p. 707-711, 1972.

MATSUO, R. R.; DEXTER, J. E. Comparison of experimentally milled durum wheat of semolina produced by some Canadian commercial mills. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 57, n. 2, p. 117-122, 1980.

MATSUO, R. R.; DEXTER, J. E.; BOUDREAU, A.; DAUN, J. K. The role of lipids in determining spaghetti cooking quality. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 63, n. 6, p. 484-489, 1986.

MATSUO, R. R.; DEXTER, J. E.; MACGREGOR, A. W. Effect of sprout damage on durum wheat and spaghetti quality. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 59, n. 6, p. 468-472, 1982.

MEDVEDEV, G. M.; MALANDEEVA, N. I.; KOVALSKAJA, L. P. Variazioni delle proprietà dei componenti dell'impasto per pasta alimentare durante la sua termolavorazione. **Tecnica Molitoria**, Pinerolo, v. 38, n. 10-11, p. 796-874, 1987.

MENGER, A. Influsso della materia prima e del procedimento sulla qualita della pasta alimentare. **Tecnica Molitoria**, Pinerolo, v. 28, n. 2, p. 83-90, 1977.

MERCIER, C.; CHERBONNIERE, R.; GREBAUT, J.; GUERIVIERI, J. F. Formation of amilose-lipid complexes by twin-screw extrusion-cooking of cereal products. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 57, n. 1, p. 4-9, 1980.

MINOLTA. Precise color comunicacion: color control from feeling to instrumentation. MINOLTA Co., Ltd., 1994, 49p.

MISKELLY, D. M. Flour components affecting paste and noodle color. **Journal of Science Food and Agriculture**, Oxford, v. 35, n. 4, p. 463-471, 1984.

MORRISON, W. R. Starch lipids: a reappraisal. **Starch**, Weinheim, v. 33, n. 12, p. 408-410, 1981.

NEWPORT SCIENTIFIC. **Operation manual for series 4**: Instructions Manual. Warriewood, Australia, 1998, 123p. (Catálogo)

NODA, T.; TOHNOOKA, T.; TAVA, S.; SUDA, I. Relationship between physicochemical properties of starches and white salted noodle quality in Japanese wheat flours. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 78, n. 4, p. 395-399, 2001.

OH, N. H.; SEIB, P. A.; WARD, A. B.; DEYOE, C. W. Noodles IV. Influence of flour protein, extraction rate, particle size and starch damage on the quality characteristics of dry noodles. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 62, n. 6, p. 441-446, 1985.

OLIVER, J. R.; BLAKENEY, A. B.; ALLEN, H. M. Measurement of flour color in color space parameters. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 69, n. 5, p. 546-551, 1992.

PAGANI, M. A. Pasta products from nonconventional raw materials. In: CANTARELLI, C.; MERCIER, C. eds. **Pasta and extrusion cooked foods: some technological and nutritional aspects**. London: Elsevier, 1986. chap. 6, p. 52.

PAGANI, M. A.; RESMINI, P.; DALBON, G. Influence of the extrusion process on characteristics and structure of pasta. **Food Microstructure**, v. 8, n. 2, p. 173-182, 1989.

PANOZZO, J. F.; MACCORMICH, K. M. The rapid viscoanalyser as a method to testing for noodles quality in a wheat breeding programme. **Journal of Cereal Science**, London, v. 177, n. 1, p. 25-32, 1993.

PAPOTTO, G.; ZORN, F. Recent developments of pasta products as convenience foods. In: MERCIER, C.; CANTARELLI, C. eds. **Pasta and extrusion cooked foods**. London: Elsevier, 1986. Chap. 7.

PETERSEN, D. G.; FULCHER, R. G. Variation in Minnesota HRS wheats: starch granule size distribution. **Food Research International**, London, v. 34, n. 4, p. 357-363, 2001.

POMERANZ, Y. Composition and functionality of wheat flour components. In: POMERANZ, Y. **Wheat: Chemistry and Technology**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemistry, 1988. v.2, p. 219-370.

PRIESTLEY, R. J. Moisture requirements for gelatinization of rice. **Starch**, Weinheim, v. 27, n. 12, p. 416-419, 1975.

QUAGLIA, G. B. Other durum wheat products. In: FABRIANI, G.; LINTAS, C. **Durum wheat: chemistry and technology**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemistry, 1988. chap. 5, p. 263.

RAO, V. K.; MULVANEY, S. J.; DEXTER, J. E. Rheological characterisation of long and short mixing flours based on stress–relaxation. **Journal of Cereal Science**, London, v. 31, p. 159-171, 2000.

RAO, V. K.; MULVANEY, S. J.; DEXTER, J. E.; EDWARDS N. M.; PERESSINI, D. Stress–relaxation properties of mixograph semolina–water doughs from durum wheat cultivars of variable strength in relation to mixing characteristics, bread-and pasta-making performance. **Journal of Cereal Science**, London, v. 34, p. 215–232, 2001.

RAPHAELIDES, S.; KARKALAS, J. Thermal dissociation of amylose-fatty acid complexes. **Carbohydrate Research**, Amsterdam, v. 172, p. 65-82, 1988.

RENAUDIN, C. La fabrication industrielle des ptes alimentaires. 2 ed. Paris: Editions Dunod, 1951.

RHO, K. L.; CHUNG, O. K.; SEIB, P. A. Noodles VIII. The effect of wheat flour lipids, gluten and several starches and surfactants on the quality of oriental dry noodles. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 66, n. 4, p. 276-282, 1989.

RYU, G. H.; WALKER, C. E. Emulsifier effects on pasting properties of wheat flour extrudates with/without sucrose and shortening. **Starch**, Weinheim, v. 45, n. 2, p. 65-70, 1993.

SAHLSTRÖM, S.; MOSLETH, E.; BÆVRE, A. B.; GLORIA, H.; FAYARD, G. Influence of starch, gluten proteins and extraction rate on bread and pasta quality. **Carbohydrate Polymers**, London, v. 21, p. 169-175, 1993.

SASAKI, T.; YASUI, T.; MATSUKI, J. Effect of amylose content on gelatinization, retrogradation and pasting properties of starches from waxy and nonwaxy wheat and their F1 seeds. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 77, n. 1, p. 58-63, 2000.

SISWOYO, T. A.; MORITA, N. Physicochemical studies of defatted wheat starch complexes with mono and diacyl-*sn*-glycerophosphatidylcholine of varying fatty acid chain lengths. **Food Research International**, Oxford, v. 36, p. 729-737, 2003.

TIPPLES, K. H.; MEREDITH, J. O.; HOLAS, J. Factors affecting farinograph and baking absorption. II. Relative influence of flour components. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 55, n. 5, p. 652-660, 1978.

TSAO, T.; BEETNER, G.; LORENZ, K.; FREY, A. Extrusion processing of instant rice spaghetti. **Lebensmittel-Wissenschaft-und-Technologie**, London, v. 9, n. 2, p. 96-98, 1976.

TUFVESSON, F.; ELIASSON, A. C.; Formation and crystallization of amylose-monomlyceride complex in a starch matrix. **Carbohydrate Polymers**, London, v. 43, p. 359-365, 2000.

UMMADI, P.; CHENOWETH, W. L.; NG, P. K. W. Changes in solubility and distribution of semolina proteins due to extrusion processing. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 72, n. 6, p. 564-567, 1995.

VASANTHAN, T.; HOOVER, R. Effect of defatting on starch structure and physicochemical properties. **Food Chemistry**, London, v. 45, p. 337-347, 1992.

WALSH, D. E.; EBELING, K. A.; DICK, J. W. A linear programming approach to spaghetti processing. **Cereal Science Today**, v. 16, n. 11, p. 385-389, 1971.

YUE, P.; RAYAS-DUARTE, P.; ELIAS, E. Effect of drying temperature on physicochemical properties of starch isolated from pasta. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 76, n. 4, p. 541-547, 1999.

ZENG, M.; MORRIS, C. F.; BATEY, I. L.; WRIGLEY, C. W. Sources of variation for starch gelatinization, pasting and gelation properties in wheat. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 74, n. 1, p. 63-71, 1997.

ZOBEL, H. F.; YOUNG, S. N.; ROCCA, L. A. Starch gelatinization: an X-ray diffraction study. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 65, n. 6, p. 443-446, 1988.

ZUZZI, A. Aspectos tecnológicos da moagem do trigo durum. In: **I Simpósio Brasileiro de Extrusão de Alimentos**. Campinas: UNICAMP, 1995.

ANEXO I

TABELA 20. Análise de efeitos para parâmetro L (farinha de trigo comum)

	Efeito	Erro Puro	t(5)	p	Cnf.Limt -95, %	Cnf.Limt +95, %
Média	61,67401	1,007778	61,19802	2,2E-08	59,08344	64,26459
Temperatura	-4,27675	1,337579	-3,19738	0,024066	-7,7151	-0,83839
Temperatura ²	-1,1309	1,30276	-0,86808	0,425044	-4,47975	2,217946
Umidade	-8,13719	1,337579	-6,08352	0,001735	-11,5755	-4,69884
Umidade ²	0,631453	1,30276	0,484704	0,648374	-2,7174	3,980303
Emulsificante	6,302116	1,337579	4,711586	0,005282	2,863761	9,740471
Emulsificante ²	-0,03385	1,30276	-0,02599	0,980273	-3,38271	3,314996
Temp x Umid	1,5	1,747289	0,858473	0,429854	-2,99155	5,99155
Temp x Emuls	2,74	1,747289	1,568143	0,177635	-1,75155	7,23155
Umid x Emuls	-1,09	1,747289	-0,62382	0,560096	-5,58155	3,40155

TABELA 21. Análise de efeitos para parâmetro L (semolina de trigo durum)

	Efeito	Erro Puro	t(5)	p	Cnf.Limt -95, %	Cnf.Limt +95, %
Média	66,27593	1,593419	41,59354	1,52E-07	62,17991	70,37194
Temperatura	-1,08384	2,114874	-0,51248	0,630141	-6,52029	4,352619
Temperatura ²	-2,84954	2,059821	-1,38339	0,225125	-8,14448	2,445394
Umidade	-3,77402	2,114874	-1,78451	0,134411	-9,21048	1,662433
Umidade ²	0,749486	2,059821	0,36386	0,730842	-4,54545	6,044425
Emulsificante	2,353065	2,114874	1,112627	0,316481	-3,08339	7,789521
Emulsificante ²	-0,34049	2,059821	-0,1653	0,875184	-5,63542	4,954453
Temp x Umid	2,0875	2,762676	0,755608	0,483939	-5,01419	9,189185
Temp x Emuls	1,8175	2,762676	0,657877	0,539695	-5,28419	8,919185
Umid x Emuls	-2,3625	2,762676	-0,85515	0,431527	-9,46419	4,739185

TABELA 22. Análise de efeitos para parâmetro a (farinha de trigo comum)

	Efeito	Erro Puro	t(5)	p	Cnf.Limt -95, %	Cnf.Limt +95, %
Média	2,994178	0,128547	23,29249	2,71E-06	2,663738	3,324619
Temperatura	0,407254	0,170615	2,386984	0,062621	-0,03132	0,845833
Temperatura ²	-0,3336	0,166173	-2,00752	0,100965	-0,76076	0,093566
Umidade	0,118201	0,170615	0,692794	0,519293	-0,32038	0,556779
Umidade ²	0,045063	0,166173	0,271179	0,797093	-0,3821	0,472225
Emulsificante	-0,15881	0,170615	-0,93082	0,394671	-0,59739	0,279767
Emulsificante ²	0,05214	0,166173	0,313772	0,766363	-0,37502	0,479302
Temp x Umid	0,1675	0,222875	0,751542	0,486175	-0,40542	0,740419
Temp x Emuls	0,6775	0,222875	3,039818	0,028757	0,104581	1,250419
Umid x Emuls	0,1025	0,222875	0,459899	0,664895	-0,47042	0,675419

TABELA 23. Análise de efeitos para parâmetro a (semolina de trigo durum)

	Efeito	Erro Puro	t(5)	p	Cnf.Limt -95, %	Cnf.Limt +95, %
Média	1,797157	0,202007	8,896515	0,000299	1,277882	2,316433
Temperatura	0,5148	0,268115	1,920073	0,112918	-0,17441	1,204011
Temperatura ²	-0,1606	0,261135	-0,61502	0,565454	-0,83187	0,510668
Umidade	0,469174	0,268115	1,7499	0,14054	-0,22004	1,158385
Umidade ²	-0,19245	0,261135	-0,73698	0,49424	-0,86372	0,478818
Emulsificante	-0,23975	0,268115	-0,89419	0,412189	-0,92896	0,449465
Emulsificante ²	0,225135	0,261135	0,862137	0,428015	-0,44614	0,896404
Temp x Umid	0,3	0,35024	0,856555	0,430819	-0,60032	1,200322
Temp x Emuls	-0,095	0,35024	-0,27124	0,797047	-0,99532	0,805322
Umid x Emuls	0,05	0,35024	0,142759	0,892055	-0,85032	0,950322

TABELA 24. Análise de efeitos para parâmetro b (farinha de trigo comum)

	Efeito	Erro Puro	t(5)	p	Cnf.Limt -95, %	Cnf.Limt +95, %
Média	16,90652	0,473923	35,67354	3,26E-07	15,68826	18,12478
Temperatura	0,653054	0,629017	1,038213	0,346748	-0,96389	2,269995
Temperatura ²	-1,52167	0,612643	-2,48378	0,055583	-3,09652	0,053181
Umidade	-2,81882	0,629017	-4,48131	0,006511	-4,43576	-1,20188
Umidade ²	-0,89529	0,612643	-1,46135	0,203762	-2,47014	0,679561
Emulsificante	0,970054	0,629017	1,542174	0,183672	-0,64689	2,586995
Emulsificante ²	-0,30076	0,612643	-0,49092	0,64427	-1,87561	1,274091
Temp x Umid	-0,225	0,82169	-0,27383	0,79517	-2,33722	1,887222
Temp x Emuls	2,605	0,82169	3,170294	0,024807	0,492778	4,717222
Umid x Emuls	0,655	0,82169	0,797137	0,46153	-1,45722	2,767222

TABELA 25. Análise de efeitos para parâmetro b (semolina de trigo durum)

	Efeito	Erro Puro	t(5)	p	Cnf.Limt -95, %	Cnf.Limt +95, %
Média	19,62559	0,97139	20,20361	5,49E-06	17,12855	22,12262
Temperatura	2,419861	1,289282	1,876905	0,11935	-0,89435	5,734066
Temperatura ²	-0,78026	1,255721	-0,62137	0,561588	-4,00819	2,447672
Umidade	0,413529	1,289282	0,320744	0,761377	-2,90068	3,727735
Umidade ²	-0,27774	1,255721	-0,22118	0,8337	-3,50567	2,950191
Emulsificante	-1,54471	1,289282	-1,19811	0,284562	-4,85891	1,7695
Emulsificante ²	0,536198	1,255721	0,427004	0,687139	-2,69173	3,764131
Temp x Umid	0,7525	1,6842	0,4468	0,673708	-3,57687	5,081873
Temp x Emuls	0,2725	1,6842	0,161798	0,8778	-4,05687	4,601873
Umid x Emuls	0,7375	1,6842	0,437893	0,679734	-3,59187	5,066873

TABELA 26. Análise de efeitos para tempo ótimo de cozimento (farinha de trigo comum)

	Efeito	Erro Puro	t(5)	p	Cnf.Limt -95, %	Cnf.Limt +95, %
Média	1,914361	0,083249	22,99558	2,89E-06	1,700362	2,128359
Temperatura	0,575906	0,110493	5,212165	0,003432	0,291876	0,859937
Temperatura ²	-0,26517	0,107617	-2,46403	0,056946	-0,54181	0,011467
Umidade	0,502655	0,110493	4,549208	0,006117	0,218624	0,786685
Umidade ²	0,442604	0,107617	4,112786	0,009239	0,165967	0,719241
Emulsificante	-1,39651	0,110493	-12,6389	5,51E-05	-1,68054	-1,11248
Emulsificante ²	0,000245	0,107617	0,002276	0,998272	-0,27639	0,276882
Temp x Umid	-0,0625	0,144338	-0,43301	0,683048	-0,43353	0,308532
Temp x Emuls	0,0625	0,144338	0,433013	0,683048	-0,30853	0,433532
Umid x Emuls	-0,0625	0,144338	-0,43301	0,683048	-0,43353	0,308532

TABELA 27. Análise de efeitos para tempo ótimo de cozimento (semolina de trigo durum)

	Efeito	Erro Puro	t(5)	p	Cnf.Limt -95, %	Cnf.Limt +95, %
Média	1,534085	0,208123	7,371063	0,000722	0,999089	2,069082
Temperatura	0,893893	0,276232	3,236024	0,023051	0,183816	1,60397
Temperatura ²	0,245206	0,269041	0,911408	0,40388	-0,44639	0,936799
Umidade	0,600812	0,276232	2,175028	0,081623	-0,10926	1,310889
Umidade ²	0,245206	0,269041	0,911408	0,40388	-0,44639	0,936799
Emulsificante	-1,13215	0,276232	-4,09854	0,009368	-1,84222	-0,42207
Emulsificante ²	0,361989	0,269041	1,345478	0,236264	-0,3296	1,053582
Temp x Umid	0,395	0,360844	1,094656	0,323574	-0,53258	1,322579
Temp x Emuls	0,02	0,360844	0,055426	0,957946	-0,90758	0,947579
Umid x Emuls	0,48	0,360844	1,330215	0,240891	-0,44758	1,407579

TABELA 28. Análise de efeitos para perda de sólidos (farinha de trigo comum)

	Efeito	Erro Puro	t(5)	p	Cnf.Limt -95, %	Cnf.Limt +95, %
Média	1,474666	0,052699	27,98296	1,09E-06	1,339199	1,610132
Temperatura	-0,04401	0,069945	-0,62927	0,5568	-0,22381	0,135784
Temperatura ²	0,028932	0,068124	0,424702	0,68871	-0,14619	0,20405
Umidade	0,162152	0,069945	2,318289	0,068199	-0,01765	0,34195
Umidade ²	0,276653	0,068124	4,061031	0,009719	0,101535	0,451771
Emulsificante	-0,75608	0,069945	-10,8097	0,000118	-0,93588	-0,57628
Emulsificante ²	0,28727	0,068124	4,216874	0,008353	0,112152	0,462388
Temp x Umid	0,0875	0,091369	0,957653	0,382219	-0,14737	0,322372
Temp x Emuls	-0,0225	0,091369	-0,24625	0,815276	-0,25737	0,212372
Umid x Emuls	-0,1875	0,091369	-2,05211	0,095386	-0,42237	0,047372

TABELA 29. Análise de efeitos para perda de sólidos (semolina de trigo durum)

	Efeito	Erro Puro	t(5)	p	Cnf.Limt -95,%	Cnf.Limt +95,%
Média	1,512789	0,044001	34,38087	3,92E-07	1,399681	1,625897
Temperatura	-0,02625	0,0584	-0,44957	0,67184	-0,17638	0,123868
Temperatura ²	0,271923	0,05688	4,780629	0,004968	0,125708	0,418138
Umidade	0,482522	0,0584	8,262304	0,000424	0,332399	0,632645
Umidade ²	0,211762	0,05688	3,722954	0,01367	0,065547	0,357977
Emulsificante	-0,56223	0,0584	-9,62711	0,000205	-0,71235	-0,4121
Emulsificante ²	0,286079	0,05688	5,029494	0,004003	0,139863	0,432294
Temp x Umid	0,2575	0,076289	3,375326	0,019775	0,061393	0,453607
Temp x Emuls	0,0875	0,076289	1,146955	0,303304	-0,10861	0,283607
Umid x Emuls	0,0875	0,076289	1,146955	0,303304	-0,10861	0,283607

TABELA 30. Análise de efeitos para aumento de peso (farinha de trigo comum)

	Efeito	Erro Puro	t(5)	p	Cnf.Limt -95,%	Cnf.Limt +95,%
Média	131,528	6,88143	19,11347	7,23E-06	113,8387	149,2173
Temperatura	4,211838	9,133415	0,461146	0,664059	-19,2664	27,69003
Temperatura ²	4,593484	8,895661	0,516374	0,627611	-18,2735	27,46051
Umidade	46,73047	9,133415	5,116429	0,003718	23,25228	70,20866
Umidade ²	-5,31535	8,895661	-0,59752	0,576189	-28,1824	17,55167
Emulsificante	2,378196	9,133415	0,260384	0,804951	-21,1	25,85639
Emulsificante ²	0,34684	8,895661	0,03899	0,970407	-22,5202	23,21386
Temp x Umid	0,5	11,93105	0,041907	0,968194	-30,1697	31,16975
Temp x Emuls	-6	11,93105	-0,50289	0,636405	-36,6697	24,66975
Umid x Emuls	-8,5	11,93105	-0,71243	0,508056	-39,1697	22,16975

TABELA 31. Análise de efeitos para aumento de peso (semolina de trigo durum)

	Efeito	Erro Puro	t(5)	p	Cnf.Limt -95,%	Cnf.Limt +95,%
Média	118,16	6,573198	17,97604	9,78E-06	101,2631	135,057
Temperatura	17,44392	8,724312	1,99946	0,10201	-4,98264	39,87047
Temperatura ²	11,29179	8,497207	1,328883	0,241299	-10,551	33,13456
Umidade	25,65179	8,724312	2,940265	0,032247	3,225235	48,07835
Umidade ²	3,152393	8,497207	0,370992	0,725843	-18,6904	24,99516
Emulsificante	-10,3272	8,724312	-1,18373	0,289726	-32,7538	12,09936
Emulsificante ²	-3,92535	8,497207	-0,46196	0,663516	-25,7681	17,91742
Temp x Umid	12,5	11,39664	1,096815	0,322715	-16,796	41,79599
Temp x Emuls	10	11,39664	0,877452	0,420396	-19,296	39,29599
Umid x Emuls	4,5	11,39664	0,394853	0,709232	-24,796	33,79599

TABELA 32. Análise de efeitos para aumento de volume (farinha de trigo comum)

	Efeito	Erro Puro	t(5)	p	Cnf.Limt -95, %	Cnf.Limt +95, %
Média	11,84117	0,653386	18,12279	9,4E-06	10,16159	13,52076
Temperatura	0,63905	0,86721	0,736903	0,494284	-1,59018	2,868283
Temperatura ²	0,724643	0,844635	0,857936	0,430124	-1,44656	2,895847
Umidade	3,428922	0,86721	3,95397	0,010808	1,199688	5,658156
Umidade ²	0,370756	0,844635	0,438954	0,679015	-1,80045	2,54196
Emulsificante	-0,09977	0,86721	-0,11505	0,912886	-2,329	2,129465
Emulsificante ²	-0,33702	0,844635	-0,39901	0,706357	-2,50822	1,834186
Temp x Umid	-0,25	1,132843	-0,22068	0,834067	-3,16207	2,662066
Temp x Emuls	0,25	1,132843	0,220684	0,834067	-2,66207	3,162066
Umid x Emuls	-1,25	1,132843	-1,10342	0,320099	-4,16207	1,662066

TABELA 33. Análise de efeitos para aumento de volume (semolina de trigo durum)

	Efeito	Erro Puro	t(5)	p	Cnf.Limt -95, %	Cnf.Limt +95, %
Média	10,89225	0,734293	14,83366	2,52E-05	9,004689	12,77981
Temperatura	1,864114	0,974594	1,912709	0,113989	-0,64116	4,369388
Temperatura ²	1,081604	0,949224	1,139462	0,306139	-1,35845	3,521662
Umidade	2,942676	0,974594	3,019387	0,029437	0,437402	5,447949
Umidade ²	0,37383	0,949224	0,393827	0,709943	-2,06623	2,813888
Emulsificante	-1,46504	0,974594	-1,50323	0,193101	-3,97031	1,040235
Emulsificante ²	-0,33394	0,949224	-0,35181	0,739324	-2,774	2,106114
Temp x Umid	0,5	1,27312	0,392736	0,710699	-2,77266	3,772658
Temp x Emuls	0,5	1,27312	0,392736	0,710699	-2,77266	3,772658
Umid x Emuls	0,5	1,27312	0,392736	0,710699	-2,77266	3,772658

TABELA 34. Análise de efeitos para força máxima de ruptura (farinha de trigo comum)

	Efeito	Erro Puro	t(5)	p	Cnf.Limt -95, %	Cnf.Limt +95, %
Média	14,65574	1,476943	9,923027	0,000177	10,85914	18,45234
Temperatura	12,62841	1,96028	6,442146	0,00134	7,589349	17,66747
Temperatura ²	1,123011	1,909251	0,588194	0,581965	-3,78488	6,030898
Umidade	2,940419	1,96028	1,5	0,193904	-2,09864	7,979479
Umidade ²	1,583064	1,909251	0,829154	0,444784	-3,32482	6,490951
Emulsificante	-8,49091	1,96028	-4,33148	0,007489	-13,53	-3,45185
Emulsificante ²	6,785202	1,909251	3,553855	0,016321	1,877315	11,69309
Temp x Umid	2,675	2,560729	1,044624	0,344046	-3,90756	9,257564
Temp x Emuls	-3,275	2,560729	-1,27893	0,25706	-9,85756	3,307564
Umid x Emuls	1,475	2,560729	0,576008	0,589565	-5,10756	8,057564

TABELA 35. Análise de efeitos para força máxima de ruptura (semolina de trigo durum)

	Efeito	Erro Puro	t(5)	p	Cnf.Limt -95, %	Cnf.Limt +95, %
Média	14,96172	1,542334	9,7007	0,000198	10,99702	18,92641
Temperatura	8,807443	2,04707	4,302462	0,007697	3,545281	14,0696
Temperatura ²	1,070604	1,993783	0,536971	0,614312	-4,05458	6,195786
Umidade	6,350647	2,04707	3,10231	0,026783	1,088485	11,61281
Umidade ²	1,318325	1,993783	0,661218	0,53772	-3,80686	6,443506
Emulsificante	-8,87702	2,04707	-4,33645	0,007454	-14,1392	-3,61486
Emulsificante ²	3,158537	1,993783	1,584193	0,174002	-1,96664	8,283719
Temp x Umid	1,375	2,674104	0,514191	0,62903	-5,499	8,249004
Temp x Emuls	1,125	2,674104	0,420702	0,691443	-5,749	7,999004
Umid x Emuls	-1,975	2,674104	-0,73857	0,493359	-8,849	4,899004

TABELA 36. Análise de efeitos para trabalho de ruptura (farinha de trigo comum)

	Efeito	Erro Puro	t(5)	p	Cnf.Limt -95, %	Cnf.Limt +95, %
Média	57,2516	9,916928	5,773119	0,002192	31,75933	82,74388
Temperatura	80,73055	13,16229	6,133471	0,001673	46,8958	114,5653
Temperatura ²	4,185475	12,81966	0,326489	0,757278	-28,7685	37,13947
Umidade	44,49246	13,16229	3,380297	0,019668	10,65771	78,32722
Umidade ²	-5,11114	12,81966	-0,39869	0,706575	-38,0651	27,84286
Emulsificante	-157,088	13,16229	-11,9347	7,28E-05	-190,922	-123,253
Emulsificante ²	134,4973	12,81966	10,49148	0,000136	101,5433	167,4513
Temp x Umid	33,3475	17,19401	1,939484	0,110144	-10,8511	77,54611
Temp x Emuls	-31,6075	17,19401	-1,83829	0,125424	-75,8061	12,59111
Umid x Emuls	1,3125	17,19401	0,076335	0,942113	-42,8861	45,51111

TABELA 37. Análise de efeitos para trabalho de ruptura (semolina de trigo durum)

	Efeito	Erro Puro	t(5)	p	Cnf.Limt -95, %	Cnf.Limt +95, %
Média	55,00904	8,131396	6,765018	0,001072	34,10662	75,91146
Temperatura	49,5916	10,79244	4,595033	0,005867	21,84876	77,33445
Temperatura ²	12,55073	10,5115	1,194	0,28603	-14,4699	39,57139
Umidade	78,3633	10,79244	7,260945	0,000774	50,62046	106,1061
Umidade ²	11,65185	10,5115	1,108487	0,318103	-15,3688	38,67252
Emulsificante	-108,757	10,79244	-10,0772	0,000165	-136,5	-81,0144
Emulsificante ²	50,78821	10,5115	4,831682	0,004749	23,76755	77,80888
Temp x Umid	19,89	14,09825	1,410814	0,21738	-16,3507	56,1307
Temp x Emuls	2,52	14,09825	0,178746	0,865154	-33,7207	38,7607
Umid x Emuls	-46,71	14,09825	-3,31318	0,021166	-82,9507	-10,4693

ANEXO II

TABELA 38. Análise de variância do modelo matemático para tempo ótimo de cozimento (farinha de trigo comum)

	SQ	GL	MQ	Fcal	Ftab
regressão	9,447116	4	2,361779	38,70145	3,06
resíduos	0,915384	15	0,061026		
falta ajuste	0,707051	10	0,070705	1,696921	4,74
erro puro	0,208333	5	0,041667		
total	10,3625	19			

TABELA 39. Análise de variância do modelo matemático para tempo ótimo de cozimento (semolina de trigo durum)

	SQ	GL	MQ	Fcal	Ftab
regressão	8,333498	3	2,777833	11,53648	3,06
resíduos	3,611802	15	0,240787		
falta ajuste	2,309719	11	0,209974	0,806302	4,74
erro puro	1,302083	5	0,260417		
total	11,9453	19			

TABELA 40. Análise de variância do modelo matemático para perda de sólidos (farinha de trigo comum)

	SQ	GL	MQ	Fcal	Ftab
regressão	2,560277	4	0,640069	24,7486	3,06
resíduos	0,387943	15	0,025863		
falta ajuste	0,304459	10	0,030446	1,823474	4,74
erro puro	0,083483	5	0,016697		
total	2,94822	19			

TABELA 41. Análise de variância do modelo matemático para perda de sólidos (semolina de trigo durum)

	SQ	GL	MQ	Fcal	Ftab
regressão	2,611758	6	0,435293	10,45339	3,06
resíduos	0,541337	13	0,041641		
falta ajuste	0,483137	8	0,060392	5,188329	4,74
erro puro	0,0582	5	0,01164		
total	3,153095	19			

TABELA 42. Análise de variância do modelo matemático para aumento de peso (farinha de trigo comum)

	SQ	GL	MQ	Fcal	Ftab
regressão	7452,832	1	7452,832	43,1358	4,41
resíduos	3109,968	18	172,776		
falta ajuste	1686,468	13	129,7283	0,455667	4,66
erro puro	1423,5	5	284,7		
total	10562,8	19			

TABELA 43. Análise de variância do modelo matemático para aumento de peso (semolina de trigo durum)

	SQ	GL	MQ	Fcal	Ftab
regressão	2245,725	1	2245,725	8,864653	4,41
resíduos	4560,025	18	253,3347		
falta ajuste	3261,192	13	250,8609	0,965716	4,66
erro puro	1298,833	5	259,7667		
total	6805,75	19			

TABELA 44. Análise de variância do modelo matemático para aumento de volume (farinha de trigo comum)

	SQ	GL	MQ	Fcal	Ftab
regressão	40,12696	1	40,12696	30,51087	4,41
resíduos	23,67304	18	1,315169		
falta ajuste	10,83971	13	0,833824	0,324866	4,66
erro puro	12,83333	5	2,566667		
total	63,8	19			

TABELA 45. Análise de variância do modelo matemático para aumento de volume (semolina de trigo durum)

	SQ	GL	MQ	Fcal	Ftab
regressão	29,55329	1	29,55329	9,6397	4,41
resíduos	55,18421	18	3,065789		
falta ajuste	38,97588	13	2,998144	0,924877	4,66
erro puro	16,20833	5	3,241667		
total	84,7375	19			

TABELA 46. Análise de variância do modelo matemático para força máxima de ruptura (farinha de trigo comum)

	SQ	GL	MQ	Fcal	Ftab
regressão	947,0801	3	315,6934	16,86681	3,24
resíduos	299,4694	16	18,71684		
falta ajuste	233,896	11	21,26328	1,621336	4,71
erro puro	65,57333	5	13,11467		
total	1246,55	19			

TABELA 47. Análise de variância do modelo matemático para força máxima de ruptura (semolina de trigo durum)

	SQ	GL	MQ	Fcal	Ftab
regressão	671,3245	3	223,7748	16,0351	3,24
resíduos	223,285	16	13,95531		
falta ajuste	151,7766	11	13,79787	0,964774	4,71
erro puro	71,50833	5	14,30167		
total	894,6095	19			

TABELA 48. Análise de variância do modelo matemático para trabalho de ruptura (farinha de trigo comum)

	SQ	GL	MQ	Fcal	Ftab
regressão	179559,6	4	44889,9	11,28438	3,06
resíduos	59670,85	15	3978,057		
falta ajuste	56714,51	10	5671,451	9,592015	4,74
erro puro	2956,34	5	591,2679		
total	239230,5	19			

TABELA 49. Análise de variância do modelo matemático para trabalho de ruptura (semolina de trigo durum)

	SQ	GL	MQ	Fcal	Ftab
regressão	82738,37	5	16547,67	29,28803	3,06
resíduos	7909,97	14	564,9979		
falta ajuste	5922,365	9	658,0405	1,65536	4,74
erro puro	1987,606	5	397,5211		
total	90648,34	19			

