



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

---

**Avaliação do efeito do tratamento térmico na  
atividade enzimática e nas propriedades reológicas  
da farinha de trigo**

**VANESSA PADOVANI GODOY**  
Química Bacharel

**PROF<sup>a</sup> DR<sup>a</sup> FERNANDA PAULA COLLARES QUEIROZ**  
Orientadora

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**  
**2010**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA FEA – UNICAMP

G548a Godoy, Vanessa Padovani  
Avaliação do efeito do tratamento térmico na atividade  
enzimática e nas propriedades reológicas da farinha de trigo /  
Vanessa Padovani Godoy. -- Campinas, SP: [s.n.], 2010

Orientador: Fernanda Paula Collares-Queiroz  
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas.  
Faculdade de Engenharia de Alimentos.

1. Farinha de trigo. 2. Tratamento térmico. 3. Atividade  
enzimática. 4. Bolo. I. Collares-Queiroz, Fernanda Paula. II.  
Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de  
Alimentos. III. Título.

Título em inglês: Effect of heat treatment on enzymatic activity and rheological  
properties of wheat flour

Palavras-chave em inglês (Keywords): Wheat flour, Heat treatment, Enzymatic activity,  
Cake

Titulação: Mestre em Tecnologia de Alimentos

Banca examinadora: Fernanda Paula Collares-Queiroz

Cristina Yoshie Takeiti

Maria Teresa Pedrosa da Silva

Programa de Pós Graduação: Programa em Tecnologia de Alimentos

**Este exemplar corresponde à redação final da dissertação defendida em \_\_\_\_\_ por Vanessa Padovani Godoy e aprovado pela comissão julgadora em \_\_\_\_\_.**

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Fernanda Paula Collares Queiroz

Faculdade de Engenharia de Alimentos – DTA – UNICAMP

Orientadora

---

Dr<sup>a</sup>. Cristina Yoshie Takeiti

Embrapa Agroindústria de Alimentos

Membro (Titular)

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Teresa Pedrosa Silva Clerici

Universidade Federal de Alfenas

Membro (Titular)

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Caroline Joy Steel

Faculdade de Engenharia de Alimentos – DTA – UNICAMP

Membro (Suplente)

---

Prof. Dr. Flávio Luís Schmidt

Faculdade de Engenharia de Alimentos – DTA – UNICAMP

Membro (Suplente)



## *Dedico*

Aos meus pais, pelo incentivo e por todos os ensinamentos compartilhados nesta vida.

Ao meu marido, pelo amor constante e pelo companheirismo.



## **Agradecimentos**

À Deus, pela minha vida, força e proteção.

Aos meus queridos pais, Emídio e Fátima, pelo apoio, amor e incentivo em todos os momentos de minha vida e por compartilharem as angústias e as alegrias desta conquista, acreditando e torcendo sempre por mim.

Ao meu marido Fábio, por me incentivar quando me sentia desanimada e aos meus irmãos Gustavo e Alexandre pelo carinho.

À minha orientadora, Prof<sup>a</sup>. Dra. Fernanda, pela dedicação, orientação e confiança, fundamentais na conclusão do trabalho.

Aos membros da banca examinadora, pelas sugestões e correções que permitiram o enriquecimento do trabalho.

À Emulzint, pela oportunidade e doação de recursos necessários para a realização deste projeto, em especial ao Kenzi e a Michele, pelos ensinamentos técnicos e pessoais.

À todos os colaboradores da Emulzint, pela companhia e participação direta ou indiretamente na realização do projeto.

Enfim, agradeço à todos os envolvidos de um modo geral.



# SUMÁRIO

Lista de figuras.....	xiii
Lista de tabelas.....	xv
Resumo.....	xix
Abstract.....	xxi
1. Introdução.....	1
2. Objetivos.....	3
2.1. Objetivo geral.....	3
2.2. Objetivos específicos.....	3
3. Revisão bibliográfica.....	5
3.1. Grão de trigo.....	5
3.1.1. Farinha de trigo.....	6
3.1.2. Enzimas da farinha de trigo.....	8
3.2. Tratamentos para inativação enzimática.....	11
3.3. Bolos.....	16
4. Material e métodos.....	19
4.1. Material.....	19
4.2. Métodos.....	20
4.2.1. Caracterização química, enzimática e reológica da farinha de trigo com e sem tratamento térmico.....	20
4.2.1.1. Composição centesimal.....	20
4.2.1.2. Atividade enzimática.....	21
4.2.1.3. Análises reológicas.....	22
4.2.2. Tratamento térmico da farinha de trigo.....	24
4.2.3. Planejamento experimental.....	24

4.2.4. Aplicação das farinhas de trigo tratadas termicamente em bolo tipo inglês e sua caracterização .....	27
4.2.4.1. Aplicação das farinhas em bolo tipo inglês .....	27
4.2.4.2. Caracterização dos bolos.....	28
4.2.4.3. Análise sensorial.....	31
5. Resultados e discussão .....	33
5.1. Caracterização da farinha de trigo.....	33
5.1.1. Composição centesimal.....	33
5.1.2. Atividade enzimática.....	34
5.1.3. Análises reológicas.....	35
5.2. Tratamento térmico da farinha de trigo.....	39
5.2.1. Planejamento experimental .....	39
5.3. Caracterização da farinha tratada na faixa das melhores condições do processo térmico .....	64
5.3.1. Atividade enzimática.....	64
5.3.2. Análises reológicas.....	65
5.3.3. Análise sensorial .....	67
6. Conclusões.....	71
7. Sugestões para trabalhos futuros .....	73
8. Referências bibliográficas.....	75
ANEXO A – Ficha de avaliação sensorial .....	86
ANEXO B – Farinograma da farinha de trigo sem tratamento.....	87
ANEXO C – Extensograma da farinha de trigo sem tratamento.....	88
ANEXO D – Valores dos parâmetros do número de queda das farinhas experimentais, preditos pelo modelo com as variáveis codificadas e desvios relativos.....	90
ANEXO E – Valores dos parâmetros da dureza instrumental dos bolos experimentais, preditos pelo modelo com as variáveis codificadas e desvios relativos.....	92

ANEXO F – Valores dos parâmetros da Cor L do miolo, dos bolos experimentais, preditos pelo modelo com as variáveis codificadas e desvios relativos .....	94
ANEXO G – Farinograma da farinha de trigo tratada U14 .....	96
ANEXO H – Extensograma da farinha de trigo tratada U14 .....	97



## Lista de figuras

- Figura 1. Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais do número de queda (segundos) das farinhas de trigo tratadas ..... 44
- Figura 2. Superfícies de resposta e curvas de contorno para o número de queda em função do tempo e temperatura (a) e (b), do tempo e umidade (c) e (d) e da temperatura e umidade (e) e (f). ..... 45
- Figura 3. Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais da dureza instrumental do miolo. .... 54
- Figura 4. Superfícies de respostas e curvas de contorno da dureza instrumental do miolo em função do tempo e temperatura (a) e (b), do tempo e umidade (c) e (d) e da temperatura e umidade (e) e (f) ..... 55
- Figura 5. Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais da Cor L do miolo. .... 62
- Figura 6. Superfícies de respostas e curvas de contorno da Cor L do miolo em função do tempo e temperatura (a) e (b), do tempo e umidade (c) e (d) e da temperatura e umidade (e) e (f)..... 63
- Figura 7. Intenção de compra (%) dos bolos com a farinha sem tratamento e U14 ..... 69



## Lista de tabelas

Tabela 1. Composição química das diferentes partes do grão de trigo (porcentagem em base seca). .....	6
Tabela 2. Fatores que afetam a atividade das enzimas. ....	11
Tabela 3. Variáveis independentes e níveis de variação do planejamento experimental .	25
Tabela 4. Matriz do planejamento experimental com os valores codificados das variáveis independentes .....	26
Tabela 5. Formulação de bolo tipo inglês.....	27
Tabela 6. Composição centesimal da farinha de trigo.....	33
Tabela 7. Atividade enzimática da farinha de trigo.....	34
Tabela 8. Número de queda da farinha de trigo.....	35
Tabela 9. Classificação da farinha de trigo quanto à força, de acordo com suas características farinográficas. ....	37
Tabela 10. Características farinográficas da farinha de trigo. ....	37
Tabela 11. Características extensográficas da farinha de trigo. ....	39
Tabela 12. Número de queda (s) das farinhas tratadas do planejamento experimental e sua comparação com a farinha sem tratamento .....	41
Tabela 13. Análise dos efeitos das variáveis independentes no número de queda.....	42
Tabela 14. ANOVA para o número de queda.....	42

Tabela 15. Peso específico da massa (g/mL) e volume específico (cm <sup>3</sup> /g) do bolo tipo inglês obtido com as farinhas tratadas do planejamento experimental e sua comparação com a farinha sem tratamento. ....	47
Tabela 16. Análise dos efeitos das variáveis independentes no peso específico da massa. ....	49
Tabela 17. Análise dos efeitos das variáveis independentes no volume específico do bolo. ....	49
Tabela 18. Dureza instrumental do miolo (g) do bolo tipo inglês obtido das farinhas tratadas do planejamento experimental e sua comparação com a farinha sem tratamento. ....	50
Tabela 19. Análise dos efeitos das variáveis independentes na dureza instrumental do miolo.....	52
Tabela 20. Análise dos efeitos das variáveis independentes na dureza instrumental do miolo, excluindo os parâmetros estatisticamente não significativos. ....	52
Tabela 21. ANOVA para a dureza instrumental do miolo. ....	53
Tabela 22. Cor L, a e b do miolo do bolo tipo inglês obtido das farinhas tratadas do planejamento experimental e sua comparação com a farinha sem tratamento* e também, a diferença total de cor entre a farinha sem tratamento e a tratada através do $\Delta E^*$ .....	57
Tabela 23. Cor L, C e h do miolo do bolo tipo inglês obtido das farinhas tratadas do planejamento experimental e sua comparação com a farinha sem tratamento . ....	59
Tabela 24. Análise dos efeitos das variáveis independentes no parâmetro <i>L</i> da cor do miolo.....	60
Tabela 25. ANOVA para o parâmetro <i>L</i> da cor do miolo .....	61
Tabela 26. Atividade enzimática da farinha de trigo .....	65
Tabela 27. Características farinográficas da farinha de trigo .....	66

Tabela 28. Características extensográficas da farinha de trigo .....	67
Tabela 29. Escore de aceitação da aparência global, aparência do miolo, textura e sabor dos bolos .....	68



## Resumo

A farinha de trigo, além de ser amplamente utilizada em sua forma natural, pode sofrer modificações que permitem aplicações ainda mais variadas, de acordo com as necessidades tecnológicas. A inativação das enzimas presente neste cereal (alfa-amilase, lipase, lipoxigenase e peroxidase) constitui-se em um exemplo de modificação que possibilita a obtenção de matéria-prima adequada para a formulação de massa de bolo que será comercializada na forma líquida. O tratamento térmico constitui-se em um processo que pode ser utilizado para inativar estas enzimas, no entanto, as características reológicas desejadas da farinha de trigo podem ser comprometidas. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do tratamento térmico na atividade enzimática e nas características reológicas da farinha de trigo e a viabilidade de sua aplicação na produção de bolo tipo inglês. Inicialmente, a farinha de trigo foi analisada quanto às suas características química, enzimática e reológicas. Para avaliar o efeito do tratamento térmico nas propriedades reológicas da farinha de trigo, foi realizado um planejamento experimental composto central rotacional 2<sup>3</sup>, aplicado à Metodologia de Superfície de Resposta. As três variáveis independentes avaliadas foram: tempo e temperatura de tratamento térmico e umidade inicial da farinha. As farinhas tratadas nas condições de cada ensaio foram aplicadas em bolo tipo inglês e comparadas com a farinha sem tratamento. Foram consideradas como respostas as seguintes variáveis: (i) número de queda da farinha; (ii) peso específico da massa do bolo; (iii) volume específico do bolo; (iv) dureza instrumental do miolo do bolo e (v) cor do miolo do bolo. Os resultados do planejamento experimental permitiram a obtenção de modelo para as respostas número de queda, dureza instrumental do miolo, cor L do miolo do bolo, indicando que houve

diferença significativa entre os tratamentos térmicos nas faixas de variáveis independentes estudadas. Foi possível observar que os melhores resultados foram obtidos para tempo de tratamento superior a 60 minutos e temperatura superior a 160°C, podendo a umidade variar entre 13 e 18%. Dentro destas faixas, foi escolhida a condição de: (i) tempo de tratamento de 60 minutos; (ii) temperatura de 160°C e (iii) umidade de 14 %, como a mais adequada para os experimentos finais deste trabalho. A farinha tratada nestas condições, então, foi analisada, em comparação à farinha sem tratamento, quanto as suas características reológicas, atividade da peroxidase e avaliação sensorial quando aplicada novamente na produção de bolo tipo inglês. Houve redução de 25 % na atividade da peroxidase na farinha de trigo tratada e, apesar da constatação de alterações reológicas, estas não inviabilizaram a aplicação da farinha, uma vez que, os bolos foram bem aceitos sensorialmente e apresentaram boa intenção de compra pelos provadores.

**Palavras-chave:** farinha de trigo, tratamento térmico, atividade enzimática, bolo.

## Abstract

Wheat flour, besides being widely used in its natural form, can undergo changes that allow more varied applications, according to the technological needs. The inactivation of enzymes present in this cereal (alpha-amylase, lipase, lipoxygenase and peroxidase) is an example of modification that enables the achievement of adequate raw material for the formulation of cake batter that will be marketed in liquid form. The heat treatment is a process that can be used to inactivate these enzymes, however, the desired rheological characteristics of wheat flour can be compromised. The aim of this study was to evaluate the effect of heat treatment on enzymatic activity and rheological properties of wheat flour and the feasibility of its application in the production of type English cake. Initially, the wheat flour was analyzed for their chemical characteristics, enzyme and rheological. To evaluate the effect of heat treatment on the rheological properties of wheat flour was made a central composite experimental design 23, applied to the Response Surface Methodology. The three variables were measured: time and temperature and initial moisture of the flour. Flours treated under the conditions of each test were applied in cake and compared with the untreated flour. Were considered as responses to the following variables: (i) falling number of flour, (ii) specific weight of the cake, (iii) the specific volume of cake, (iv) hardness of the crumb of the cake and (v) color crumb cake. The results of the experimental design allowed to obtain a model for the responses falling number, crumb hardness, color L crumb cake, indicating a significant difference between the thermal bands of independent variables. It was observed that the best results were obtained for treatment time exceeding 60 minutes and temperature exceeding 160 °C, the humidity can vary between 13 and 18%. Within these bands, was chosen on condition that: (i)

treatment time of 60 minutes, (ii) temperature of 160 ° C and (iii) 14% humidity, as the most suitable for the final experiments of this work. Flour treated under these conditions was then analyzed in comparison to untreated flour, as the rheological characteristics, peroxidase and sensory evaluation when applied again to produce cake. There was a 25% reduction in peroxidase activity in wheat flour treated and, despite the finding of these rheological changes did not hamper the implementation of flour, because the cakes were well presented good sensory acceptance and purchase intent by the consumers.

**Keywords:** wheat flour, heat treatment, enzymatic activity, cake.

# 1. Introdução

O trigo é um dos cereais mais importantes do mundo, contribuindo com 28,5% (em peso) do total da produção mundial (DENDY; DOBRASZCZYK, 2001). Aproximadamente 70% da produção mundial de trigo é destinada à alimentação humana, predominantemente na forma de farinha em pães, bolos, biscoitos (DENDY; DOBRASZCZYK, 2001), cereais matinais e massas alimentícias (CORNELL; HOVELING, 1998). A produção brasileira de farinha de trigo foi entre 3,0 a 4,0 milhões de toneladas por ano (ABIMA, 2009).

A farinha de trigo é constituída principalmente de carboidratos sendo seguido por proteínas, incluindo as enzimas, lipídios e micronutrientes. Na panificação, sua importância está relacionada às propriedades apresentadas por suas proteínas, que dão à massa produzida com a farinha deste cereal a característica única de viscoelasticidade, essencial para a retenção dos gases produzidos durante a fermentação da massa e forneamento de produtos de panificação (EL-DASH, 1990). Portanto, a avaliação reológica da farinha de trigo é de vital importância para a indústria de panificação, ajudando a prever as características de processamento da massa e a qualidade dos produtos finais (INDRANI; RAO, 2007).

A evolução da enzimologia tem expandido as possibilidades de produção de novos alimentos, sendo considerados a seleção e o controle de atividade das enzimas, procedendo a sua inativação quando seu comportamento é indesejável e favorecendo sua ação quando útil ao processamento do produto (EVANGELISTA, 2003).

As mais importantes enzimas em panificação são as enzimas amilolíticas, principalmente aquelas que atuam sobre o amido. Além dessas, há também aquelas que

atuam sobre as proteínas, lipídios e outros componentes menores (EVANGELISTA, 2003).

A alfa-amilase, enzima amilolítica, possui duas funções básicas em panificação: (i) proporcionar a formação de açúcares fermentáveis para a ação do fermento e produção de gás e (ii) afetar as propriedades da massa e melhorar a estrutura e a qualidade do pão (BARRET, 1975). As proteases provocam o enfraquecimento da rede de glúten, modificando as propriedades reológicas da massa (PETIT; AUDIDIER, 1975). Os lipídios presente no cereal moído estão sujeitos a dois tipos de deterioração, a hidrólise gerada pela ação das lipases e a oxidação pela ação das lipoxigenases, que apresentam efeitos prejudiciais na fabricação de produtos de panificação (MILLER; KUMMEROW, 1948).

Existem ainda outras enzimas no trigo, em menor quantidade ou com uma função tecnológica menos expressiva, tais como a enzima oxidativa peroxidase, utilizada como indicador para o controle de tratamentos térmicos (EVANGELISTA, 2003).

A farinha de trigo, além de ser amplamente utilizada em sua forma natural, pode sofrer modificações que permitem aplicações ainda mais variadas, de acordo com as necessidades tecnológicas. Como se pode citar, a massa de bolo “ready-to-bake” que apresenta características específicas em sua composição tais como, a utilização de agentes de crescimento microencapsulados e de farinha de trigo inativada enzimaticamente por tratamento térmico (LEFLÉCHER; ROBSON, 2000).

O tratamento térmico é o método mais utilizado para a estabilização dos alimentos devido à sua capacidade de destruir os microrganismos e inativar as enzimas.

Informações sobre o comportamento tecnológico de farinha de trigo tratada termicamente e informações sobre a inativação das enzimas presentes neste cereal, em produtos de panificação, são ainda escassas.

## **2. Objetivos**

### **2.1. Objetivo geral**

Avaliação do efeito da aplicação de tratamento térmico na atividade enzimática (alfa-amilase, lipase, lipoxigenase e peroxidase) da farinha de trigo e nas propriedades reológicas da massa e qualidade do bolo tipo inglês produzido com esta farinha tratada.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Caracterização química, enzimática e reológica da farinha de trigo sem tratamento térmico;
- Otimização das condições operacionais do processo térmico de inativação das enzimas da farinha de trigo;
- Caracterização enzimática e reológica da farinha de trigo tratada termicamente na condição operacional mais adequada definida na avaliação estatística.
- Avaliação da qualidade de bolo elaborado com a farinha com e sem tratamento térmico através da realização da análise sensorial;



## 3. Revisão Bibliográfica

### 3.1. Grão de trigo

O trigo é um cereal da família das Gramíneas, gênero *Triticum*, cujos principais cultivares são: *Triticum durum*, *Triticum aestivum* e *Triticum compactum* (CORNELL; HOVELING, 1998).

É cultivado em várias espécies botânicas distintas. No entanto, sem dúvida, a mais importante é a *Triticum aestivum*, ou trigo comum, que representa cerca de 90% do total de trigo produzido nos Estados Unidos, um dos maiores produtores mundiais (PYLER, 1988).

Para fins comerciais, o trigo comum é geralmente classificado em duro ou mole, vermelho ou branco e de primavera ou de inverno (CORNELL; HOVELING, 1998).

A composição do grão faz do trigo um alimento palatável de alto valor energético (MacMASTERS et al., 1971). O grão de trigo pode ser dividido morfológicamente em três partes distintas: (i) o endosperma, que representa a maior parte do grão; (ii) o farelo, que é a camada que envolve o grão e o (iii) gérmen, que contém o embrião e o escutelo (DENDY; DOBRASZCZYK, 2001). A composição química média das diferentes partes do grão de trigo é apresentada na Tabela 1.

**Tabela 1.** Composição química das diferentes partes do grão de trigo (porcentagem em base seca).

<b>Componentes</b>	<b>Amido (%)</b>	<b>Proteína (%)</b>	<b>Lipídios (%)</b>	<b>Pentosanas (%)</b>	<b>Minerais (%)</b>
Grão de trigo	60-70	10-14	1,5-2,5	5-8	1,6-2,0
Endosperma	70-85	8-13	1-1,6	0,5-3,0	0,3-0,8
Farelo	0	7-8	1-5	30-40	3-10
Gérmen	20	35-40	15	20	5-6

Fonte: Dendy e Dobraszczyk (2001).

O trigo apresenta grande importância para a economia do Brasil, devido ao elevado consumo de seus derivados, principalmente pães, macarrão e farinha (CARNEIRO et al., 2005). É o cereal mais importante em panificação, embora em algumas partes do mundo o uso de centeio seja substancial (GOESAERT et al., 2005).

Embora sejam considerados, principalmente, como fonte de carboidratos, os produtos de trigo também são importantes fontes de proteínas, vitaminas e sais minerais, quando consumidos como elementos básicos da dieta (MacMASTERS et al., 1971).

### **3.1.1. Farinha de trigo**

Dentre as farinhas dos diferentes cereais, apenas a do trigo tem a capacidade de formar uma massa viscoelástica, requerida para a produção de pão, devido às propriedades peculiares apresentadas por suas proteínas (TEDRU et al., 2001). Esta característica é essencial para a retenção dos gases produzidos durante a fermentação da massa e forneamento do pão (EL-DASH, 1990).

As proteínas do trigo são divididas em dois grupos, um deles formado pelas albuminas e globulinas, representando 15% das proteínas totais e, o outro, formado pela gliadina (alta extensibilidade) e glutenina (alta elasticidade) que correspondem os restantes 85% (HOSENEY, 1994).

A albumina e a globulina são as proteínas solúveis consideradas não formadoras de glúten, já que parecem ter pouca (SCHOFIELD; BOOTH, 1983) ou nenhuma (MacRITCHIE, 1984) influência sobre a qualidade de panificação.

As proteínas formadoras de glúten são as insolúveis em água, sendo a gliadina solúvel em etanol a 70%, enquanto que a glutenina é solúvel somente em soluções de ácido ou álcali (EL-DASH, 1990).

Um glúten de boa qualidade permite expansão suficiente e boa distribuição das células de gás dentro da massa, resultando em um pão volumoso e de boa textura. As proteínas do glúten diferem em sua contribuição a estas propriedades (MacRITCHIE, 1984). Quando completamente hidratada, a glutenina forma uma massa extremamente rígida e elástica, enquanto que a gliadina produz uma massa fluida e viscosa. A gliadina é coesiva e apresenta alta extensibilidade e baixa elasticidade. Em outras palavras, é altamente capaz de ser esticada com a aplicação de uma força, porém apresenta capacidade limitada de retornar à forma inicial após a supressão da força. A glutenina, por outro lado, apesar de também ser coesiva, apresenta uma baixa extensibilidade e alta elasticidade. É capaz de ser esticada até certo limite, mas retorna rapidamente à sua forma original com a remoção da força. O glúten, portanto, apresenta propriedades viscoelásticas da combinação destes dois componentes (EL-DASH, 1990).

As principais características do glúten que afetam a qualidade de panificação são a quantidade, a proporção e o tipo de proteínas presentes no glúten. Farinhas com quantidades iguais de proteína podem diferir em qualidade, em função de diferenças nas

proporções e nas características das frações da proteína do glúten (MacRITCHIE, 1987; JANSSEN et al., 1990).

### **3.1.2. Enzimas da farinha de trigo**

O grão de trigo possui um sistema enzimático próprio, inativo durante o armazenamento desde que o grão seja mantido seco, íntegro e livre de contaminação. Quando é transformado em farinha, as enzimas começam a atuar e a modificar as características deste produto.

As alterações enzimáticas, que podem ocorrer por enzimas procedentes do próprio produto ou produzidas por microrganismos, não tornam o alimento perigoso para o consumo, ao contrário das alterações microbianas. Apenas alteram as características organolépticas do alimento, entre elas, cor, sabor e textura (EVANGELISTA, 2003).

As enzimas amilolíticas, alfa- e beta-amilase, são de importante emprego na panificação. Atuam lentamente sobre os grânulos íntegros de amido e, mais rapidamente sobre o amido danificado ou gelatinizado. A disponibilidade de grânulos de amido danificados é fator limitante, uma vez que a enzima atua sobre o mesmo (BARRET, 1975).

A alfa-amilase possui as funções básicas de proporcionar a formação de açúcares fermentáveis para a ação do fermento e de afetar as propriedades reológicas da massa, melhorar a estrutura e qualidade do pão (BARRET, 1975).

Além de fornecer pães com melhor volume, afeta também a textura do miolo e a cor da crosta dos pães, devido à hidrólise do amido e liberação de açúcares (MILLER et al., 1953 e BARRET, 1975).

O pH ótimo para a ação da alfa-amilase é próximo de 4,5 e para a beta-amilase é ligeiramente mais alto. A beta-amilase é mais sensível à inativação pelo calor, desnatura a temperatura mais baixa (EVANGELISTA, 2003).

As enzimas proteolíticas não se encontram em altos níveis nas farinhas, a menos que sejam derivadas de grãos germinados. Agem sobre o glúten da farinha, constituinte essencial, cujas propriedades estão sujeitas à variações (PETIT; AUDIDIER, 1975).

As proteases afetam as propriedades organolépticas, assim com a textura. Seu efeito significativo é a acentuação da cor e “flavor” (EL-DASH; JOHNSON, 1967). Provocam um enfraquecimento da rede de glúten e as propriedades reológicas da massa são modificadas. Para se constatar a ação proteolítica, são necessários métodos que mostrem uma modificação na consistência da massa (SPROBER, 1981).

Os lipídios nos cereais estão sujeitos a dois tipos de deterioração, a hidrólise e a oxidação, que apresentam efeitos prejudiciais na fabricação de produtos de panificação (MILLER; KUMMEROW, 1948). A hidrólise é obtida pela ação da lipase presente no grão. Esta enzima catalisa a hidrólise dos triglicerídeos (ésteres de ácidos graxos e glicerol) em di- e mono-glicerídeos e, finalmente em ácidos graxos livres e glicerol, aumentando a acidez e o desenvolvimento de rancidez durante a estocagem. O pH ótimo de atividade da lipase é 8,0 (GERHARTZ, 1990).

A presença de enzimas hidrolisadoras de gorduras, as lipases, em farinha de trigo tem sido reconhecida por muitos anos. A atividade da lipase é importante tendo em visto a estabilidade da farinha em período prolongado de estocagem ou condições adversas. Sua atividade é alta em farinhas com alto conteúdo de gordura (POMERANZ, 1988).

A oxidação dos lipídios pode ocorrer enzimaticamente pela ação da enzima lipoxigenase ou não enzimaticamente, pela ação do oxigênio. A lipoxigenase é a enzima

que catalisa a oxidação de ácidos graxos poliinsaturados dando origem aos hidroperóxidos (POMERANZ, 1988).

As enzimas lipases e lipoxigenase atuam de forma distinta, podendo ser desejável ou não no processamento.

Dentre outras enzimas presentes no trigo, pode-se mencionar a enzima oxidativa, a peroxidase, que catalisa a peroxidação dos ácidos graxos poliinsaturados pelo oxigênio, formando complexos que favorecem o aparecimento de sabor rançoso.

A resistência térmica da peroxidase é bem maior do que a de outras enzimas e por isso esta enzima é utilizada principalmente como indicador para o controle de tratamentos térmicos (EVANGELISTA, 2003).

As alterações geradas por ações enzimáticas afetam mais o grão e a farinha integral do que a farinha branca devido ao teor de lipídios. Sendo assim, a inativação das enzimas é providência para coibir os seus malefícios em determinados produtos alimentícios.

As enzimas podem ser desnaturadas por diferentes métodos, inclusive por mudanças de pH ou aplicação de calor. Grande parte das enzimas são desnaturadas por aquecimento entre 70 e 80°C durante um intervalo de tempo de 2 a 5 minutos (BOBBIO, 2003).

Vários fatores alteram a atividade enzimática durante o processamento. Os mais importantes são: (i) concentração de enzima e substrato; (ii) tempo; (iii) temperatura; (iv) pH e (v) presença ou ausência de inibidores ou ativadores (STEWART, 1984).

Os fatores que afetam a atividade das diferentes enzimas do grão de trigo podem ser observados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Fatores que afetam a atividade das enzimas.

<b>Enzima</b>	<b>pH ótimo</b>	<b>Temperatura ótima (°C)</b>	<b>Temperatura de inativação (°C)</b>	<b>Tempo (min.)</b>
Alfa-amilase	4,5 – 7,0	60 - 70	85	5 - 30
Protease	6,0 – 8,0	60	80 – 90	-
Lipase	8,0 – 9,0	30 - 40	60	20
Lipoxigenase	6,5 – 9,0	40 - 50	60 – 65	-
Peroxidase	-	-	-	-

Fonte: Gerhartz (1990), Reed (1975) e Kruger et al. (1987).

### **3.2. Tratamentos para inativação enzimática**

Além de ser amplamente utilizada em sua forma natural, a farinha pode sofrer modificações que permitam aplicações ainda mais variadas, de acordo com as necessidades tecnológicas.

Com os avanços e as mudanças do mundo moderno, os consumidores tendem a buscar a facilidade no preparo de alimentos, gerando nas indústrias a necessidade de uma crescente produção de alimentos prontos e semi-prontos.

O tratamento térmico é o método mais utilizado para a estabilização dos alimentos devido à sua capacidade de destruir os microrganismos e inativar as enzimas. Entretanto, desde que o aquecimento pode alterar as propriedades organolépticas dos alimentos e diminuir o conteúdo de alguns nutrientes, há um crescente interesse na pesquisa por métodos capazes de reduzir a intensidade dos tratamentos térmicos necessários para a preservação dos alimentos.

### 3.2.1. Fonte de trigo

Johnson e Hosenev (1980) estudaram os efeitos do aquecimento em forno de convecção e do tempo de armazenagem nas qualidades funcionais da farinha de trigo. Farinhas sem tratamento estocadas à temperatura ambiente por 2 meses resultaram em bolos com melhor volume e miolo. Essas alterações relacionadas à idade da farinha foram aceleradas pelo calor. O tratamento térmico de farinhas recém moídas melhorou a textura do miolo e eliminou o colapso durante o forneamento.

Thomasson et al. (1995) estudaram o tratamento térmico de farinha de trigo em forno de convecção em temperaturas de 80 a 200°C e avaliaram sua aplicação em bolo. Os resultados indicaram que o tratamento térmico da farinha a níveis normais de umidade (ao redor de 13%) melhorou o volume do bolo, mas reduziu a qualidade do miolo. Os melhores resultados foram obtidos em tratamentos entre 100 e 150°C e com níveis de umidade iniciais da farinha de 2 a 3%, condições em que obtiveram melhora no volume e estrutura do miolo do bolo. Tratamentos a 200°C que imaram a farinha, tornando-a inapropriada para aplicação em bolo.

Hankinson (1971) relatou que a suspensão de farinha de trigo aquecida em temperaturas de 57,2 a 65,5°C, secas em spray dryer até umidade inferior a 10%, quando aplicada em formulação de bolo, resultou numa massa com maior vida útil devido à redução da atividade enzimática.

Chiqurupati e Pulverenti (1994) também submeteram uma suspensão de farinha de trigo ao tratamento térmico, porém com a finalidade de aumentar a estabilidade farinográfica e a absorção. Utilizou aquecimento de 70 a 145°C por 5 a 8 segundos. A farinha de trigo tratada a 150°C apresentou aumento no valor do número de queda

(Falling number), de 426 para 517 segundos, devido à inativação da enzima alfa-amilase, aumento na estabilidade farinográfica e aumento na força do glúten. Porém, observou teste positivo para a atividade de peroxidase.

Com o objetivo de obter uma farinha com alfa-amilase e lipase inativadas, considerando Falling number ideal de 270 segundos, Hampton et al. (1975) submeteram a farinha, com umidade entre 10 e 14%, a um tratamento térmico indireto com vapor a temperatura entre 120 e 160°C por no mínimo 5 minutos. Concluíram que a temperatura e o tempo ótimo variaram dependentemente da umidade inicial. As melhores condições encontradas para o Falling number de 270 segundos foram: 145°C por 15 minutos, 135°C por 30 minutos e 120°C por 60 minutos.

Vários procedimentos têm sido descritos para a inativação da enzima alfa-amilase presente na farinha ou grão de trigo. British (1967) descreveu o tratamento térmico onde o trigo ou a farinha de trigo contendo 14% de umidade foi submetido a uma pressão de vapor a 100°C por aproximadamente 4 minutos, resultando num produto com Falling number de 240 minutos.

No experimento de Miller e Johnson (1954), farinhas de trigo e cevada diluídas foram submetidas a tratamentos térmicos com o objetivo de inativar suas enzimas alfa-amilase e protease. As condições dos tratamentos foram: tempo fixo de 30 minutos, temperatura e pH variáveis, nas faixas de 50 a 60°C e 9 a 10, respectivamente. Eles observaram a inativação da protease à 50°C quando o pH foi ajustado entre 7,5 e 10,5 e, a inativação da alfa-amilase na mesma temperatura com pH entre 3 e 4,7.

Freitas e Moretti (2005) estudaram os efeitos dos fatores temperatura e tempo na inativação das enzimas lipase e peroxidase no germe de trigo. As amostras tiveram sua umidade aumentada para 28% antes do tratamento térmico em estufa. A faixa de temperatura estudada foi de 144 a 186°C e de tempo entre 6 e 18 minutos. Em

temperaturas entre 180 e 190°C, com duração de 4,8 a 8 minutos, foram obtidas reduções significativas na atividade residual das enzimas, resultando numa redução de 20,11 para 12,98% de hidrólise na atividade de lipase e de 17.283,78 para 30,4 (abs/ g.min) na atividade de peroxidase.

### **3.2.2. Fontes diversas**

Para estudar o efeito do processo de secagem na atividade de lipase, Ekstrand et al. (1992) umedeceram amostras de aveia até umidade de 30% e, posteriormente, utilizaram o forno com circulação de ar em diferentes temperaturas (40°C, 60°C e 80°C) para secá-las até umidade de 16%. Em todos os tratamentos, houve a redução da atividade de lipase, mas apenas em altas temperaturas (60-80°C) houve alteração considerável. Por outro lado, a atividade de peroxidase mostrou boa estabilidade térmica nas faixas das temperaturas estudadas.

Um grande número de experimentos tem sido executado para mostrar a importância da umidade na inativação das enzimas. Contato direto com a água auxilia na transferência de calor. Segundo o trabalho de Ekstrand et al. (1992), em aveia tratada por 10 minutos com vapor e temperatura final de 72°C, mais de 70% da atividade de lipase permaneceu, enquanto que, em aveia imersa em água a 80°C, apenas 2% de atividade foi detectada.

Atualmente, o tratamento térmico é o processo mais comum utilizado para inativação da lipoxigenase em soja (NELSON et al., 1976). Che Man et al. (1989) estudaram a utilização de baixo pH para inativação da lipoxigenase em soja, enquanto

que Lopez e Burgos (1995) estudaram a combinação dos efeitos do aquecimento, pressão e ultra-som na inativação da lipoxigenase, peroxidase e polifenoloxidase.

Thakur e Nelson (1997) abordaram o efeito do tempo, pH e frequência de ultra-som na inativação da lipoxigenase em suspensão de farinha de soja. Amostras foram tratadas com HCl e outras com NaOH, sendo todas expostas ao ultra-som. A inativação da lipoxigenase na farinha de soja foi influenciada pelo tempo de exposição, pH e frequência do ultra-som, sendo o pH o fator mais importante. A enzima permaneceu estável em pH superior a 5, diminuindo sua atividade em pH menor ou igual a 5, com o aumento do tempo de exposição.

Lipoxigenase em soja é geralmente inativada por aquecimento, cotilédones de soja requerem 10 minutos a 80-100°C (WILKENS et al., 1967) e feijão necessita de 20 minutos a 100°C (NELSON et al., 1971) ou 15 minutos a 82,5° C (BAKER; MUSTAKAS, 1973). Estes tempos são maiores que os 3 minutos encontrado por Synder (1973) para a inativação da lipoxigenase. De acordo com Bookwalter et al. (1971), o aquecimento a seco é menos eficiente que o aquecimento úmido para a destruição das enzimas. O aquecimento a seco requerido para inativar a lipoxigenase em soja ou cotilédones de soja tem sido relatado, pois afeta a qualidade nutricional, a propriedade funcional e a aceitabilidade da farinha de soja (KLOSE et al., 1948 e WILKENS et al., 1967).

Henderson et al. (1991) investigaram as condições de tempo e temperatura necessárias para a inativação térmica da lipoxigenase na farinha de ervilha. A farinha de ervilha com 9,6% de umidade foi tratada em estufa de ar forçado a 90-130°C por 5-45 minutos, resultando na inativação da lipoxigenase. Odores indesejáveis não foram detectados em nenhuma das amostras aquecidas. Quando exposta a 60°C, aproximadamente 70% da atividade de lipoxigenase foi perdida após 15 minutos, 84%

após 25 minutos e 86% após 30 minutos. A completa inativação foi detectada a 65°C por 25 minutos, 70°C por 25 minutos e 80°C por 15 minutos.

Willians et al. (1986) demonstraram que 70% da atividade de lipoxigenase em ervilha incubada a 60°C foi perdida após 10-15 minutos, porém o restante 30% da atividade permaneceu estável após 36 minutos de aquecimento, sugerindo a presença de pelo menos duas isoenzimas com diferentes estabilidades térmicas. Entretanto, os resultados obtidos por Henderson et al. (1991) a 60°C não demonstraram convincentemente a presença de isoenzimas da lipoxigenase na farinha de ervilha.

A estabilidade da lipoxigenase tem sido demonstrada em farinha de feijão tratada a 80-100°C (HINCHCLIFFE et al., 1977) e em soja tratada a 80-100°C (WILKENS et al., 1967 e MUSTAKAS et al., 1969).

### **3.3. Bolos**

Os bolos são produtos de panificação bastante apreciados, seja como sobremesa ou lanches. Apresentam-se em diferentes formatos, sabores e textura, variando com a formulação ou com o método empregado na fabricação (EL-DASH; GERMANI, 1994).

Embora não constitua alimento básico como o pão, o bolo é aceito e consumido por pessoas de qualquer idade. Sua longa vida de prateleira permite que sejam produzidos em grande quantidade e largamente distribuídos (BRUNO; CAMARGO, 1995 e CHEVALLIER et al., 2000).

Trata-se de um produto obtido pela mistura, homogeneização e cozimento conveniente de massa preparada com farinhas, fermentadas ou não e outras substâncias (como por exemplo, açúcar, leite, ovos e gordura). A farinha de trigo constitui o principal

componente das formulações por fornecer a matriz em torno da qual os demais ingredientes são misturados para formar a massa (EL-DASH; CARMARGO, 1982).

As farinhas de trigo destinadas à produção de bolos, geralmente, são moídas a partir das variedades de trigo vermelho mole de inverno ou branco mole de inverno. Estas variedades permitem teores de proteína de  $8,5 \pm 0,5\%$ , cinzas de  $0,36 \pm 0,04\%$  e tamanho de partícula de  $10 \pm 0,5 \mu\text{m}$ . A característica principal da farinha para bolo é um baixo teor de proteína com características de força moderada. A absorção de água desejada, neste caso, está relacionada à alta capacidade da farinha carregar os líquidos e é mais influenciada pelo tamanho e uniformidade das partículas obtidas na moagem e tratamento aplicado à farinha do que pelo conteúdo de proteína presente (PYLER, 1988).

De acordo com Leflécher e Robson (2000), uma massa de bolo “ready-to-bake”, massa de bolo auto-estável constituída essencialmente de farinha, gordura, açúcar, ovos, água e aditivos, foi desenvolvida com vida de prateleira estável a temperatura ambiente por não menos que quatro meses. A massa desta invenção apresentou atividade de água menor que 0,85, preferencialmente 0,81-0,83, e conteúdo de água de 18-25%, preferencialmente 20-23%. A massa foi embalada em atmosfera de gás inerte contendo menos que 4%, preferencialmente menos que 2% de oxigênio residual.

A massa líquida de bolo é conhecida por necessitar de conservação química e baixa temperatura para se manter estável durante a estocagem. No entanto, Leflécher e Robson (2000) desenvolveram uma massa “ready-to-bake” e relataram que além das características mencionadas acima, especial cuidado deve ser tomado com os seguintes itens:

- i. Os agentes de crescimento devem ser microencapsulados, preferencialmente com material hidrofóbico como óleo de algodão, para se manterem estáveis durante o armazenamento da massa. Apenas devem

ser ativados durante o forneamento em altas temperaturas quando atingirem valores superiores a 60°C.

- ii. Na seleção de farinha de trigo inativada enzimaticamente, as atividades de alfa-amilase e lipase devem ser essencialmente zero e, a atividade de peroxidase deve ser reduzida mais que 90%. Preferencialmente, a farinha deve também não apresentar atividade de lipoxigenase. No tratamento térmico da farinha de trigo para inativação das enzimas, a pré-gelatinização do amido deve ser evitada, pois pode causar dificuldade no espalhamento da massa.

## 4. Material e métodos

### 4.1. Material

Nesta pesquisa, foram utilizadas as seguintes matérias-primas para a obtenção das farinhas tratadas termicamente e produção de bolos a partir destas últimas:

- Farinha de trigo Propan 85, fornecida por Bunge Alimentos S/A – Tatuí/SP;
- Amido de milho regular, fornecido pela Adram S/A – Faxinal/PR;
- Açúcar cristal, fornecido pela Usina São João Açúcar e Álcool S/A – Araras/SP;
- Bicarbonato de sódio, fornecido pela Makeni Chemical Ltda – Diadema/SP;
- Pirofosfato ácido de sódio, fornecido pela ICL do Brasil Ltda – São Paulo/SP;
- Sal refinado iodado, fornecido pela Romani Refinadora Ltda – Curitiba/PR;
- Gordura vegetal hidrogenada, fornecida pela Triângulo Alimentos Ltda – Itápolis/SP;
- Aroma de baunilha, fornecida pela Givaudan do Brasil Ltda – São Paulo/SP;
- Ovo líquido, fornecido pela Granja Ovos Pupo Ltda – Jundiaí/SP.

## **4.2. Métodos**

### **4.2.1. Caracterização química, enzimática e reológica da farinha de trigo com e sem tratamento térmico**

#### **4.2.1.1. Composição centesimal**

##### **4.2.1.1.1. Umidade**

O teor de umidade foi determinado por secagem da amostra, em triplicata, em estufa a 130°C por uma hora, segundo o método nº 92 5.49B da AOAC (2005).

##### **4.2.1.1.2. Proteínas**

A proteína foi determinada, em triplicata, segundo o método nº 920.152 da AOAC (2005).

##### **4.2.1.1.3. Lipídios**

A determinação de lipídios foi realizada, em triplicata, de acordo com o método nº 034B do Instituto Adolfo Lutz (2005).

#### **4.2.1.1.4. Cinzas**

A porcentagem de cinzas foi determinada, em triplicata, segundo o método nº 925.49C da AOAC (2005).

#### **4.2.1.1.5. Fibra Alimentar Total (FAT)**

O teor de fibras totais foi determinado, em triplicata, utilizando-se o método nº 985.29 da AOAC (2005).

#### **4.2.1.1.6. Carboidratos**

Foram calculados por diferença, não considerando o teor de fibra alimentar total.

### **4.2.1.2. Atividade Enzimática**

#### **4.2.1.2.1. Atividade de Peroxidase**

Foi determinada, em triplicata, segundo Ekstrand et al. (1992), utilizando-se o espectrofotômetro, com algumas modificações. Uma amostra de 0,25 miligramas foi dissolvida em 25 mililitros diluição tampão Tris (hidroximetil) aminometano – HCl, 0,2M, pH 8,5, seguido de agitação por 10 minutos com agitador magnético e centrifugação a 3000 rpm por 15 minutos. A seguir, 0,5 mililitros do sobrenadante foi misturado com 3 mililitros de substrato (guaiacol 50mM + 5% de etanol em solução tampão acetato de

sódio 0,05M, pH 5,0) e a reação foi iniciada com 7 mililitros de 2,5 mM de peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) na própria cubeta. A leitura foi realizada depois da inversão rápida da cubeta, a 420 nm.

#### **4.2.1.3. Análises reológicas**

##### **4.2.1.3.1. Número de queda**

Foi determinado utilizando-se o aparelho *Falling Number* da *Perten Instruments*, segundo o método nº 56-81B da AACCC (1995), utilizando-se 7 g de amostra, adicionada de 25 mL de água destilada, seguido de agitação vigorosa antes do início do teste.

Para realização desta análise, a umidade das amostras foi corrigida e padronizada em 14%.

##### **4.2.1.3.2. Características farinográficas**

As características farinográficas foram avaliadas de acordo com o método nº 54-21 da AACCC (1995), utilizando-se Farinógrafo Brabender.

A partir do farinograma, foram analisados os seguintes parâmetros:

- *Absorção de água*: definida como a quantidade de água requerida (g/100g de farinha) para que a massa atinja a consistência ótima de 500 UF no ponto máximo (o centro da banda deve coincidir com a linha de 500 UF no pico da curva);

- *Tempo de chegada*: definido como o tempo em minutos requerido para que o topo da banda alcance a linha de 500 UF, a partir do início da adição de água;

- *Tempo de desenvolvimento*: definido como o tempo em minutos que a massa leva para atingir o ponto de máxima consistência, representado pelo pico máximo da curva;

- *Estabilidade*: definido como o intervalo de tempo, em minutos, no qual o topo da banda permanece acima da linha dos 500 UF.

- *Índice de tolerância à mistura*: calculado através da diferença em UF entre o pico máximo da curva e o topo da curva após 4 minutos da mesma ter atingido o pico máximo. Quanto maior essa diferença, menor a tolerância à mistura.

#### **4.2.1.3.3. Características extensográficas**

Foram determinadas as propriedades extensográficas da farinha de trigo segundo o método nº 54-10 da AACCC (1995), utilizando-se o extensógrafo Brabender.

A partir do extensograma, foram analisados os seguintes parâmetros:

- *Resistência à extensão ou elasticidade (R)*: definida como a altura da curva em UE (Unidades Extensográficas) a 50 mm do seu início;

- *Resistência Máxima (Rm)*: corresponde à altura máxima da curva em UE;

- *Extensibilidade (E)*: definida como o comprimento em mm do início ao fim da curva;

- *Número Proporcional (D)*: calculado a partir da razão  $Rm/E$ .

#### **4.2.2. Tratamento térmico da farinha de trigo**

Foram distribuídas uniformemente 2 Kg de farinha de trigo em bandejas de alumínio de 600 mm de comprimento e 400 mm de largura, de modo a formar uma camada de material de aproximadamente 1 cm. A seguir, sofreram tratamento térmico em forno de convecção (estufa de ar forçado), marca Nova Ética, modelo 400 ND (Vargem Grande Paulista/SP, Brasil).

Após o tratamento térmico, as farinhas foram desintegradas em moinho martelo, marca Tigre, modelo CV2 (São Paulo/SP, Brasil) para redução e padronização da granulometria.

#### **4.2.3. Planejamento experimental**

O estudo do efeito do tratamento térmico nas propriedades reológicas e na atividade enzimática da farinha de trigo foi realizado utilizando-se planejamento experimental composto central rotacional  $2^3$ , aplicando Metodologia de Superfície de Resposta para análise dos resultados.

As três variáveis independentes, estabelecidas em 3 níveis codificados (-1; 0 e +1), foram: (i) tempo de tratamento térmico (minutos); (ii) temperatura de tratamento (°C) e (iii) umidade inicial da farinha de trigo. Os valores reais correspondentes a estes níveis são apresentados na Tabela 3 e a matriz do planejamento com os valores codificados, na Tabela 4.

No total, foram realizados 24 tratamentos, sendo 8 pontos fatoriais (combinações dos níveis -1 e +1), 6 axiais ( $-\alpha$  e  $+\alpha$ ) e 10 repetições no ponto central (0).

As farinhas tratadas, conforme as condições de cada ensaio do planejamento experimental foram aplicadas em bolo tipo inglês de acordo como o item 4.2.4.1., sempre comparadas com a farinha padrão sem tratamento.

As seguintes variáveis dependentes foram avaliadas: (i) número de queda, conforme procedimento descrito anteriormente no item 4.2.1.3.1.; (ii) parâmetros de qualidade do bolo tipo inglês, obtidos com a aplicação das farinhas de trigo tratadas, conforme metodologias descritas no item 4.2.4.2., a seguir.

A farinha de trigo tratada termicamente, produzida na faixa definida com melhor condição do processo térmico, foi caracterizada quanto à atividade enzimática e propriedades reológicas, de acordo com os itens 4.2.1.2. e 4.2.1.3., respectivamente. E, foi aplicada em bolo tipo inglês para avaliação sensorial comparada com o bolo tipo inglês produzido com farinha de trigo sem tratamento, de acordo com o procedimento do item 4.2.4.3..

**Tabela 3.** Variáveis independentes e níveis de variação do planejamento experimental.

Variáveis	Níveis de variação				
	$-\alpha$	-1	0	+1	$+\alpha$
$X_1$ - Tempo (minutos)	10	30,1	60	89,9	110
$X_2$ - Temperatura (°C)	90	108,2	135	161,8	180
$X_3$ - Umidade (% p/p)	8	12,4	19	25,6	30

Onde:  $|\pm\alpha| = 1,68$

**Tabela 4.** Matriz do planejamento experimental com os valores codificados das variáveis independentes.

Ensaio	Variáveis independentes		
	$x_1$	$x_2$	$x_3$
1	-1	-1	-1
2	1	-1	-1
3	-1	1	-1
4	1	1	-1
5	-1	-1	1
6	1	-1	1
7	-1	1	1
8	1	1	1
9	$-\alpha$	0	0
10	$+\alpha$	0	0
11	0	$-\alpha$	0
12	0	$+\alpha$	0
13	0	0	$-\alpha$
14	0	0	$+\alpha$
15 (C)	0	0	0
16 (C)	0	0	0
17 (C)	0	0	0
18 (C)	0	0	0
19 (C)	0	0	0
20 (C)	0	0	0
21 (C)	0	0	0
22 (C)	0	0	0
23 (C)	0	0	0
24 (C)	0	0	0

Sendo:  $x_1$  = Tempo de tratamento (minutos);  $x_2$  = Temperatura da estufa (°C);  $x_3$  = Umidade inicial da farinha (% p/p);  $|\pm\alpha| = 1,68$ ; (C) = ponto central.

#### 4.2.4. Aplicação das farinhas de trigo tratadas termicamente em bolo tipo inglês e sua caracterização

##### 4.2.4.1. Aplicação das farinhas tratadas em bolo tipo inglês

As farinhas tratadas termicamente foram aplicadas em bolo tipo inglês de acordo com a formulação sugerida pela Patente Leflécher e Robson (2000), com modificações, apresentada na Tabela 5. Uma farinha padrão, sem tratamento, foi aplicada paralelamente.

**Tabela 5.** Formulação de bolo tipo inglês.

<b>Ingredientes</b>	<b>Formulação*</b>
Farinha de trigo	100
Amido de milho	15,4
Açúcar cristal	117,4
Bicarbonato de sódio	0,6
Pirofosfato ácido de sódio	0,7
Sal refinado iodado	0,85
Gordura vegetal hidrogenada	69,5
Ovo líquido	130,4
Aroma de baunilha	0,2

\* % com relação à massa de farinha.

Todos os ingredientes foram inseridos simultaneamente no recipiente de uma batedeira Amadio tipo 20, série LA (São Paulo/SP, Brasil) e misturados na velocidade 2

(média) por 3 minutos, utilizando batedor tipo raquete. Em seguida, a velocidade de mistura foi aumentada para o nível 3 (rápida) por mais 3 minutos.

Foram distribuídos 400 g de massa por forma de alumínio de 200 mm de comprimento e 90 mm de largura.

O forneamento foi realizado a 200°C por 45 minutos em forno elétrico de teto e lastro Perfecta, modelo Modulare (Curitiba/PR, Brasil).

#### **4.2.4.2. Caracterização dos bolos**

Após resfriamento de 24 horas e desenformagem, os bolos foram caracterizados conforme os parâmetros descritos nos itens a seguir.

##### **4.2.4.2.1. Peso específico da massa (g/mL)**

O peso específico da massa de bolo foi determinado em triplicata de acordo com o procedimento nº 72-10 da AACCC (1995).

##### **4.2.4.2.2. Volume específico do bolo tipo inglês (cm<sup>3</sup>/g)**

O volume específico foi determinado pelo método 10-11 da AACCC (2000) com modificações. Após a pesagem das amostras em balança semi-analítica (Ohaus, modelo TP4KD, Nova Jersey, EUA), o volume dos bolos foi medido, em triplicata, pelo método de deslocamento de semente de colza, no equipamento Medidor Volumétrico (Vondel Ind. e

Com., modelo MDMV03, São José dos Pinhais/PR, Brasil). O cálculo do volume específico foi realizado utilizando a equação abaixo:

$$V_{esp} = \frac{V}{m} \quad [1]$$

Onde:

$V_{esp}$  é o volume específico (cm<sup>3</sup>/g);

$V$  é o volume do bolo (cm<sup>3</sup>);

$m$  é a massa do bolo (g).

#### 4. 2.4.2.3. Cor do miolo

A cor do miolo foi determinada segundo o método de triestímulos (XYZ) com o sistema CIELab  $L^* a^* b^*$  (MINOLTA, 1994), utilizando-se o espectrofotômetro *Color Quest II Hunterlab*.

Os parâmetros avaliados foram: (i)  $L$ , medida da luminosidade de um material que varia do zero (para o preto) até 100 (para o branco); (ii)  $a$ , medida do vermelho ( $a$  positivo) ou do verde ( $a$  negativo); (iii)  $b$ , medida do amarelo ( $b$  positivo) e do azul ( $b$  negativo).

O cálculo da diferença total de cor entre a farinha sem tratamento e as farinhas tratadas foi realizado utilizando a equação abaixo:

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad [2]$$

Onde:

$\Delta E^*$  é o número que determina a diferença total de cor entre a farinha sem tratamento e as farinhas tratadas;

$$\Delta L^* = L^*_{\text{farinha sem tratamento}} - L^*_{\text{farinha tratada}};$$

$$\Delta a^* = a^*_{\text{farinha sem tratamento}} - a^*_{\text{farinha tratada}};$$

$$\Delta b^* = b^*_{\text{farinha sem tratamento}} - b^*_{\text{farinha tratada}};$$

Foi determinado também o espaço  $L^* C^* h^\circ$ , segundo o sistema CIELCh. Os parâmetros avaliados foram: (i) **L**, medida da luminosidade de um material que varia do zero (para o preto) até 100 (para o branco); (ii) **C**, medida de saturação (distância radial do centro do espaço até o ponto da cor); (iii) **h**, medida do ângulo total dentro do espaço  $L^* C^* h^\circ$ .

#### 4.2.4.2.4. Dureza instrumental do miolo

Um dia após o forneamento, os bolos foram previamente cortados em fatias de 1,25 cm cada, com um fatiador elétrico GPaniz, modelo FP12S (Caxias do Sul, Brasil).

A dureza dos bolos foi avaliada em um texturômetro TA XT Plus *Texture Analyser* (marca *Stable Micro Systems*, Surrey, Inglaterra), utilizando-se o método *AACC Cake Compression* - PAN1\_P36R.PRJ, com célula sensor *probe* de alumínio P 36/R e com os seguintes parâmetros de operação: velocidade pré-teste = 1,0 m/s,; velocidade de teste =

1,7 m/s; velocidade pós-teste = 10,0 m/s; força = 5 g; ciclo de contagem = 5 segundos e com medida de força em compressão.

Esta análise foi realizada utilizando duas fatias centrais sobrepostas. As análises foram realizadas em 6 replicatas.

#### **4.2.4.3. Análise Sensorial**

A avaliação sensorial dos bolos foi realizada um dia após o forneamento de acordo com o procedimento estabelecido no método nº 10-91 da AACC (1995). Trinta e seis provadores não treinados avaliaram as amostras utilizando uma escala hedônica de 7 pontos, sendo os extremos de valor 1 atribuído ao termo “desgostei muito” e de valor 7 atribuído ao termo “gostei muito”. Os atributos avaliados foram: aparência global, aparência do miolo, textura e sabor.

Os ensaios sensoriais foram realizados em cabines individuais de degustação, com luz branca. As amostras foram entregues aos provadores monodicamente, em pratos plásticos, codificados com número de três dígitos. A ordem de apresentação das amostras e o número de provadores foram baseados no delineamento proposto por Macfie e Bratchell (1989), que considera o balanceamento dos efeitos “first-order, carry-over”.

Os provadores também expressaram sua intenção de compra em uma escala que variava desde o termo “certamente compraria” até o termo “certamente não compraria”. A ficha de avaliação utilizada pelos provadores encontra-se no Anexo A.



## 5. Resultados e discussão

### 5.1. Caracterização da farinha de trigo

#### 5.1.1. Composição centesimal

Os resultados obtidos relativos à composição centesimal da farinha de trigo utilizada neste trabalho encontram-se na Tabela 6.

**Tabela 6.** Composição centesimal da farinha de trigo\*.

<b>Componentes</b>	<b>Quantidade (% base úmida)</b>
Umidade	13,54 ± 0,04
Proteínas	10,17 ± 0,16
Lipídios	1,54 ± 0,03
Cinzas	0,68 ± 0,01
Fibra alimentar total	2,93 ± 0,07
Carboidratos	74,07

\*Média e estimativa de desvio padrão de triplicatas.

Verifica-se que a farinha de trigo utilizada apresenta valores de componentes químicos similares aos dados encontrados da literatura (MATX, 1960; EL-DASH, 1982; LEITÃO et al., 1989; DENDY; DOBRASCZYK, 2001).

## 5.1.2. Atividade enzimática

### 5.1.2.1. Atividade de peroxidase

Segundo Youngs (1986), a peroxidase é capaz de decompor hidroperóxidos em compostos hidroxilados de baixa massa molecular, responsáveis pelo sabor amargo. É uma enzima excepcionalmente estável ao calor e a sua ausência, após o tratamento térmico em alimentos, é frequentemente utilizada como indicador de desnaturação das demais enzimas (ADAMS, 1991).

Comparando a atividade da peroxidase do trigo, milho, centeio e arroz, Wallerstein et al. (1948) constaram que o trigo é o cereal que contém a maior atividade enzimática.

A Tabela 7 apresenta a atividade de peroxidase determinada na farinha de trigo utilizada. Segundo Honold et al. (1967), os valores aproximados detectados da atividade de peroxidase no grão de trigo e farinha de trigo foram: 5,6 e 1,2 U/ g, respectivamente.

**Tabela 7.** Atividade enzimática da farinha de trigo\*.

<b>Amostra</b>	<b>Atividade de peroxidase (U/ g)</b>
Farinha de trigo	1,67 ± 0,00

\*Média e estimativa de desvio padrão de triplicatas. U = quantidade consumida de 1 µmole de peróxido de hidrogênio por minuto.

### 5.1.3. Análises reológicas

#### 5.1.3.1. Número de queda

O número de queda, também chamado de Falling number, avalia indiretamente a atividade da alfa-amilase, bem como fornece informações sobre as propriedades viscoelásticas do amido gelatinizado de uma suspensão farinácea durante o processo de aquecimento.

A estrutura do amido de grãos de trigo danificados torna-se mais susceptível à ação de amilases, tendo como consequência uma diminuição do poder de gelatinização do amido durante o aquecimento (AL-MAHANESH e RABABEH, 2007; XU et al., 2007).

Baixos valores de número de queda podem estar relacionados à elevada ação da alfa-amilase, de modo que as farinhas com altos teores desta enzima tendem a fornecer produtos pegajosos e de baixo volume. Ainda, altos teores de alfa-amilase em farinhas de trigo têm sido relacionados a três fatores principais: (i) germinação antecipada do grão de trigo imaturo; (ii) síntese de alfa-amilase durante a maturação retardada do grão, e (iii) germinação do grão após a superação da dormência devido à colheita atrasada (INDRANI; RAO, 2007; XU et al., 2007).

O resultado obtido na análise do número de queda para a farinha de trigo que foi utilizada como matéria-prima neste estudo pode ser observado na Tabela 8.

**Tabela 8.** Número de queda da farinha de trigo\*.

<b>Amostra</b>	<b>Número de queda (s)</b>
Farinha de trigo	277 ± 3,21

\*Média e estimativa de desvio padrão de triplicatas.

Valores de Falling number entre 200 e 300 segundos indicam atividade de alfa-amilase ótima com bom desempenho na panificação (BIONDI, 2003). Um valor de 65 segundos indica alta atividade de alfa-amilase e produção de pães com miolos pegajosos. Altos valores de falling number, na faixa de 400 segundos, indicam pouca atividade de alfa-amilase para panificação (POSNER; HIBBS, 1999). Para aplicações em processos que não envolvem fermentação biológica, o valor do número de queda não é importante.

Na produção de bolos, geralmente, a atividade enzimática não apresenta efeito devido ao curto tempo entre as etapas de batimento da massa e forneamento (PYLER, 1988). No entanto, este parâmetro pode ser utilizado para avaliar a atividade desta enzima na farinha de trigo, como no presente estudo onde a inativação foi avaliada após tratamento térmico desta matéria-prima.

O valor obtido mostra que a farinha de trigo utilizada é recomendada para aplicação na panificação. Costa et al. (2008), durante a avaliação da qualidade tecnológica de grãos e farinhas de trigo nacionais e internacionais, relataram que para os grãos de trigo o número de queda variou de 164,1 a 223,78 segundos e para as farinhas de trigo variou de 231,3 a 279,3 segundos.

#### **5.1.3.2. Características farinográficas**

A farinografia, pela análise dos parâmetros: absorção de água, tempo de desenvolvimento e estabilidade, avalia a qualidade de uma farinha no que se refere a sua capacidade de absorver água e resistir durante a mistura/amassamento (COSTA et al., 2008).

A classificação da farinha de trigo quanto à força do glúten, segundo Biondi (2003), é apresentada na Tabela 9.

**Tabela 9.** Classificação da farinha de trigo quanto à força, de acordo com suas características farinográficas.

<b>Farinha</b>	<b>Absorção de Água (%)</b>	<b>Tempo de desenvolvimento (min)</b>	<b>Estabilidade (min)</b>	<b>ITM (UB)</b>
<b>Fraca</b>	<55	<2,5	<3	>100
<b>Média</b>	54-60	2,5-4,0	3-8	60-100
<b>Forte</b>	>58	4,0-8,0	8-15	15-50
<b>Muito Forte</b>	>58	>10,0	>15	<10

Fonte: Biondi (2003). UB = Unidades Brabender.

Os resultados farinográficos da farinha de trigo utilizada neste trabalho estão apresentados na Tabela 10 e podem ser melhor visualizados pelo farinograma apresentado no Anexo B.

**Tabela 10.** Características farinográficas da farinha de trigo\*.

<b>Parâmetros</b>	<b>Farinha de trigo</b>
Absorção de água (%)	58,0 ± 0,00
Tempo de chegada (min)	1,0 ± 0,00
Tempo de desenvolvimento (min)	7,3 ± 0,29
Tempo de saída (min)	11,7 ± 0,29
Estabilidade (min)	10,7 ± 0,29
Índice de tolerância à mistura (UB)	46,7 ± 5,77

\*Média e estimativa de desvio padrão de triplicatas. UB = Unidades Brabender.

De acordo com os parâmetros farinográficos apresentados, a farinha de trigo avaliada pode ser classificada como uma farinha forte.

O tempo de desenvolvimento da massa indica a qualidade da proteína. Farinhas fortes normalmente requerem maior tempo de desenvolvimento que farinhas fracas (PYLER, 1988; QUALGLIA, 1991). A farinha estudada apresentou para o tempo de desenvolvimento um valor de 7,3 minutos que é característico de farinhas fortes.

Com relação ao ITM (índice de tolerância à mistura), a farinha apresentou valor de 46,3 UB. Farinhas que apresentam boa tolerância à mistura revelam menor ITM.

### **5.1.3.3. Características extensográficas**

A extensibilidade e a resistência à extensão da massa são geralmente estimadas por parâmetros do extensograma (CHINACHOTI; VODOVOTZ, 2001), os quais podem classificar a farinha de acordo com sua força: fraca, média, forte e muito forte (HOSENEY, 1998).

De acordo com Biondi (2003), em geral, farinhas fortes apresentam valores de número proporcional (D) maiores que 2,5, enquanto que farinhas fracas apresentam D inferior a 1,0. Já, os valores característicos de resistência à extensão (R), resistência máxima (Rm) e extensibilidade (E) para farinhas fortes e fracas são, respectivamente: 560 e 130 UB; 840 e 130 UB e 155 e 180 mm. Os parâmetros extensográficos usados para avaliar a qualidade da farinha são relativos ao tempo de descanso de 135 minutos.

Como pode ser observado na Tabela 11 e visualizado pelo extensograma apresentado no Anexo C, a farinha estudada apresentou valor de D superior a 2,5. Portanto, é classificada como farinha forte. Este resultado está de acordo com os

resultados obtidos para as características farinográficas e com os parâmetros relatados por Hosney (1998).

**Tabela 11.** Características extensográficas da farinha de trigo\*.

Parâmetros	Farinha de Trigo			
	R (UB)	Rm (UB)	E (mm)	D (UB/mm)
Tempo de descanso				
45 minutos	453 ± 11,55	597 ± 5,77	126 ± 0,58	4 ± 0,05
90 minutos	760 ± 10	870 ± 17,32	105 ± 7,23	8 ± 0,17
135 minutos	823 ± 35,12	950 ± 17,32	89 ± 3	10 ± 1,33

\*Média e estimativa de desvio padrão de triplicatas. R = Resistência à extensão ou elasticidade; Rm = Resistência máxima; E = Extensibilidade; D = Número proporcional. UB = Unidades Brabender.

## 5.2. Tratamento térmico da farinha de trigo

### 5.2.1. Planejamento Experimental

Os resultados obtidos para o planejamento experimental com a farinha de trigo e a análise dos efeitos para cada uma das variáveis dependentes estão apresentados, a seguir, nas Tabelas 12 a 27.

#### 5.2.1.1. Número de queda

De acordo com a Tabela 12, os resultados do número de queda para os 24 ensaios variaram de 68 a 589 segundos. A variação nos pontos centrais, que avaliam a repetibilidade do processo foi de 331 a 404 segundos (valor médio de  $362 \pm 10,12$ ) e a farinha sem tratamento apresentou resultado de 277 segundos.

Chiqurupati e Pulverinti (1994) trabalharam com uma farinha classificada como fraca destinada à fabricação de biscoito, com número de queda de 377 segundos e umidade de 14% que foi tratada termicamente a 150°C por 90 minutos. Após o tratamento, apresentou número de queda igual a 444 segundos e umidade de 3,5%. Os autores concluíram que o aumento do número de queda ocorreu devido à redução significativa da atividade da alfa-amilase, não mencionando o grau de sua inativação.

Hampton et al. (1975) relataram um aumento de 85% no número de queda da farinha tratada termicamente a 146°C por 60 minutos. A umidade da farinha sem tratamento foi de 11% e após o tratamento 4,6%.

Os ensaios 5, 9, 11 e 14 apresentaram número de queda inferior à farinha de trigo sem tratamento (259, 227, 267 e 68 segundos, respectivamente). Foram os ensaios que obtiveram maiores valores de umidade após o tratamento térmico: 18,10%, 15,78%, 12,46% e 16,59%. A umidade e o calor aplicado propiciaram a continuidade da atividade enzimática nestes ensaios.

Como a análise do número de queda não é quantitativa, não foi possível concluir que os ensaios mencionados acima apresentaram quantidade elevada de enzima quando comparados os demais ensaios.

Entende-se somente que o calor aplicado nestes tratamentos não são suficientes para a redução total da alfa-amilase.

**Tabela 12.** Número de queda (s) das farinhas tratadas do planejamento experimental e sua comparação com a farinha sem tratamento\*.

Ensaio	Variáveis Independentes			Variável Dependente
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	Número de queda (s)
<b>Farinha sem tratamento</b>	-	-	-	$277 \pm 3,21$
<b>1</b>	-1	-1	-1	$274 \pm 4,73$
<b>2</b>	1	-1	-1	$291 \pm 4,04$
<b>3</b>	-1	1	-1	$330 \pm 3,06$
<b>4</b>	1	1	-1	$589 \pm 32,52$
<b>5</b>	-1	-1	1	$259 \pm 2,52$
<b>6</b>	1	-1	1	$306 \pm 2,08$
<b>7</b>	-1	1	1	$351 \pm 6,56$
<b>8</b>	1	1	1	$480 \pm 26,35$
<b>9</b>	$-\alpha$	0	0	$227 \pm 3,61$
<b>10</b>	$+\alpha$	0	0	$401 \pm 15,59$
<b>11</b>	0	$-\alpha$	0	$267 \pm 6,81$
<b>12</b>	0	$+\alpha$	0	$519 \pm 35,28$
<b>13</b>	0	0	$-\alpha$	$308 \pm 23,26$
<b>14</b>	0	0	$+\alpha$	$68 \pm 0,00$
<b>15 (C)</b>	0	0	0	$348 \pm 3,51$
<b>16 (C)</b>	0	0	0	$333 \pm 7,37$
<b>17 (C)</b>	0	0	0	$377 \pm 5,51$
<b>18 (C)</b>	0	0	0	$392 \pm 23,46$
<b>19 (C)</b>	0	0	0	$351 \pm 15,52$
<b>20 (C)</b>	0	0	0	$349 \pm 15,0$
<b>21 (C)</b>	0	0	0	$404 \pm 6,66$
<b>22 (C)</b>	0	0	0	$390 \pm 5,0$
<b>23 (C)</b>	0	0	0	$346 \pm 5,03$
<b>24 (C)</b>	0	0	0	$331 \pm 14,11$

Sendo:  $x_1$  = Tempo de tratamento (minutos);  $x_2$  = Temperatura da estufa (°C);  $x_3$  = Umidade inicial da farinha (%). \*Média e estimativa de desvio padrão de triplicatas.

A Tabela 13 apresenta os coeficientes de regressão para a resposta número de queda e seus respectivos p-valores. Os coeficientes em itálico e sublinhados são estatisticamente significativos ( $p < 0,05$ ). Avaliando o efeito da variável independente, observamos que com exceção dos parâmetros tempo quadrático, temperatura quadrática e das interações tempo e umidade e temperatura e umidade, todos os demais parâmetros do modelo foram significativos.

**Tabela 13.** Análise dos efeitos das variáveis independentes no número de queda ( $R^2 = 0,85$ ).

<b>Parâmetros</b>	<b>Efeitos</b>	<b>Erro puro</b>	<b>t(14)</b>	<b>p-valor</b>
Média	<u>360,7627</u>	<u>15,8753</u>	<u>22,7246</u>	<u>0,000000</u>
Tempo (L)	<u>54,5488</u>	<u>13,5926</u>	<u>4,0131</u>	<u>0,001283</u>
Tempo (Q)	-3,4409	12,4716	-0,2759	0,786654
Temperatura (L)	<u>76,4069</u>	<u>13,5926</u>	<u>5,6211</u>	<u>0,000063</u>
Temperatura (Q)	24,6076	12,4716	1,9730	0,068563
Umidade (L)	<u>-36,0232</u>	<u>13,5926</u>	<u>-2,6501</u>	<u>0,019022</u>
Umidade (Q)	<u>-47,9887</u>	<u>12,4716</u>	<u>-3,8478</u>	<u>0,001775</u>
Tempo x Temperatura	<u>40,3750</u>	<u>17,7596</u>	<u>2,2734</u>	<u>0,039279</u>
Tempo x Umidade	-12,2917	17,7596	-0,6921	0,500186
Temperatura x Umidade	-10,8750	17,7596	-0,6123	0,500186

**Tabela 14.** ANOVA para o número de queda.

<b>Fonte de variação</b>	<b>Soma dos quadrados</b>	<b>Graus de liberdade</b>	<b>Quadrado médio</b>	<b>F<sub>calc</sub></b>
Regressão	200658,1	9	22295,34	8,95
Resíduo	34840,6	14	2488,61	
Total	235498,7			

% variação explicada ( $R^2$ ) = 85;  $F_{9;14;0,05} = 2,65$ .

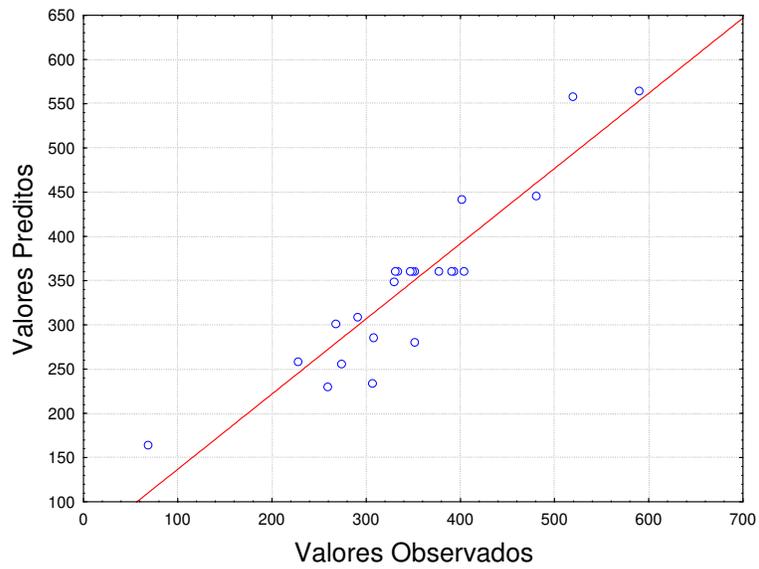
A ANOVA correspondente ao modelo (Tabela 14) apresentou uma variação explicativa de 85% e, no teste F, o valor calculado foi 3,38 vezes maior que o valor tabelado, a 95% de confiança.

Em vista dos resultados satisfatórios da ANOVA e um bom coeficiente de determinação (85%), pôde-se obter o modelo (Equação 3) que descreve a resposta número de queda com as variáveis codificadas.

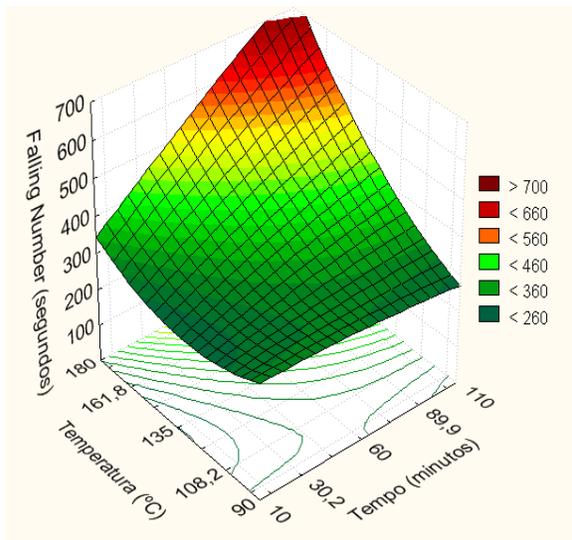
$$\begin{aligned} \text{Número de queda} = & 360,76 + 54,54x_1 + (-3,44)x_1^2 + 76,40x_2 + 24,60x_2^2 + (-36,02)x_3 \\ & + (-47,98)x_3^2 + 40,37x_1x_2 + (-12,29)x_1x_3 + (-10,87)x_2x_3 \end{aligned} \quad [3]$$

Onde  $x_1$  = Tempo de tratamento (minutos);  $x_2$  = Temperatura da estufa (°C);  $x_3$  = Umidade inicial da farinha (% p/p).

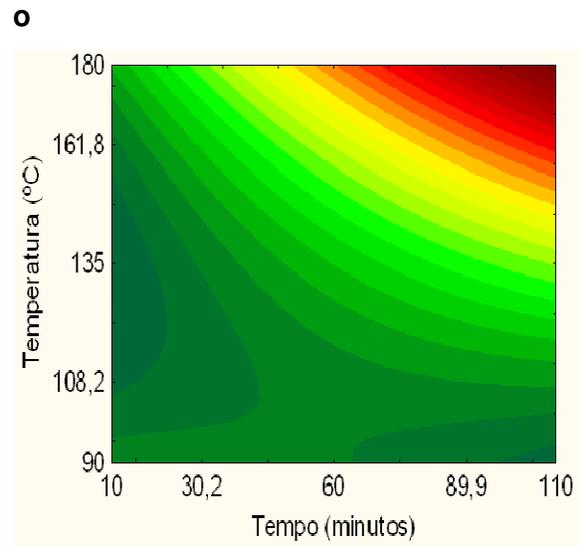
O modelo ajustado apresenta uma boa representatividade dos valores experimentais, o que pode ser confirmado pela Figura 1. No Anexo D, também pode ser verificados os valores experimentais, os preditos pelo modelo com as variáveis codificadas e os desvios relativos. Assim, foi possível construir as superfícies de respostas e curvas de contorno do número de queda da farinha de trigo, que são apresentadas na Figura 2.



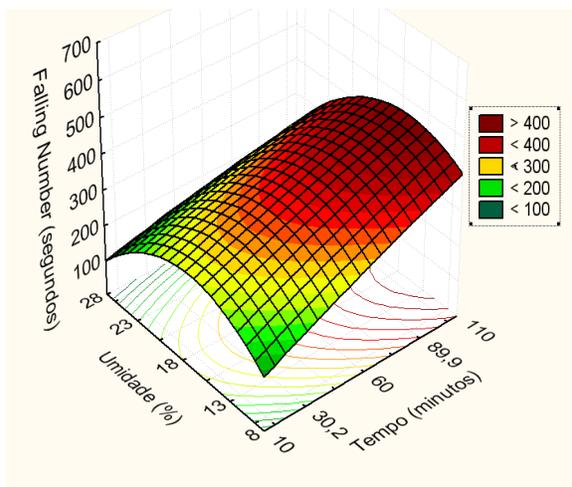
**Figura 1.** Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais do número de queda (segundos) das farinhas de trigo tratadas.



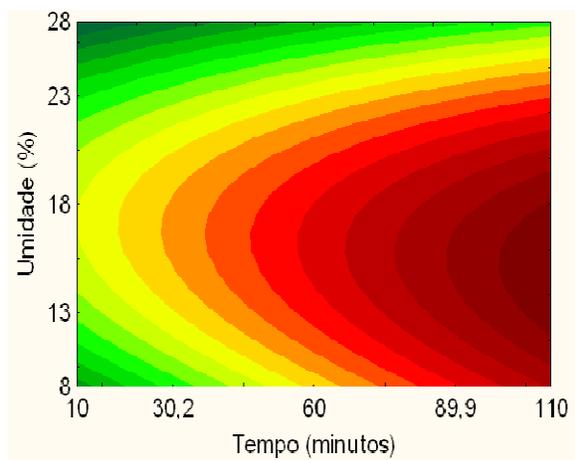
(a)



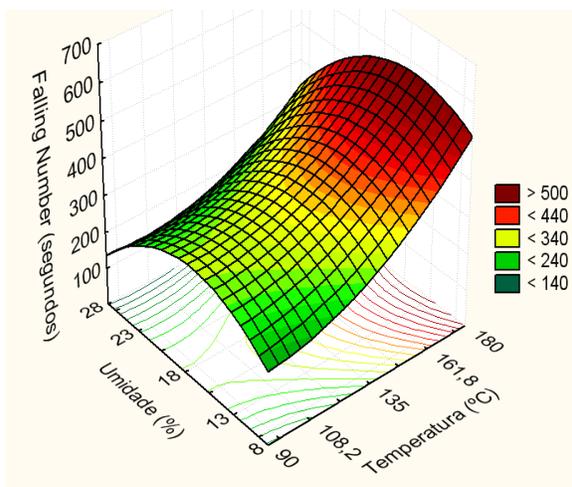
(b)



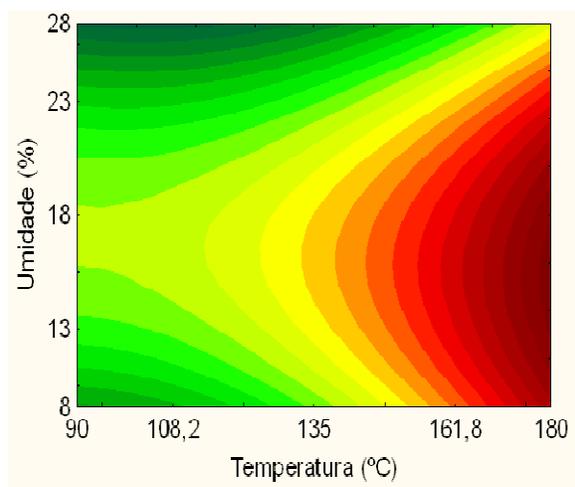
(c)



(d)



(e)



(f)

**Figura 2.** Superfícies de resposta e curvas de contorno para o número de queda em função do tempo e temperatura (a) e (b), do tempo e umidade (c) e (d) e da temperatura e umidade (e) e (f).

As superfícies de resposta e as curvas de contorno mostram que maiores valores de número de queda foram alcançados na faixa de umidade de 13 a 18%, tempo de exposição superior a 60 minutos e temperatura superior a 160°C.

A região de interesse neste estudo é aquela com maior valor de número de queda, que tende a indicar maior inativação da enzima alfa-amilase.

#### **5.2.1.2. Peso específico da massa e volume específico do bolo**

A Tabela 15 apresenta os valores dos resultados do peso específico da massa (g/mL) e do volume específico do bolo (cm<sup>3</sup>/g) para todos os ensaios do planejamento.

Para o peso específico da massa, os resultados variaram de 0,82 a 0,95 g/mL e para o volume específico do bolo variaram de 1,72 a 2,83 cm<sup>3</sup>/g. A variação nos pontos centrais foi de 0,83 a 0,89 g/mL (valor médio de 0,86 ± 0,01 g/mL) para o peso específico da massa e 2,30 a 2,48 cm<sup>3</sup>/g (valor médio de 2,39 ± 0,24 cm<sup>3</sup>/g) para o volume específico do bolo e a farinha sem tratamento apresentou 0,99 g/mL e 2,46 cm<sup>3</sup>/g, respectivamente.

Çelik et al. (2007) encontraram peso específico de 0,71 g/mL para massa de bolo, valor próximo ao encontrado para a farinha sem tratamento.

Thomasson et al. (1995) estudaram o tratamento térmico de farinha de trigo em forno de convecção e avaliaram sua aplicação em bolo. Conduziram um planejamento experimental de superfície de resposta para determinar a combinação ótima dos parâmetros de tratamento: (i) umidade da farinha de trigo (0,64 a 7,40%); (ii) tempo de tratamento (5 a 55 minutos) e (iii) temperatura do forno de convecção (83 a 167 °C). Resultados semelhantes foram observados por estes autores que constataram que o volume do bolo aumentou conforme a umidade da farinha diminuiu, sendo que esta variável afetou consideravelmente o resultado final do bolo. O teor de umidade ótimo encontrado por estes autores foi bem menor que o apresentado neste trabalho, sendo possível de ser atingido somente pela secagem da farinha por liofilização.

Thomasson et al. (1995) chegaram a testar o tratamento térmico com níveis de umidade ao redor de 13% e notaram melhora no volume do bolo, mas os resultados foram melhores com teores inferiores a 7%.

Tanto para o peso específico da massa quanto para o volume específico do bolo o desejável foi obter valores com variações pequenas quando comparado ao bolo com farinha sem tratamento, podendo concluir que o processo térmico não interferiu nestes parâmetros de caracterização do bolo.

**Tabela 15.** Peso específico da massa (g/mL) e volume específico (cm<sup>3</sup>/g) do bolo tipo inglês obtidos com as farinhas tratadas do planejamento experimental e sua comparação com a farinha sem tratamento\*.

Ensaio	Variáveis Independentes			Variáveis Dependentes	
	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	Peso específico da massa (g/mL)	Volume específico (cm <sup>3</sup> /g)
	Farinha sem tratamento	-	-	-	0,99 ± 0,02
1	-1	-1	-1	0,95 ± 0,01	2,54 ± 0,33
2	1	-1	-1	0,87 ± 0,01	2,69 ± 0,29
3	-1	1	-1	0,93 ± 0,01	2,47 ± 0,16
4	1	1	-1	0,84 ± 0,01	2,83 ± 0,30
5	-1	-1	1	0,91 ± 0,01	1,72 ± 0,13
6	1	-1	1	0,88 ± 0,01	2,25 ± 0,11
7	-1	1	1	0,92 ± 0,01	1,73 ± 0,12
8	1	1	1	0,82 ± 0,01	2,49 ± 0,21
9	-α	0	0	0,86 ± 0,02	2,52 ± 0,27
10	+α	0	0	0,90 ± 0,01	2,23 ± 0,16
11	0	-α	0	0,94 ± 0,02	2,34 ± 0,18

<b>12</b>	0	+ $\alpha$	0	0,88 $\pm$ 0,01	1,88 $\pm$ 0,41
<b>13</b>	0	0	- $\alpha$	0,92 $\pm$ 0,01	2,60 $\pm$ 0,28
<b>14</b>	0	0	+ $\alpha$	0,90 $\pm$ 0,02	1,72 $\pm$ 0,16
<b>15 (C)</b>	0	0	0	0,83 $\pm$ 0,02	2,47 $\pm$ 0,23
<b>16 (C)</b>	0	0	0	0,86 $\pm$ 0,01	2,33 $\pm$ 0,23
<b>17 (C)</b>	0	0	0	0,84 $\pm$ 0,02	2,37 $\pm$ 0,26
<b>18 (C)</b>	0	0	0	0,87 $\pm$ 0,01	2,30 $\pm$ 0,21
<b>19 (C)</b>	0	0	0	0,85 $\pm$ 0,01	2,43 $\pm$ 0,19
<b>20 (C)</b>	0	0	0	0,89 $\pm$ 0,01	2,26 $\pm$ 0,18
<b>21 (C)</b>	0	0	0	0,83 $\pm$ 0,02	2,48 $\pm$ 0,41
<b>22 (C)</b>	0	0	0	0,86 $\pm$ 0,01	2,40 $\pm$ 0,35
<b>23 (C)</b>	0	0	0	0,88 $\pm$ 0,01	2,35 $\pm$ 0,11
<b>24 (C)</b>	0	0	0	0,88 $\pm$ 0,01	2,34 $\pm$ 0,25

Sendo:  $x_1$  = Tempo de tratamento (minutos);  $x_2$  = Temperatura da estufa ( $^{\circ}$ C);  $x_3$  = Umidade inicial da farinha

(%, p/p). \*Média e estimativa de desvio padrão de triplicatas.

Apesar de alguns efeitos serem estatisticamente significativos para estas respostas (Tabelas 16 e 17), ao nível de confiança de 90%, os valores são bastante inferior quando comparados à média. Isto se deve ao fato do erro puro ser muito baixo. Portanto, constatou-se que não é possível estabelecer um modelo de superfície de resposta para o peso específico da massa e para o volume específico do bolo em função das variáveis independentes estudadas.

**Tabela 16.** Análise dos efeitos das variáveis independentes no peso específico da massa  
( $R^2 = 0,56$ ).

<b>Parâmetros</b>	<b>Efeitos</b>	<b>Erro puro</b>	<b>t(14)</b>	<b>p-valor</b>
Média	<u>0,859242</u>	<u>0,009714</u>	<u>88,45852</u>	<u>0,000000</u>
Tempo (L)	<u>-0,017041</u>	<u>0,008317</u>	<u>-2,04900</u>	<u>0,059689</u>
Tempo (Q)	0,004845	0,007631	0,63486	0,535757
Temperatura (L)	<u>-0,014711</u>	<u>0,008317</u>	<u>-1,76884</u>	<u>0,098692</u>
Temperatura (Q)	<u>0,015451</u>	<u>0,007631</u>	<u>2,02482</u>	<u>0,062394</u>
Umidade (L)	-0,006856	0,008317	-0,82440	0,423539
Umidade (Q)	<u>0,015451</u>	<u>0,007631</u>	<u>2,02482</u>	<u>0,062394</u>
Tempo x Temperatura	-0,010000	0,010866	-0,92027	0,373019
Tempo x Umidade	0,005000	0,010866	0,46013	0,652486
Temperatura x Umidade	0,000000	0,010866	0,00000	1,000000

**Tabela 17.** Análise dos efeitos das variáveis independentes no volume específico do bolo  
( $R^2 = 0,72$ ).

<b>Parâmetros</b>	<b>Efeitos</b>	<b>Erro puro</b>	<b>t(14)</b>	<b>p-valor</b>
Média	<u>2,370391</u>	<u>0,061608</u>	<u>38,47551</u>	<u>0,000000</u>
Tempo (L)	<u>0,096089</u>	<u>0,052749</u>	<u>1,82163</u>	<u>0,089942</u>
Tempo (Q)	0,028515	0,048399	0,58917	0,565136
Temperatura (L)	-0,033216	0,052749	-0,62970	0,539035
Temperatura (Q)	-0,065177	0,048399	-1,34666	0,199486
Umidade (L)	<u>-0,279711</u>	<u>0,052749</u>	<u>-5,30267</u>	<u>0,000112</u>
Umidade (Q)	-0,047499	0,048399	-0,98141	0,343046
Tempo x Temperatura	0,055000	0,068920	0,79803	0,438183
Tempo x Umidade	0,097500	0,068920	1,41468	0,179017
Temperatura x Umidade	0,022500	0,068920	0,32646	0,748902

### 5.2.1.3. Dureza instrumental do miolo do bolo

De acordo com a Tabela 18, os resultados da dureza instrumental do miolo do bolo para os 24 ensaios variaram de 1011,42 a 5521,01 Kgf. A variação nos pontos centrais, que avaliam a repetibilidade do processo foi de 1080,22 a 2287,53 Kgf (valor médio de  $1541,96 \pm 84,48$  Kgf) e a farinha sem tratamento apresentou resultado de 1211,29 Kgf.

Observou-se que a atividade enzimática é diretamente proporcional a dureza instrumental do miolo. Farinhas com altos teores da enzima alfa-amilase tendem a fornecer produtos pegajosos, de baixo volume de maior dureza.

**Tabela 18.** Dureza instrumental do miolo (g) do bolo tipo inglês obtido das farinhas tratadas do planejamento experimental e sua comparação com a farinha sem tratamento\*.

Ensaio	Variáveis Independentes			Variável Dependente
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	Dureza instrumental do miolo (Kgf)
<b>Farinha sem tratamento</b>	-	-	-	1211,29 $\pm$ 24,05
<b>1</b>	-1	-1	-1	1736,98 $\pm$ 63,80
<b>2</b>	1	-1	-1	1435,42 $\pm$ 64,81
<b>3</b>	-1	1	-1	1784,71 $\pm$ 37,74
<b>4</b>	1	1	-1	2007,42 $\pm$ 142,00
<b>5</b>	-1	-1	1	4582,27 $\pm$ 295,39
<b>6</b>	1	-1	1	2767,61 $\pm$ 347,01
<b>7</b>	-1	1	1	3673,15 $\pm$ 219,85
<b>8</b>	1	1	1	1813,55 $\pm$ 164,33
<b>9</b>	$-\alpha$	0	0	1011,43 $\pm$ 43,26
<b>10</b>	$+\alpha$	0	0	1434,70 $\pm$ 120,98
<b>11</b>	0	$-\alpha$	0	1728,25 $\pm$ 103,71

<b>12</b>	0	+ $\alpha$	0	2281,31 $\pm$ 217,14
<b>13</b>	0	0	- $\alpha$	1229,37 $\pm$ 94,74
<b>14</b>	0	0	+ $\alpha$	5521,01 $\pm$ 1351,25
<b>15 (C)</b>	0	0	0	1454,56 $\pm$ 112,90
<b>16 (C)</b>	0	0	0	1330,82 $\pm$ 79,07
<b>17 (C)</b>	0	0	0	1408,60 $\pm$ 53,58
<b>18 (C)</b>	0	0	0	1813,74 $\pm$ 93,50
<b>19 (C)</b>	0	0	0	1391,92 $\pm$ 81,53
<b>20 (C)</b>	0	0	0	1820,18 $\pm$ 112,27
<b>21 (C)</b>	0	0	0	1094,11 $\pm$ 69,23
<b>22 (C)</b>	0	0	0	1080,22 $\pm$ 67,45
<b>23 (C)</b>	0	0	0	2287,53 $\pm$ 81,42
<b>24 (C)</b>	0	0	0	1738,01 $\pm$ 93,89

Sendo:  $x_1$  = Tempo de tratamento (minutos);  $x_2$  = Temperatura da estufa ( $^{\circ}$ C);  $x_3$  = Umidade inicial da farinha (%). \*Média e estimativa de desvio padrão de triplicatas.

Avaliando o efeito das variáveis independentes (Tabela 19 e 20), observamos que com exceção dos parâmetros do tempo quadrático, temperatura linear e da interação tempo x temperatura, todos os demais parâmetros do modelo foram estatisticamente significativos.

A ANOVA correspondente ao modelo (Tabela 21) apresentou uma variação explicativa de 87% e, no teste F, o valor calculado foi 2,70 vezes maior que o valor tabelado, a 90% de confiança.

**Tabela 19.** Análise dos efeitos das variáveis independentes na dureza instrumental do miolo ( $R^2 = 0,87$ ).

<b>Parâmetros</b>	<b>Efeitos</b>	<b>Erro puro</b>	<b>t(14)</b>	<b>p-valor</b>
Média	<u>1346,530</u>	<u>154,1689</u>	<u>8,73412</u>	<u>0,000000</u>
Tempo (L)	<u>-234,896</u>	<u>132,0009</u>	<u>-1,77950</u>	<u>0,096867</u>
Tempo (Q)	10,986	121,1141	0,09071	0,929009
Temperatura (L)	-32,330	132,0009	-0,24492	0,810071
Temperatura (Q)	<u>273,180</u>	<u>121,1141</u>	<u>2,25556</u>	<u>0,040625</u>
Umidade (L)	<u>906,178</u>	<u>132,0009</u>	<u>6,86493</u>	<u>0,000008</u>
Umidade (Q)	<u>714,331</u>	<u>121,1141</u>	<u>5,89800</u>	<u>0,000039</u>
Tempo x Temperatura	60,758	172,4675	0,35229	0,729870
Tempo x Umidade	<u>-470,262</u>	<u>172,4675</u>	<u>-2,72667</u>	<u>0,016378</u>
Temperatura x Umidade	<u>-309,522</u>	<u>172,4675</u>	<u>-1,79467</u>	<u>0,094321</u>

**Tabela 20.** Análise dos efeitos das variáveis independentes na dureza instrumental do miolo, excluindo os parâmetros estatisticamente não significativos ( $R^2 = 0,87$ ).

<b>Parâmetros</b>	<b>Efeitos</b>	<b>Erro puro</b>	<b>t(17)</b>	<b>p-valor</b>
Média	<u>1352,608</u>	<u>126,8650</u>	<u>10,66179</u>	<u>0,000000</u>
Tempo (L)	<u>-234,896</u>	<u>120,6089</u>	<u>-1,94758</u>	<u>0,068175</u>
Temperatura (Q)	<u>273,333</u>	<u>110,6509</u>	<u>2,47023</u>	<u>0,024387</u>
Umidade (L)	<u>906,178</u>	<u>120,6089</u>	<u>7,51336</u>	<u>0,000001</u>
Umidade (Q)	<u>714,483</u>	<u>110,6509</u>	<u>6,45709</u>	<u>0,000006</u>
Tempo x Umidade	<u>-470,262</u>	<u>157,5831</u>	<u>-2,98422</u>	<u>0,008330</u>
Temperatura x Umidade	<u>-309,522</u>	<u>157,5831</u>	<u>-1,96418</u>	<u>0,066074</u>

**Tabela 21.** ANOVA para a dureza instrumental do miolo.

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F <sub>calc</sub>
Regressão	24037747,5	9	2670861	10,90
Resíduo	3429412,9	14	244958,1	
Total	27467160,4			

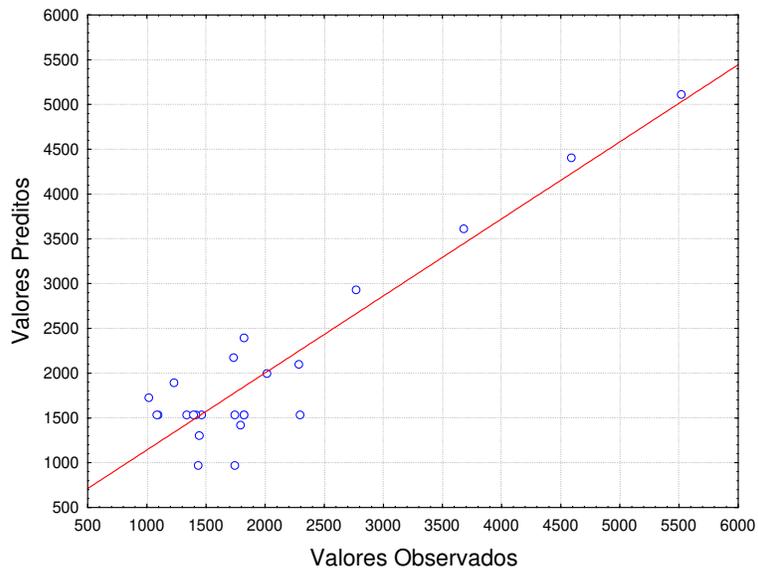
% variação explicada ( $R^2$ ) = 87;  $F_{9;14;0,1} = 4,03$ .

Em vista dos resultados satisfatórios da ANOVA, pôde-se obter o modelo com as variáveis codificadas, expresso na equação abaixo.

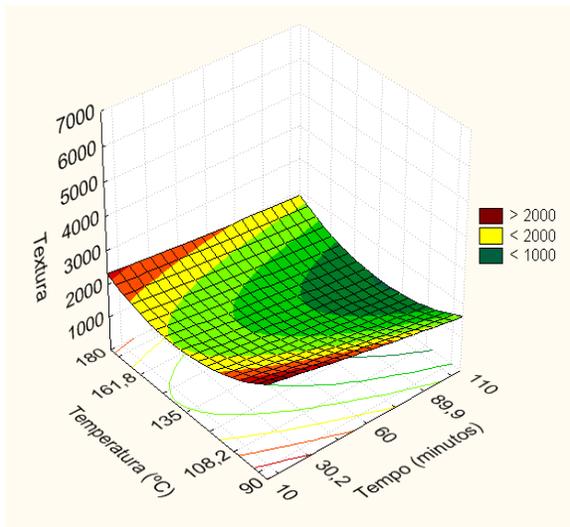
$$\text{Dureza instrumental do miolo} = 1352,60 + (-234,89)x_1 + 10,98x_1^2 + (-32,33)x_2 + 273,18x_2^2 + 906,17x_3 + 714,33x_3^2 + 60,75x_1x_2 + (-470,26)x_1x_3 + (-309,52)x_2x_3 \quad [4]$$

Onde  $x_1$  = Tempo de tratamento (minutos);  $x_2$  = Temperatura da estufa (°C);  $x_3$  = Umidade inicial da farinha (% p/p).

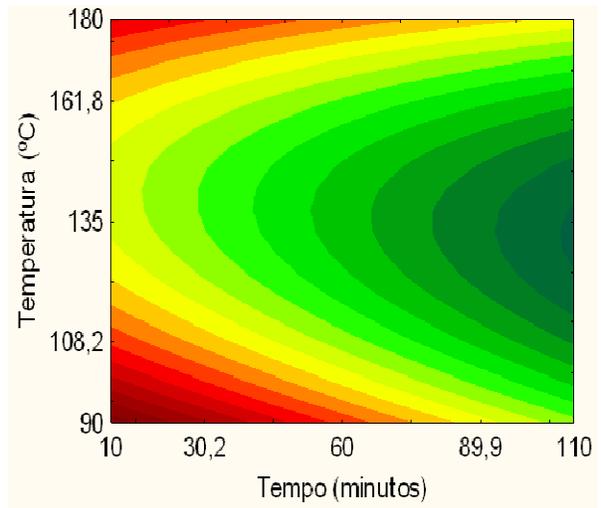
O modelo ajustado apresenta uma boa representatividade dos valores experimentais, o que pode ser confirmado pela Figura 3. No Anexo E, são apresentados os valores experimentais, os preditos pelo modelo com as variáveis codificadas e os desvios relativos. Assim, foi possível construir as superfícies de respostas e curvas de contorno da dureza instrumental do miolo do bolo, apresentadas na Figura 4.



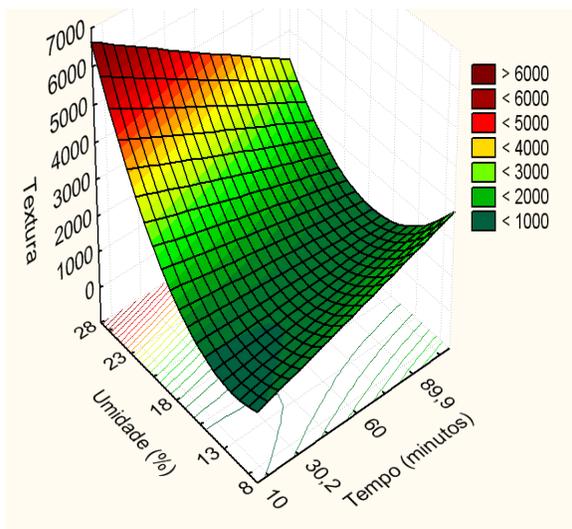
**Figura 3.** Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais da dureza instrumental do miolo.



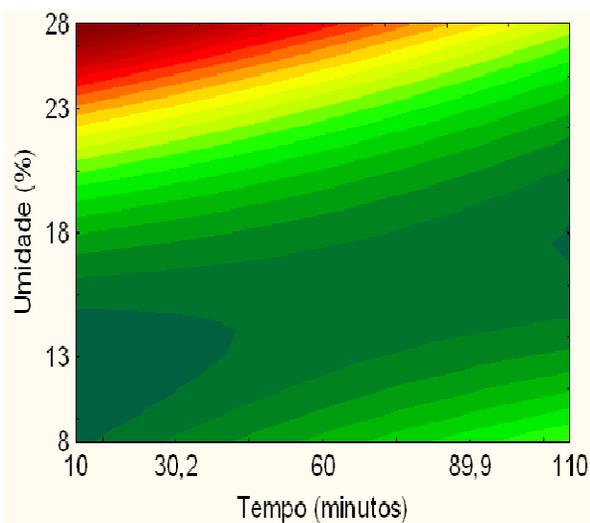
(a)



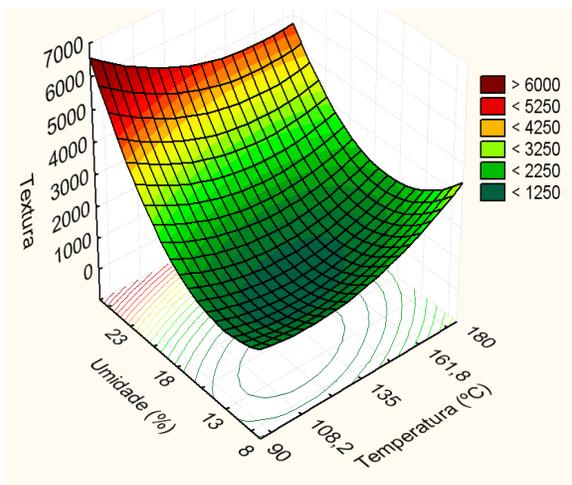
(b)



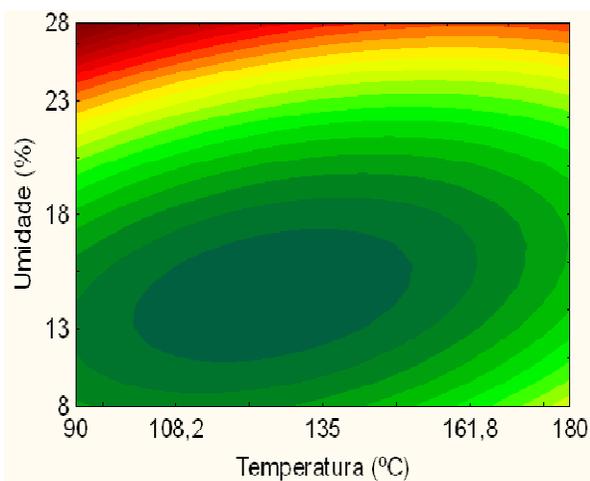
(c)



(d)



(e)



(f)

**Figura 4.** Superfícies de resposta e curvas de contorno para a dureza instrumental do miolo em função do tempo e temperatura (a) e (b), do tempo e umidade (c) e (d) e da temperatura e umidade (e) e (f).

As superfícies de resposta e as curvas de contorno mostram que menores valores de dureza instrumental do miolo foram conseguidos com valores de umidade inferiores a 18%, tempo de exposição superior a 60 minutos e faixa de temperatura entre 108 e 161°C.

A região de interesse neste estudo é aquela onde os bolos com farinha tratada obtiveram valores de dureza instrumental do miolo do bolo mais próximos ao valor do bolo com farinha sem tratamento. Menores valores de dureza instrumental do miolo do bolo também podem ser aceitáveis, pois indicam bolos com maior maciez.

### **5.2.1.3. Cor do miolo do bolo**

A Tabela 22 apresenta os resultados dos parâmetros L, a e b da cor do miolo do bolo para os ensaios do delineamento experimental e a diferença total de cor ( $\Delta E^*$ ) entre a farinha sem tratamento e a tratada.

Os resultados de  $\Delta E^*$  para os 24 ensaios variaram de 1,86 a 12,15. A variação nos pontos centrais, que avalia a repetibilidade do processo, foi de 4,39 a 8,89 (valor médio de  $5,83 \pm 1,47$ ). Valores próximos de zero indicam que as condições do ensaio resultaram em produto com características semelhantes ao obtido com farinha sem tratamento, indicando a não interferência do processo térmico na caracterização do bolo.

Çelik et al. (2007) utilizaram o sistema Hunter L, a e b para medir a cor do miolo de bolo e encontraram valores de aproximadamente 67,3, 1,6 e 21,3 para os parâmetros L, a e b, respectivamente. Os valores de L e b são menores que os encontrados nos experimentos deste trabalho, indicando um bolo mais escuro e com menor presença de tonalidade avermelhada. Já, o valor  $a^*$  é próximo ao valor encontrado neste estudo.

**Tabela 22.** Cor L, a e b do miolo do bolo tipo inglês obtido das farinhas tratadas do planejamento experimental e sua comparação com a farinha sem tratamento\* e também, a diferença total de cor entre a farinha sem tratamento e a tratada através do  $\Delta E^*$ .

Ensaio	Variáveis Independentes			Variáveis Dependentes			
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	Cor a	Cor b	Cor L	$\Delta E^*$
<b>Farinha sem tratamento</b>	-	-	-	0,76 ± 0,29	26,08 ± 0,79	74,60 ± 0,75	0
<b>1</b>	-1	-1	-1	0,45 ± 0,06	26,90 ± 0,11	76,24 ± 0,24	1,86
<b>2</b>	1	-1	-1	0,06 ± 0,06	30,93 ± 0,37	79,40 ± 0,70	6,86
<b>3</b>	-1	1	-1	0,30 ± 0,10	27,98 ± 0,18	76,92 ± 0,23	3,03
<b>4</b>	1	1	-1	2,04 ± 0,07	29,36 ± 0,15	75,76 ± 0,16	3,71
<b>5</b>	-1	-1	1	2,85 ± 0,07	30,06 ± 0,11	65,68 ± 0,45	9,99
<b>6</b>	1	-1	1	1,26 ± 0,21	31,92 ± 0,10	73,63 ± 0,29	5,94
<b>7</b>	-1	1	1	2,42 ± 0,15	30,17 ± 0,28	68,58 ± 0,68	7,46
<b>8</b>	1	1	1	2,63 ± 0,11	34,27 ± 0,33	72,56 ± 0,26	8,64
<b>9</b>	$-\alpha$	0	0	-0,13 ± 0,08	30,31 ± 0,11	77,17 ± 0,52	5,03
<b>10</b>	$+\alpha$	0	0	1,14 ± 0,05	31,80 ± 0,14	73,52 ± 0,60	5,83
<b>11</b>	0	$-\alpha$	0	0,53 ± 0,11	28,20 ± 0,10	74,42 ± 0,09	2,14
<b>12</b>	0	$+\alpha$	0	3,31 ± 0,20	37,44 ± 0,23	71,11 ± 0,52	12,15
<b>13</b>	0	0	$-\alpha$	0,60 ± 0,12	28,42 ± 0,05	76,60 ± 0,08	3,08
<b>14</b>	0	0	$+\alpha$	3,50 ± 0,35	32,12 ± 0,23	66,41 ± 0,23	10,54
<b>15 (C)</b>	0	0	0	1,12 ± 0,15	34,95 ± 0,25	74,97 ± 0,57	8,89
<b>16 (C)</b>	0	0	0	0,74 ± 0,14	34,07 ± 0,18	76,03 ± 0,62	8,12
<b>17 (C)</b>	0	0	0	1,50 ± 0,10	31,26 ± 0,24	72,96 ± 0,19	5,48
<b>18 (C)</b>	0	0	0	1,03 ± 0,02	30,83 ± 0,05	73,39 ± 0,12	4,91
<b>19 (C)</b>	0	0	0	1,16 ± 0,10	30,40 ± 0,30	73,91 ± 0,26	4,39
<b>20 (C)</b>	0	0	0	1,37 ± 0,08	31,43 ± 0,21	73,34 ± 0,22	5,53
<b>21 (C)</b>	0	0	0	0,85 ± 0,22	31,61 ± 0,21	74,64 ± 0,43	5,53
<b>22 (C)</b>	0	0	0	0,70 ± 0,05	30,65 ± 0,23	75,74 ± 0,57	4,71

<b>23 (C)</b>	0	0	0	1,22 ± 0,23	31,12 ± 0,34	73,13 ± 0,59	5,27
<b>24 (C)</b>	0	0	0	0,91 ± 0,07	31,42 ± 0,16	73,62 ± 0,25	5,43

Sendo:  $x_1$  = Tempo de tratamento (minutos);  $x_2$  = Temperatura da estufa (°C);  $x_3$  = Umidade inicial da farinha (% p/p). \*Média e estimativa de desvio padrão de triplicatas.

A Tabela 23 apresenta os resultados dos parâmetros L, C e h da cor do miolo do bolo para os ensaios do delineamento experimental segundo o sistema CIELCh.

Os resultados do parâmetro C da cor do miolo do bolo para os 24 ensaios variaram de 27,98 a 37,59. A variação nos pontos centrais, que avaliam a repetibilidade do processo foi de 30,42 a 34,97 (valor médio de  $31,79 \pm 1,50$ ).

Enquanto que, os valores do parâmetro h da cor do miolo do bolo para os 24 ensaios variaram de 83,78 a 90,25. A variação nos pontos centrais, que avaliam a repetibilidade do processo, foi de 87,25 a 88,76 (valor médio de  $88,08 \pm 0,50$ ).

Os valores obtidos entre os ensaios e também para o bolo com farinha sem tratamento foram bastante próximos, indicando que o processo térmico não interferiu na caracterização do bolo.

**Tabela 23.** Cor L, C e h do miolo do bolo tipo inglês obtido das farinhas tratadas do planejamento experimental e sua comparação com a farinha sem tratamento\*.

Ensaio	Variáveis Independentes			Variáveis Dependentes		
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	Cor L	Cor C	Cor h
<b>Farinha sem tratamento</b>	-	-	-	74,60 ± 0,75	26,09	88,33
<b>1</b>	-1	-1	-1	76,24 ± 0,24	26,90	89,04
<b>2</b>	1	-1	-1	79,40 ± 0,70	30,93	89,89
<b>3</b>	-1	1	-1	76,92 ± 0,23	27,98	89,39
<b>4</b>	1	1	-1	75,76 ± 0,16	29,43	86,03
<b>5</b>	-1	-1	1	65,68 ± 0,45	30,19	84,58
<b>6</b>	1	-1	1	73,63 ± 0,29	31,94	87,74
<b>7</b>	-1	1	1	68,58 ± 0,68	30,27	85,41
<b>8</b>	1	1	1	72,56 ± 0,26	34,37	85,61
<b>9</b>	- $\alpha$	0	0	77,17 ± 0,52	30,31	90,25
<b>10</b>	+ $\alpha$	0	0	73,52 ± 0,60	31,82	87,95
<b>11</b>	0	- $\alpha$	0	74,42 ± 0,09	28,20	88,92
<b>12</b>	0	+ $\alpha$	0	71,11 ± 0,52	37,59	84,95
<b>13</b>	0	0	- $\alpha$	76,60 ± 0,08	28,43	88,79
<b>14</b>	0	0	+ $\alpha$	66,41 ± 0,23	32,31	83,78
<b>15 (C)</b>	0	0	0	74,97 ± 0,57	34,97	88,16
<b>16 (C)</b>	0	0	0	76,03 ± 0,62	34,08	88,76
<b>17 (C)</b>	0	0	0	72,96 ± 0,19	31,30	87,25
<b>18 (C)</b>	0	0	0	73,39 ± 0,12	30,85	88,09
<b>19 (C)</b>	0	0	0	73,91 ± 0,26	30,42	87,81
<b>20 (C)</b>	0	0	0	73,34 ± 0,22	31,46	87,50
<b>21 (C)</b>	0	0	0	74,64 ± 0,43	31,62	88,46
<b>22 (C)</b>	0	0	0	75,74 ± 0,57	30,66	88,69
<b>23 (C)</b>	0	0	0	73,13 ± 0,59	31,14	87,75
<b>24 (C)</b>	0	0	0	73,62 ± 0,25	31,43	88,34

Sendo:  $x_1$  = Tempo de tratamento (minutos);  $x_2$  = Temperatura da estufa (°C);  $x_3$  = Umidade inicial da farinha (%; p/p). \*Média e estimativa de desvio padrão de triplicatas.

Os resultados do parâmetro L da cor do miolo do bolo para os 24 ensaios (Tabela 24) variaram de 65,68 a 79,40. A variação nos pontos centrais, que avaliam a repetibilidade do processo foi de 72,96 a 76,03 ( $74,17 \pm 0,38$ ) e a farinha sem tratamento apresentou resultado de 74,60.

Ronda et al. (2004) determinaram a cor do miolo do bolo pelo sistema CIELab e obtiveram  $L^*$  de aproximadamente 70, valor próximo aos obtidos para as farinhas sem tratamento e também tratadas.

**Tabela 24.** Análise dos efeitos das variáveis independentes no parâmetro  $L$  da cor do miolo ( $R^2 = 0,82$ ).

<b>Parâmetros</b>	<b>Efeitos</b>	<b>Erro puro</b>	<b>t(14)</b>	<b>p-valor</b>
Média	<u>74.16362</u>	<u>0.542196</u>	<u>136.7839</u>	<u>0.000000</u>
Tempo (L)	0,57035	0,464233	1,2286	0,239481
Tempo (Q)	0,50807	0,425945	1,1928	0,252772
Temperatura (L)	-0,48880	0,464233	-1,0529	0,310209
Temperatura (Q)	-0,40469	0,425945	-0,9501	0,358177
Umidade (L)	<u>-3,29494</u>	<u>0,464233</u>	<u>-7,0976</u>	<u>0,000005</u>
Umidade (Q)	<u>-0,85076</u>	<u>0,425945</u>	<u>-1,9973</u>	<u>0,065606</u>
Tempo x Temperatura	-1,03750	0,606550	-1,7105	0,109232
Tempo x Umidade	<u>1,24250</u>	<u>0,606550</u>	<u>2,0485</u>	<u>0,059747</u>
Temperatura x Umidade	0,59917	0,606550	0,9878	0,340003

**Tabela 25.** ANOVA para o parâmetro *L* da cor do miolo.

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F <sub>calc</sub>
Regressão	198,4	9	22,04	7,51
Resíduo	41,1	14	2,93	
Total	239,5			

% variação explicada ( $R^2$ ) = 82;  $F_{9;14;0,1} = 4,03$ .

Avaliando o efeito da variável independente (Tabela 24), observamos que com exceção dos parâmetros tempo linear e quadrático, temperatura linear e quadrática e das interações tempo e temperatura e temperatura e umidade, todos os demais parâmetros do modelo foram estatisticamente significativos.

A ANOVA correspondente ao modelo (Tabela 25) apresentou uma variação explicativa de 82% e, no teste F, o valor calculado foi 1,86 vezes maior que o valor tabelado, a 95% de confiança.

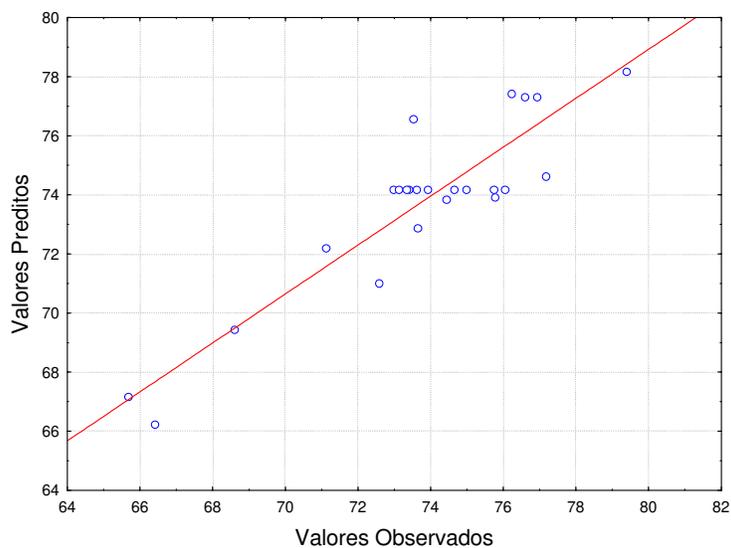
Em vista dos resultados satisfatórios da ANOVA, pôde-se obter o modelo com as variáveis codificadas, expresso na equação abaixo.

$$\begin{aligned} \text{Parâmetro L da cor do miolo} = & 74,16 + 0,57x_1 + 0,50x_1^2 + (-0,48)x_2 + (-0,40)x_2^2 + \\ & (-3,29)x_3 + (-0,85)x_3^2 + (-1,03)x_1x_2 + 1,24x_1x_3 + 0,59x_2x_3 \end{aligned} \quad [5]$$

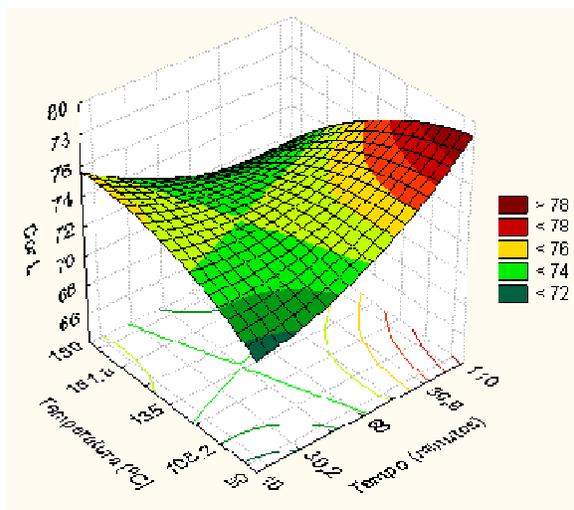
Onde  $x_1$  = Tempo de tratamento (minutos);  $x_2$  = Temperatura da estufa (°C);  $x_3$  = Umidade inicial da farinha (% p/p).

O modelo ajustado apresenta uma boa representatividade dos valores experimentais, o que pode ser confirmado pela Figura 5. No Anexo G, são apresentados

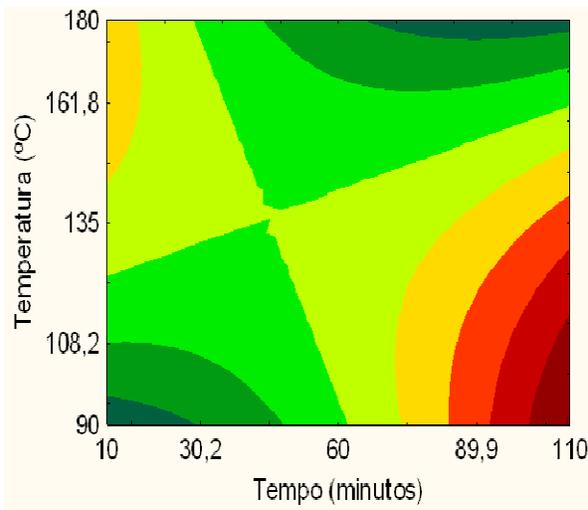
os valores experimentais, os preditos pelo modelo com as variáveis codificadas e os desvios relativos. Assim, foi possível construir as superfícies de respostas e curvas de contorno para o parâmetro L da cor do miolo do bolo, apresentadas na Figura 6.



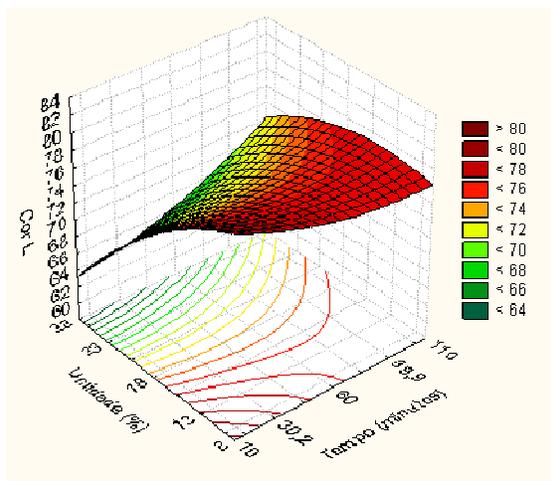
**Figura 5.** Valores preditos pelo modelo ajustado em função dos valores experimentais da Cor L do miolo.



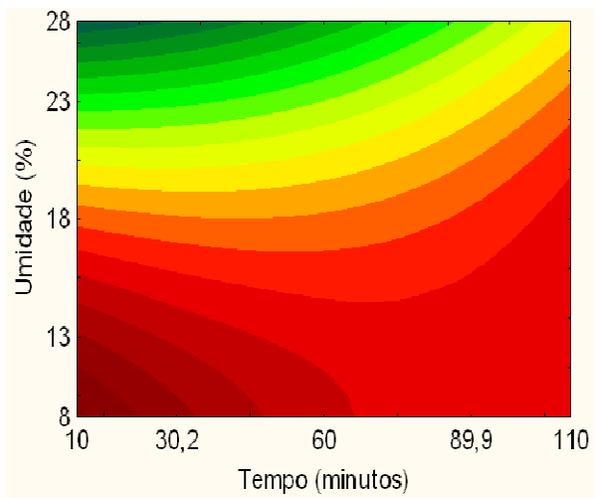
(a)



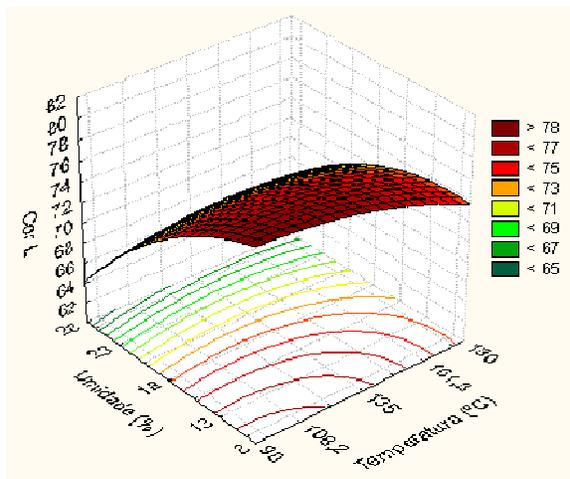
(b)



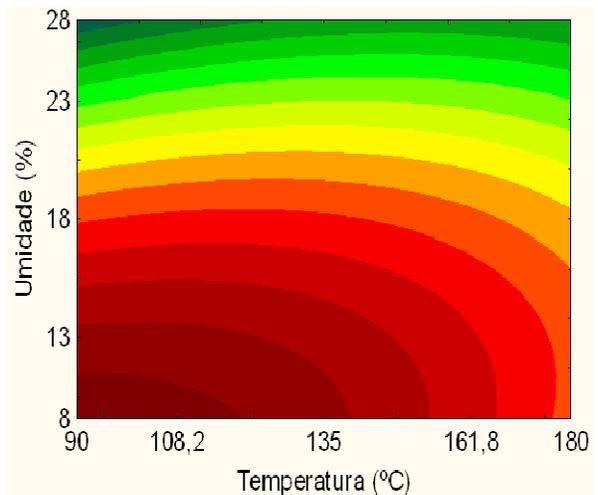
(c)



(d)



(e)



(f)

**Figura 6.** Superfícies de resposta e curvas de contorno para a Cor L do miolo em função do tempo e temperatura (a) e (b), do tempo e umidade (c) e (d) e da temperatura e umidade (e) e (f).

As superfícies de resposta e as curvas de contorno mostram que o valor do parâmetro L da cor da farinha sem tratamento (74,60), encontra-se dentro da faixa de melhor condição de operação definida como umidade 13 a 18%, tempo superior a 60 minutos e temperatura entre 135 a 145°C.

### **5.3. Caracterização da farinha tratada na faixa das melhores condições do processo térmico**

Foi possível observar que os melhores resultados concentram-se no tempo superior a 60 minutos e temperatura superior a 160°C, podendo a umidade variar entre 13 e 18%. Dentro destas faixas, foi escolhida a condição de: (i) tempo de tratamento de 60 minutos; (ii) temperatura de 160°C e a (iii) umidade de 14 % como a mais adequada para os experimentos finais deste trabalho. Esta escolha da umidade se baseou na facilidade de aplicação deste tratamento térmico na matéria-prima sem a necessidade de pré-tratamento de condicionamento uma vez que esta umidade é a padrão de comercialização deste produto.

A partir da farinha de trigo tratada, denominada aqui de U14, de acordo com as condições estabelecidas no parágrafo acima, foram realizadas as seguintes análises: (i) determinação da atividade de peroxidase na farinha tratada; (ii) avaliação das características reológicas (farinografia e extensografia); (iii) avaliação sensorial dos bolos tipo inglês produzidos com esta farinha tratada em comparação com os preparados com a farinha de trigo sem tratamento.

#### **5.3.1. Atividade enzimática**

Observou-se uma redução significativa de 25% na atividade de peroxidase na farinha de trigo tratada em comparação com a farinha sem tratamento.

A peroxidase é uma enzima termoestável, por isso as temperaturas utilizadas não reduziram sua atividade de forma a inativá-las totalmente. Esses valores são semelhantes aos encontrados por Gutkoski e El-Dash (1998), que não observaram inativação da peroxidase quando a aveia sofreu apenas secagem, enquanto que, ao sofrer extrusão, a atividade da enzima foi reduzida drasticamente. Weber et al. (2002), avaliando o efeito do tempo e da temperatura de imersão em água, não observaram redução na atividade de peroxidase em relação à matéria-prima, quanto a temperatura foi de 50°C e o tempo de imersão em água de 30 e 180 minutos.

**Tabela 26.** Atividade enzimática da farinha de trigo\*.

<b>Amostras</b>	<b>Atividade de peroxidase (U/ g)</b>
Farinha sem tratamento	1,67 ± 0,00 <sup>a</sup>
U14	1,25 ± 0,01 <sup>b</sup>

\*Média e estimativa de desvio padrão de triplicatas. U = quantidade consumida de 1 µmole de peróxido de hidrogênio por minuto. <sup>a-b</sup> Médias nas mesmas colunas com letras diferentes são diferentes significativamente ( $p \leq 0,05$ ).

### 5.3.2. Análises reológicas

Os resultados farinográficos da farinha de trigo U14 estão apresentados na Tabela 27 e podem ser melhor visualizados pelo farinograma apresentado no Anexo H.

O aspecto visual da massa da farinha de trigo U14, durante a análise, foi de uma massa bem quebradiça, não homogênea, que não apresentava as características de rede de glúten. Essa consistência pode ser devido à hidratação dos carboidratos, proteína, e outros, mas não necessariamente ao desenvolvimento da rede de glúten.

Todos os parâmetros farinográficos da farinha sem tratamento e da farinha de trigo U14 diferiram significativamente entre si indicando que o processo térmico interferiu nas características reológicas da farinha.

**Tabela 27.** Características farinográficas da farinha de trigo\*.

<b>Parâmetro</b>	<b>Farinha sem tratamento</b>	<b>U14</b>
Absorção de água (%)	58,00 ± 0,00 <sup>a</sup>	55,73 ± 0,15 <sup>b</sup>
Tempo de chegada (min)	1,00 ± 0,00 <sup>a</sup>	16,67 ± 1,53 <sup>b</sup>
Tempo de desenvolvimento (min)	7,30 ± 0,29 <sup>a</sup>	> 20 <sup>b</sup>
Tempo de saída (min)	11,70 ± 0,29	**
Estabilidade (min)	10,70 ± 0,29 <sup>a</sup>	> 20 <sup>b</sup>
Índice de tolerância à mistura (UB)	46,70 ± 5,77	**

\*Média e estimativa de desvio padrão de triplicatas. UB = Unidades Brabender. \*\* Não foi possível determinar este parâmetro. .<sup>a-b</sup> Médias nas mesmas linhas com letras diferentes são diferentes significativamente ( $p \leq 0,05$ ).

Os resultados extensográficos da farinha de trigo U14 estão apresentados na Tabela 28 e podem ser melhor visualizados pelos extensogramas apresentados no Anexo I.

Os resultados da análise de farinografia e extensografia indicam que o glúten pode ter sofrido desnaturação protéica, o que poderia explicar a impossibilidade de se calcular o ITM (Índice de Tolerância à Mistura) dessa farinha. Considera-se que o ITM indica o quanto a rede de glúten é destruída com a mistura (esforço mecânico) dessa massa (de acordo com o farinograma a curva se manteve constante na linha de 500UB após os 5 minutos de ter atingido o ponto máximo), o que leva a supor que a consistência registrada

não é decorrente da rede de glúten ou é decorrente de parcialmente. O mesmo pode ser avaliado em relação ao extensograma, onde a massa formada apresentou baixa extensibilidade.

**Tabela 28.** Características extensográficas da farinha de trigo\*.

	<b>R (UB)</b>	<b>Rm (UB)</b>	<b>E (mm)</b>	<b>D (UB/mm)</b>
<b>Tempo de descanso</b>		<b>45 minutos</b>		
Farinha sem tratamento	453 ± 11,55	597 ± 5,77 <sup>a</sup>	126 ± 0,58 <sup>a</sup>	4 ± 0,05
U14	**	700 ± 26,46 <sup>b</sup>	43,17 ± 2,08 <sup>b</sup>	**
<b>Tempo de descanso</b>		<b>90 minutos</b>		
Farinha sem tratamento	760 ± 10	870 ± 17,32 <sup>a</sup>	105 ± 7,23 <sup>a</sup>	8 ± 0,17
U14	**	690 ± 30,41 <sup>b</sup>	45,33 ± 4,01 <sup>b</sup>	**
<b>Tempo de descanso</b>		<b>135 minutos</b>		
Farinha sem tratamento	823 ± 35,12	950 ± 17,32 <sup>a</sup>	89 ± 3 <sup>a</sup>	10 ± 1,33
U14	**	672 ± 81,29 <sup>b</sup>	40 ± 1,26 <sup>b</sup>	**

\*Média e estimativa de desvio padrão de triplicatas. R = Resistência à extensão ou elasticidade; Rm = Resistência máxima; E = Extensibilidade; D = Número proporcional. UB = Unidades Brabender. \*\* Não foi possível determinar este parâmetro. <sup>a-b</sup> Médias nas mesmas colunas com letras diferentes são diferentes significativamente ( $p \leq 0,05$ ).

Todos os parâmetros extensográficos da farinha sem tratamento e da farinha de trigo U14 diferiram significativamente entre si, indicando que o processo térmico interferiu nas características reológicas da farinha.

### 5.3.3. Análise sensorial

Os principais fatores de aceitabilidade para avaliação de alimentos são aparência, sabor e textura. Se um destes fatores não consegue alcançar as expectativas, o alimento

não será consumido, ou, se consumido, irá provocar uma resposta negativa do consumidor (FARIDI; FAUBION, 1990; MOHSENIN, 1986). Pela Tabela 29, pode-se observar que os bolos produzidos com a farinha de trigo U14 tiveram uma boa aceitação para estes parâmetros. Os consumidores, em média, não desgostaram de nenhum dos bolos em nenhum dos atributos avaliados.

Os bolos não diferiram significativamente entre si em nenhum dos parâmetros avaliados, ou seja, observou-se que o tratamento térmico alterou a reologia da farinha, porém não interferiu em seu desempenho quando aplicada em bolo. Os consumidores expressaram sua aceitação, em média, para todos os parâmetros, como gostei moderadamente para o bolo sem tratamento e gostei um pouco para os bolos com tratamento.

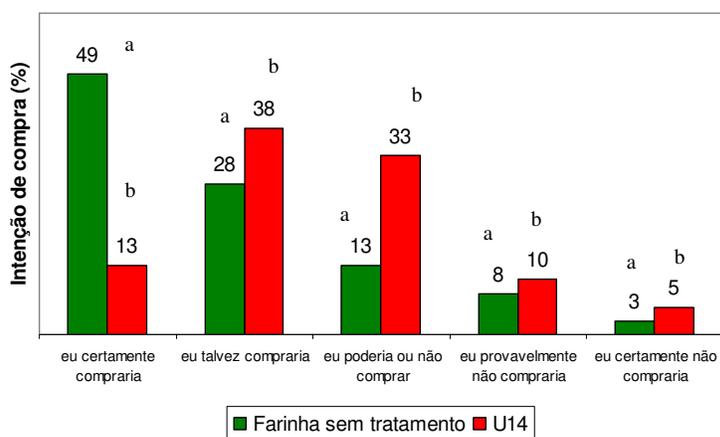
**Tabela 29.** Escore de aceitação da aparência global, aparência do miolo, textura e sabor dos bolos\*.

<b>Amostras</b>	<b>Aparência Global</b>	<b>Aparência do Miolo</b>	<b>Textura</b>	<b>Sabor</b>
Farinha sem tratamento	6 ± 0,98 <sup>a</sup>	6 ± 1,13 <sup>a</sup>	6 ± 1,28 <sup>a</sup>	5 ± 1,56 <sup>a</sup>
U14	5 ± 1,57 <sup>a</sup>	5 ± 1,39 <sup>a</sup>	5 ± 1,83 <sup>a</sup>	5 ± 1,31 <sup>a</sup>

\*Média e estimativa de desvio padrão. <sup>a-b</sup> Médias nas mesmas colunas com letras diferentes são diferentes significativamente ( $p \leq 0,05$ ).

A Figura 7 apresenta a intenção de compra dos bolos expressada pelos provadores.

Os consumidores expressaram a intenção de compra, em média, como eu certamente compraria para o bolo sem tratamento (farinha sem tratamento) e, como eu talvez compraria para o bolo com tratamento (U14).



**Figura 7.** Intenção de compra (%) dos bolos com a farinha sem tratamento e U14.

<sup>a-b</sup> Médias com letras diferentes são diferentes significativamente ( $p \leq 0,05$ ).

A farinha de trigo tratada foi alterada pelo tratamento térmico de acordo com os resultados obtidos nas análises reológicas, no entanto, não influenciou muito na obtenção do bolo, pois a força do glúten não é fundamental.



## 6. Conclusões

A caracterização química e reológica da farinha de trigo sem tratamento demonstraram tratar-se de uma matéria-prima forte, com composição química e teor de alfa-amilase típicos e atividade de peroxidase de 1,67 U/g.

Os resultados do planejamento experimental permitiram a obtenção de modelo matemático para as respostas número de queda, dureza instrumental do miolo e cor L do miolo do bolo, indicando que houve diferença significativa entre os tratamentos térmicos nas faixas das variáveis independentes estudadas (tempo, temperatura de tratamento e umidade da farinha). Foi possível observar que os melhores resultados concentraram-se no tempo superior a 60 minutos e temperatura superior a 160°C, podendo a umidade variar entre 13 e 18%.

O tratamento térmico de farinha de trigo por 160°C e 60 minutos, em estufa com circulação forçada de ar, na umidade inicial da matéria-prima (14%), proporcionou a obtenção de farinha com inativação de apenas 25 % da enzima peroxidase, mesmo apresentando aumento do número de queda (falling number), indicação qualitativa da inativação da alfa-amilase da mesma. Este tratamento também provocou alteração significativa nas características reológicas (farinografia e extensografia), provavelmente devido à desnaturação das proteínas do glúten. No entanto, o bolo tipo inglês elaborado com esta farinha de trigo (U14) não apresentou diferença significativa nos atributos sensoriais aparência global, aparência do miolo, textura e sabor e apresentou boa intenção de compra pelos consumidores.



## 7. Sugestões para trabalhos futuros

1. Avaliar o efeito do tratamento térmico em farinha de trigo fraca e média;
2. Avaliar de forma quantitativa a inativação térmica da alfa-amilase e peroxidase e também avaliação reológica da farinha de trigo tratada como resposta dentro do planejamento experimental;
3. Estudo comparativo do efeito de outros processos de inativação enzimática, tais como: microondas, extrusão termoplástica e acidificação nas características reológicas da farinha de trigo;
4. Avaliar a estabilidade de massas de bolo “ready-to-bake” produzidas com as farinhas tratadas, em comparação com a farinha sem tratamento.



## 8. Referências bibliográficas

ABIMA. Associação Brasileira das Indústrias de Massas Alimentícias. Disponível em: <[http://www.abima.com.br/est\\_mtrigo.asp](http://www.abima.com.br/est_mtrigo.asp)>. Acesso: 23/03/2010.

ADAMS, J.B. Review: Enzyme inactivation during heat processing of food-stuffs. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 26, n. 1, p. 1-20, 1991.

AL-MAHANESH, M.A.; RABABEH, T.M. Effect of moisture content on some physical properties of green wheat. **Journal of Food Engineering**, v. 79, n. 4, p. 1467-1473, 2007.

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. Methods nº54-10; nº54-21; nº56-81B; nº72-10. **Approved Methods of the A.A.C.C.** Ninth Edition, Minnesota, USA, 1995.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Method nº 925.49B, nº 925.49C, nº 920.152 e nº 985.29. **AOAC Official Methods of Analysis**. Philadelphia, Pennsylvania, USA, 2005.

BAKER, E.C.; MUSTAKAS, G.C. Heat inactivation of trypsin inhibitor, lipoxygenase and urease in soybeans. Effect of acid and base additives. **Journal of the American Oil Chemists Society**, v. 50, n. 5, p. 137-141, 1973.

BARRET, F.F. Enzymes uses in the milling and baking industries. In: REED, G. **Enzymes in Food Processing**. Academic Press: New York, Segunda edição, p. 301-330, 1975.

BIONDI, S. H. S. **Qualidade da Farinha de Trigo: Conceito, Fatores Determinantes e Parâmetros de Avaliação e Controle**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos - ITAL, 2003.

BOBBIO P.A.; BOBBIO F.O. **Introdução à Química de Alimentos**. Terceira edição, São Paulo: Livraria Varela, 2003.

BOOKWALTER, G.N. et al. Full fat soy flour extrusion cooked. Properties and food uses. **Journal of Food Science**, v. 36, p. 5-9, 1971.

BRITISH, **Pat. Nº 1,085,562** (Outubro 1967) British patent specification No. 1,085,562.

BRUNO, M. E. C.; CAMARGO, C. R. O. Enzimas proteolíticas no processamento de biscoitos e pães. **Boletim SBCTA**, v. 29, n. 2, p. 170-178, 1995.

CARNEIRO, L.M.T.A. et al. Diferentes épocas de colheita, secagem e armazenamento na qualidade de grão de trigo comum e duro. **Bragantia**, v. 64, n. 1, p. 127-137, 2005.

ÇELIK, I. et al. Effect of soapwort extract on physical and sensory properties of sponge cakes and rheological properties of sponge cake batters. **Food Chemistry**, v. 101, p. 907-911, 2007.

CHE MAN, Y.B.C. et al. Acid inactivation of soybean lipoxigenase with retention of protein solubility. **Journal of Food Science**, v. 54, p. 963-967, 1989.

CHEVALLIER, S. et al. Contribution of major ingredients during baking of biscuit dough systems, **Journal of Cereal Science**, v. 31, p. 241-252, 2000.

CHIQRUPATI, S.R.; PULVERENTI, J. Method for increasing stability and bake absorption of a bread baking wheat flour and resulting dough. **U. S. Pat. Nº 5,352,473** (Outubro 1994).

CHINACHOTI, P.; VODOVOTZ, Y (Eds.) **Bread staling**. Boca Raton: CRC Press LLC, 2001. Paginação irregular.

CORNELL, H.J.; HOVELING, A.W. **Wheat Chemistry and Utilization**. Technomic Publishing Company, 1998. Paginação irregular.

COSTA, M. G. et al. Qualidade tecnológica de grãos e farinhas de trigo nacionais e importados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, p. 220-225, 2008.

DENDY, D.A.V.; DOBRASZCZYK, B.J. **Cereal and Cereal Products – Chemistry and Utilization**. Aspen Publishers, 2001.

EKSTRAND, B. et al. Lipase activity in oats – Distribution, pH dependence and heat inactivation. **Cereal Chemistry**, v. 69, n. 4, p. 379-381, 1992.

EL-DASH, A.A. Molecular structure of gluten and viscoelastic properties of dough: a new concept. **Proceedings of the First Brazilian Congress on Proteins – CONBRAP 90**. Universidade Estadual de Campinas, p. 513-30, 1990.

EL-DASH, A.A.; CAMARGO, C.R.O. **Fundamentos da Tecnologia de Panificação**. São Paulo: Secretaria da Indústria, Comércio e Tecnologia, p. 01-40, 1982.

EL-DASH, A.A.; JOHNSON, J.A. Proteases enzymes: effect on bread flavor. **Cereal Science Today**, v. 12, n. 7, p. 282-288, 1967.

EL-DASH, A.A. Application and control of thermoplastic extrusion of cereals for food and industrial uses. In: POMERANZ, Y. & MUNCH, L. **Cereal a Renewable Resource: Theory and Practice**. Wageningen: American Association of Cereal Chemists, p. 165-216, 1982.

EL-DASH; GERMANI, R. **Tecnologia de farinhas mistas: uso de farinhas mistas na produção de bolos**. Brasília: Embrapa, v. 7, p. 31, 1994.

EVANGELISTA, J. **Tecnologia de Alimentos**. Segunda edição. Livraria Atheneu, São Paulo, p. 245-276, 2003.

FARIDI, H.; FAUBION, J. M. **Dough rheology and baked product texture**. Terceira edição. New York: Van Nostrand Reinhold, p. 605, 1990.

FREITAS, D.G.C.; MORETTI, R.H. **Desenvolvimento e estudo da instabilidade de barra de cereais de elevado teor protéico e vitamínico: Estudo da inativação enzimática de lipase e peroxidase em gérmen de trigo**. 2005. Capítulo 2, p. 45-64. Dissertação (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

GERHARTZ, W. **Enzymes in Industry: Production and Applications**. VCH, Weinheim, p. 76-100, 1990.

GOESAERT, H. et al. Wheat flour constituents: how they impact bread quality and how to impact their functionality. **Trends in Food Science & Technology**, v. 16, p. 12-30, 2005.

GUTKOSKI, L. C.; EL-DASH, A. A. Avaliação da estabilidade hidrolítica em produtos de aveia tratados termicamente. **Boletim CEPPA**, v. 16, p. 2171-2180, 1998.

HAMPTON, R.J. et al. Process for making a free flowing flour. **U. S. Pat. Nº 3,869,558** (Março 1975).

HANKINSON, C.L.; Method Pasteurizing Flour. **U.S. Pat. Nº 3,554,772** (Janeiro 1971).

HENDERSON, H.M. et al. Thermal inactivation of pea flour lipoxygenase. **Journal of Food Biochemistry**, v. 15, n. 2, p. 107-115, 1991.

HINCHCLIFFE, C. et al. The flavor of faba beans as affected by heat and storage. **Canadian Institute of Food Science Technology Journal**, v. 10, p. 181-184, 1977.

HONOLD, G. R. et al. The oxidation-reduction enzymes of wheat. II. A qualitative investigation of the dehydrogenases. **Cereal Chemistry**, v. 44, p. 373-382, 1967.

HOSENEY, R. C. **Principles of cereal: science and technology**. Segunda edição. St. Paul: American Association of Cereal Chemistry, Inc., p. 378, 1998.

HOSENEY, R.C. **Principles of Cereal – Science and Techonology**. Segunda edição. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, Inc., p. 335-344, 1994.

INDRANI, D.; RAO, G. V. Rheological characteristics of wheat flour dough as influenced by ingredients of Parotta. **Journal of Food Engineering**, v. 17, n. 1, p. 110-115, 2007.

JANSSEN, A. M. et al. Rheological studies on gluten. In: BUSHUK, W.; TKCHUK, R. **Gluten Proteins 1990**. Saint Paul: AACC, p.180-186, 1992.

JOHNSON, A.C.; HOSENEY, R.C. Chlorine treatment of cake flours. IV. Effects of storing and heating nondefatted and defatted flours. **Cereal Chemistry**, v. 57, p. 92-93, 1980.

KLOSE, A.A. et al. Food value of soybeans as related to processing. **Food Technology**, v. 2, p. 201-206, 1948.

KRUGER, J.E. et al. Enzymes and Their Role in Cereal Technology. **American Association of Cereal Chemists**, St Paul, p. 141-199, 1987.

LEITÃO, R.F.F. et al. Utilização da alta temperatura na secagem de macarrão. **Coletânea ITAL**, Campinas, v.19, p.186-195, 1989.

LEFLÉCHER, R.; ROBSON, P. Ready-to-bake shelf-stable cake dough and process for its manufacture. **U. S. Pat. Nº 6,038,994** (Março 2000).

LOPEZ, P.; BURGOS, J. Lipoxygenase inactivation by manothermosonication: effects of sonication on physical parameters, pH, KCl, sugars, glycerol and enzyme concentration. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 43, p. 620-625, 1995.

MACFIE, H.; BRATCHELL, N. Designs to balance the effect of order of presentation and first-order carry-over effects in hall tests. **Journal of Sensory Studies**, v. 4, p. 129-148, 1989.

MacMASTERS, M.M. et al. Microscopic structure and composition of the wheat kernel. In: **Wheat Chemistry and Technology**. Pomeranz, Y (ed.), v. 3, p. 51, 1971.

MacRITCHIE, F. Baking quality of wheat flours. **Advances in Food Research**. New York, v.29, p. 201-277, 1984.

MacRITCHIE, F. Evaluation of contributions from wheat protein fractions to dough mixing and breadmaking. **Journal of Cereal Science**. London, v. 6, n. 3, p. 259-268, 1987.

MILLER, B.S. et al. Comparasion cereal, fungal and bacterial alpha-amylase as supplements for bread making. **Food Technology**, v. 7, n. 1, p. 38-42, 1953.

MILLER, B.S.; JOHNSON, J.A. Differential inactivation of enzymes. **U. S. Pat. Nº 2,683,682** (Julho 1954).

MILLER, B.S.; KUMMEROW, F. A. The disposition of lípase and lipoxidase in baking and the effect of their reaction products on consumer acceptability, **Cereal Chemistry**, v. 25, p. 391, 1948.

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

MOHSENIN, N. N. **Physical properties of plant and animal materials: structure, physical characteristics and mechanical properties**. Segunda edição. Canadá: Gordon and Breach Publishers, p. 891, 1986.

MUSTAKAS, G.C. et al. Lipoxidase deactivation to improve stability, odor and flavor of full-fat soy flours. **Journal of the American Oil Chemists` Society**, v. 46, p. 623-626, 1969.

NELSON, A.I. et al. Illinois process for preparation of soymilk. **Journal of Food Science**, v. 41, p. 57-61, 1976.

NELSON, A.I. et al. Food products from whole soybeans. **Soybean Digest**, v. 31, n. 3, p. 32-34, 1971.

PETIT, L.; ALDIDIER, Y. Action des proteinases dans les industries de caisson. **Annual Nutrition Alimentation**, v. 21, n. 6, p. 341-360, 1975.

POMERANZ, Y. Wheat Chemistry and Technology. **American Chemistry Incorporation**, v. 2, p. 57-158, 1988.

POSNER, E. S.; HIBBS, A. N. **Wheat flour milling**. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, Inc., p. 341, 1999.

PYLER, E.J. **Baking Science and Technology**. Terceira edição. Sosland Publishing Company, Kansas, p. 591, 1988.

QUALGLIA, G. **Ciência y tecnologia de la panificación**. Segunda edição. Espana (Zaragoza): Acribia, p. 484, 1991.

REED, G. **Enzymes in Food Processing**. Segunda edição. Capítulo: Saúde e aspectos legais do uso de enzimas, p. 549-554, 1975.

RONDA, F. et al. Effects of polyols and nondigestible oligosaccharides on the quality of sugar-free sponge cakes. **Food Chemistry**, v. 90, p. 549-555, 2005.

SCHOFIELD, J. D.; BOOTH, M. R. Wheat proteins and their technological significance. In: HUDSON, B. F. J. **Developments in Food Protein**. London: Applied Science Publishers, v. 2, p. 1-65, 1983.

SPROBER, B. Wirkung von proteinasen beim zusatz zum mehl. **Getreide. Mehl und Brot.**, v. 35, n. 3, p. 60-62, 1981.

STEWART, J. Snack cracker production: how to choose ingredients and methods. **Backer's Digest**, v. 21, n. 4, p. 20-24, 1984.

SYNDER, H.E. A simple technique for inhibiting production of green, beany flavour in soybeans. **Journal of Food Science & Technology**, v. 5, p. 33-35, 1973.

TEDRU, G.A.S. et al. Estudo da adiçao de vital glúten à farinha de arroz, farinha de aveia e amido de trigo na qualidade de pães. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 21, n. 1, p. 20-25, 2001.

THAKUR, B.R.; NELSON, P.E. Inactivation of lipoxygenase in whole soy flour suspension by ultrason cavitation. **Nahrung**, v. 41, n. 5, p. 299-301, 1997.

THOMASSON, C.A. et al. Replacement of chlorine treatment for cake flour. **Cereal Chemistry**, v. 72, n. 6, p. 616-620, 1995.

YOUNGS, V.L. Oat lipids and lipid-related enzymes. In: WEBSTERS, F.H. Oats chemistry and technology, Saint Paul: **American Association of Cereal Chemistry**, p. 205-226, 1986.

XU, J. et al. Viscoelastic properties of wheat gliadin and gluten suspension. **Food Chemistry**, v. 101, n. 3, p. 1025-1030, 2007.

WALLERSTEIN, J.S. et al. Oxidizing enzymes in brewing materials. V. Peroxidase in malt adjuncts. **Wallerstein Labs. Commun**s, v. 11, p. 319-322, 1948.

WEBER, F. et al. Processo de estabilização de farinha de aveia por imersão das cariopses em água quente. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 5, p. 225-235, 2002.

WILKENS, W.F. et al. Effect of processing methods on oxidative off-flavours of soybean milk. **Food Technology**, v. 21, p. 1630-1633, 1967.

WILLIAMS, D.C. et al. Blanching of vegetables for freezing – which indicator enzyme to choose. **Food Technology**, v. 40, n. 6, p. 130-140, 1986.

ZENEBO, O.; PASCUET, N.S., Métodos físico-químicos para análise de alimentos. Quarta edição. Brasília: Ministério da Saúde/ ANVISA São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, cap. 4, met. 034B, p. 119, 2005.

## Anexo A

### Ficha de avaliação sensorial

Nome: \_\_\_\_\_

Por favor, avalie a amostra apresentada quanto aos atributos solicitados, utilizando a escala abaixo para descrever o quanto você gostou ou desgostou do bolo tipo inglês.

AMOSTRA \_\_\_\_\_

7- gostei muito

6- gostei moderadamente

5- gostei um pouco

4- nem gostei/ nem desgostei

3- desgostei um pouco

2- desgostei moderadamente

1- desgostei muito

Aparência Global \_\_\_\_\_ Aparência do miolo \_\_\_\_\_

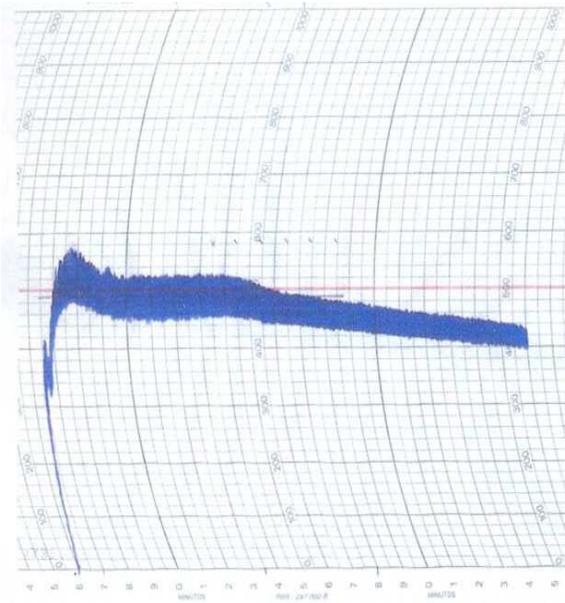
Textura \_\_\_\_\_ Sabor \_\_\_\_\_

Agora, com base na sua opinião sobre esta amostra de bolo tipo inglês, se a encontrasse à venda, você:

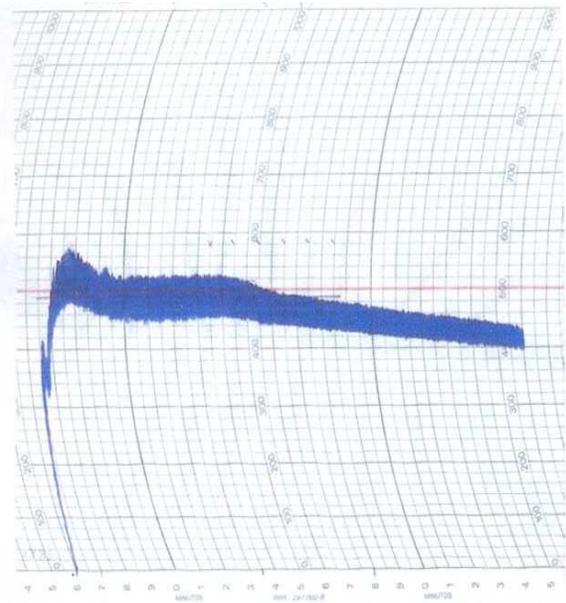
- ( ) eu certamente compraria
- ( ) eu talvez compraria
- ( ) eu poderia ou não comprar
- ( ) eu provavelmente não compraria
- ( ) eu certamente não compraria

## Anexo B

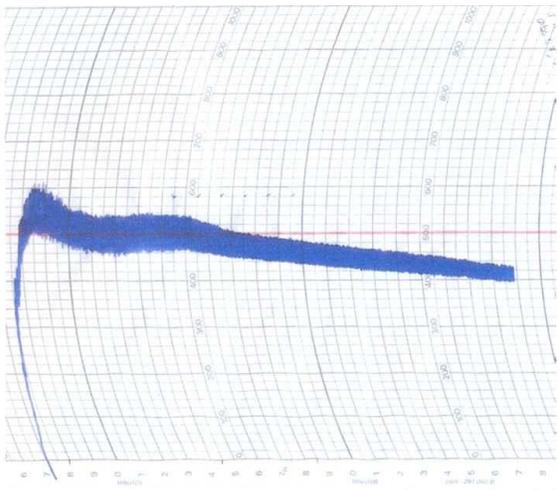
Farinograma da farinha de trigo sem tratamento (a) repetição 1, (b) repetição 2 e (c) repetição 3.



(a)



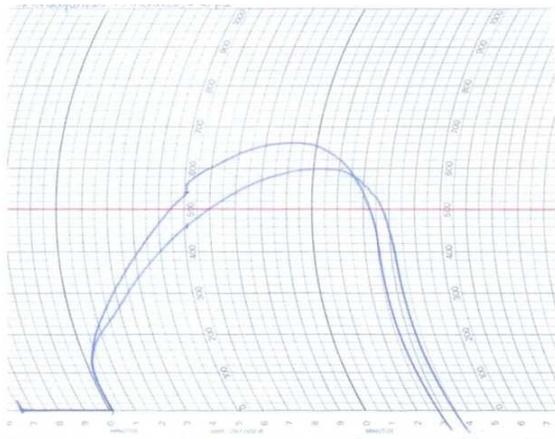
(b)



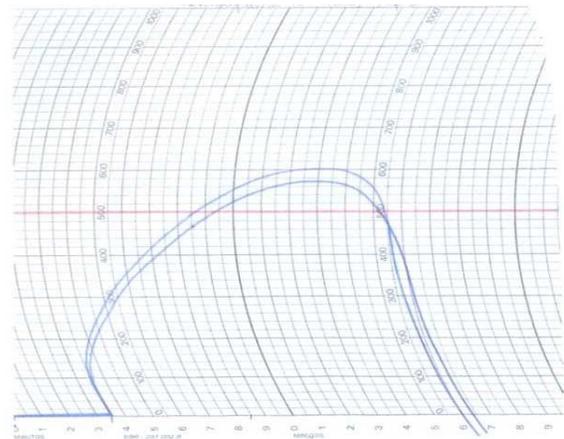
(c)

## Anexo C

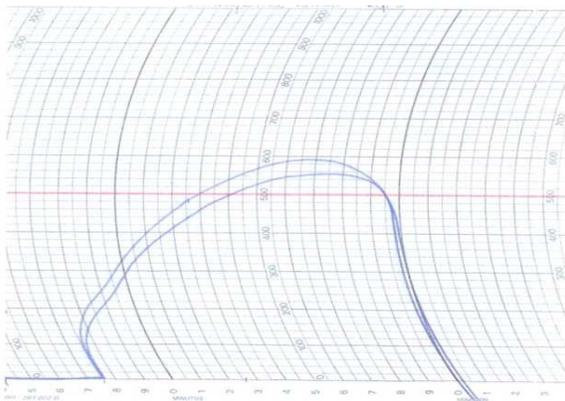
Extensograma da farinha de trigo sem tratamento (a) 45 minutos - repetição 1, (b) 45 minutos - repetição 2, (c) 45 minutos - repetição 3, (d) 90 minutos - repetição 1, (e) 90 minutos - repetição 2, (f) 90 minutos - repetição 3, (g) 135 minutos - repetição 1, (h) 135 minutos - repetição 2 e (i) 135 minutos - repetição 3.



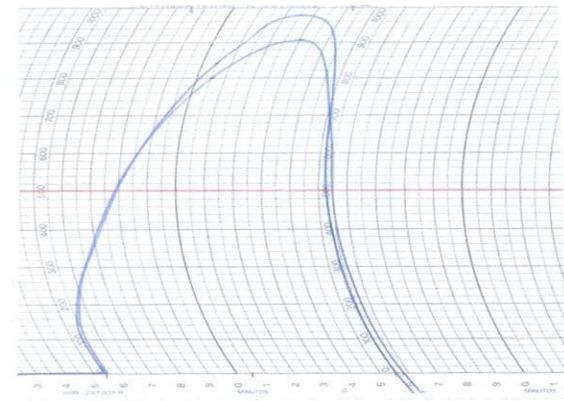
(a)



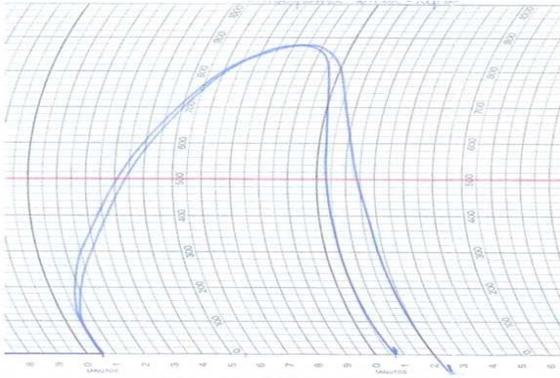
(b)



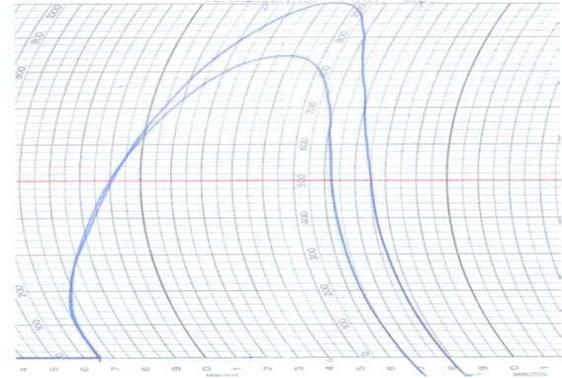
(c)



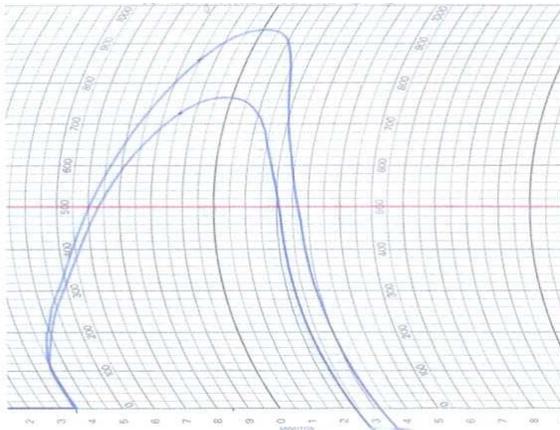
(d)



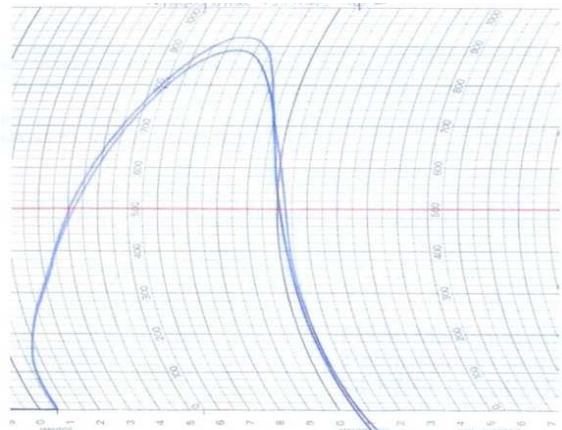
(e)



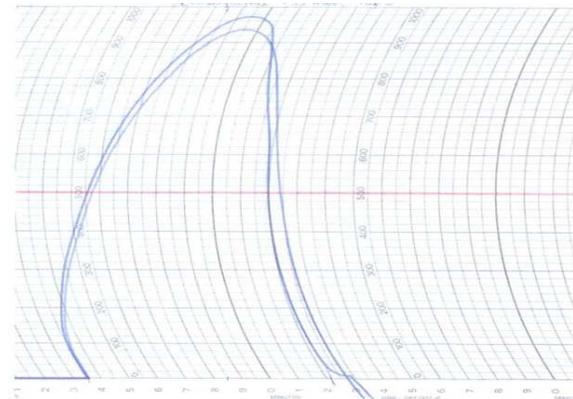
(f)



(g)



(h)



(i)

## Anexo D

Valores dos parâmetros do número de queda das farinhas experimentais, preditos pelo modelo com as variáveis codificadas e desvios relativos.

V Exp = valor experimental, V Pre = valor predito e DR = desvios relativos.

$$DR = (V \text{ Exp} - V \text{ Pre}) / V \text{ Exp} \times 100$$

<b>Número de Queda</b>			
<b>Ensaio</b>	<b>V Exp (s)</b>	<b>V Pre (s)</b>	<b>DR (%)</b>
1	274	256,2	6,49
2	291	309,2	-6,24
3	330	350,0	-6,07
4	589	564,4	4,17
5	259	230,5	11,00
6	306	234,3	23,44
7	351	280,8	19,99
8	480	446,1	7,07
9	227	259,4	-14,28
10	401	442,7	-10,39
11	267	301,8	-13,05
12	519	558,5	-7,62
13	308	285,9	7,19
14	68	164,8	-142,39
15	348	360,8	-3,67
16	333	360,8	-8,34

---

17	377	360,8	4,31
18	392	360,8	7,97
19	351	360,8	-2,78
20	349	360,8	-3,37
21	404	360,8	10,70
22	390	360,8	7,50
23	346	360,8	-4,27
24	331	360,8	-8,99

---

## Anexo E

Valores dos parâmetros de dureza instrumental dos bolos experimentais, preditos pelo modelo com as variáveis codificadas e desvios relativo.

V Exp = valore experimental, V Pre = valor predito e DR = desvio relativo.

$$DR = (V \text{ Exp} - V \text{ Pre}) / V \text{ Exp} \times 100$$

<b>Dureza Instrumental do Miolo (gf)</b>			
<b>Ensaio</b>	<b>V Exp</b>	<b>V Pre</b>	<b>DR (%)</b>
1	1736,98	889,4	48,80
2	1435,42	1360,1	5,25
3	1784,71	1508,4	15,48
4	2007,42	1979,1	1,41
5	4582,27	4261,3	7,01
6	2767,61	2851,0	-3,01
7	3673,15	3642,2	0,84
8	1813,55	2231,9	-23,07
9	1011,43	1747,2	-72,75
10	1434,7	958,0	33,23
11	1728,25	2124,0	-22,90
12	2281,31	2124,0	6,89
13	1229,37	1846,8	-50,22
14	5521,01	4891,5	11,40
15	1454,56	1352,6	7,01
16	1330,82	1352,6	-1,64

---

17	1408,6	1352,6	3,98
18	1813,74	1352,6	25,42
19	1391,92	1352,6	2,82
20	1820,18	1352,6	25,69
21	1094,11	1352,6	-23,63
22	1080,22	1352,6	-25,22
23	2287,53	1352,6	40,87
24	1738,01	1352,6	22,18

---

## Anexo F

Valores dos parâmetros de cor Ldo miolo, dos bolos experimentais, preditos pelo modelo com as variáveis codificadas e desvios relativo.

V Exp = valor experimental, V Pre = valor predito e DR = desvio relativo.

$$DR = (V \text{ Exp} - V \text{ Pre}) / V \text{ Exp} \times 100$$

Cor L do Miolo			
Ensaio	V Exp	V Pre	DR (%)
1	76,24	77,41	-1,54
2	79,40	78,13	1,60
3	76,92	77,33	-0,53
4	75,76	73,93	2,41
5	65,68	67,17	-2,27
6	73,63	72,85	1,06
7	68,58	69,45	-1,27
8	72,56	71,01	2,14
9	77,17	74,61	0,00
10	73,52	76,53	-4,09
11	74,42	73,84	0,78
12	71,11	72,22	-1,56
13	76,60	77,29	-0,90
14	66,41	66,23	0,27
15	74,97	74,16	1,08
16	76,03	74,16	2,46

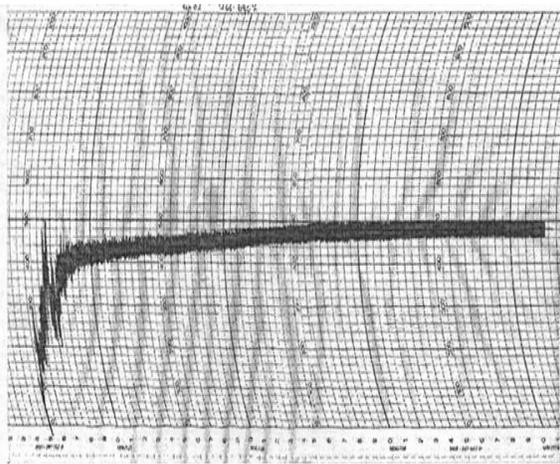
---

17	72,96	74,16	-1,64
18	73,39	74,16	-1,04
19	73,91	74,16	-0,34
20	73,34	74,16	-1,12
21	74,64	74,16	0,64
22	75,74	74,16	2,09
23	73,13	74,16	-1,41
24	73,62	74,16	-0,74

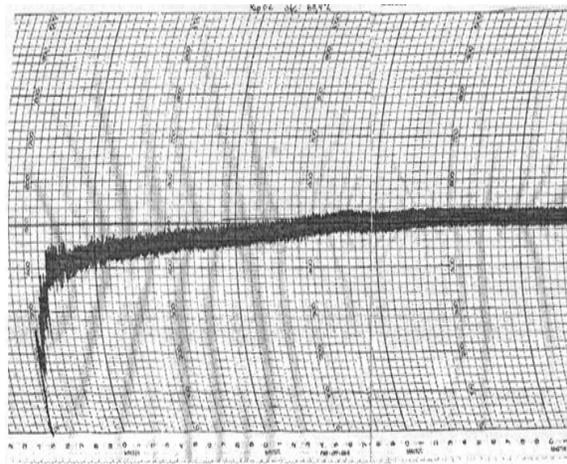
---

## Anexo G

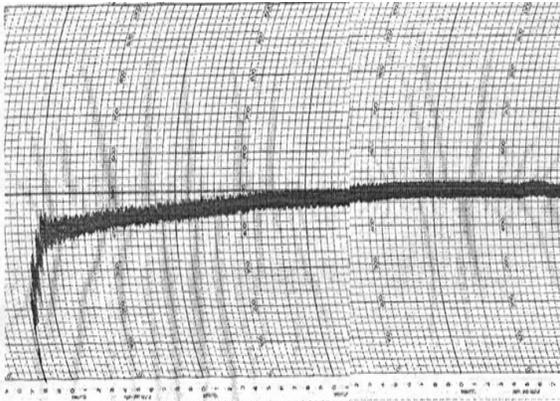
Farinogramas da farinha de trigo tratada - U14: (a) repetição 1, (b) repetição 2 e (c) repetição 3.



(a)



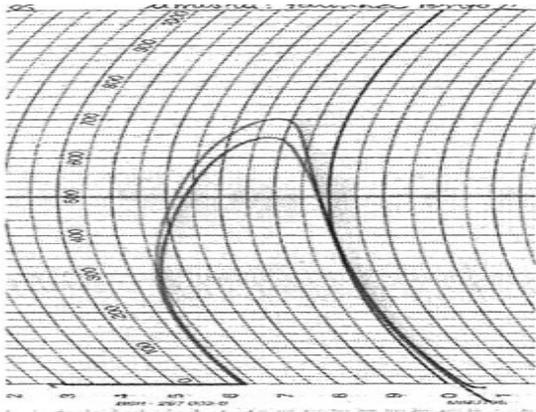
(b)



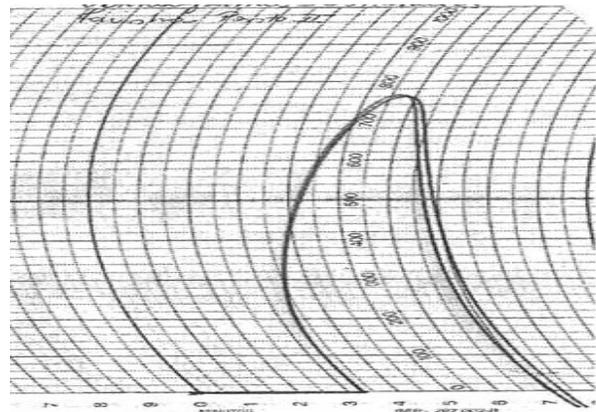
(c)

## Anexo H

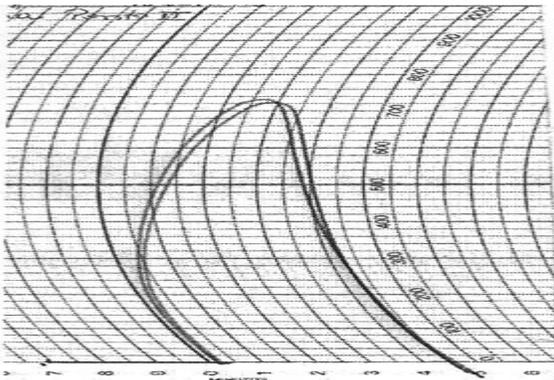
Extensograma da farinha de trigo tratada U14 (a) 45 minutos - repetição 1, (b) 45 minutos - repetição 2, (c) 45 minutos - repetição 3, (d) 90 minutos - repetição 1, (e) 90 minutos - repetição 2, (f) 90 minutos - repetição 3, (g) 135 minutos - repetição 1, (h) 135 minutos - repetição 2 e (i) 135 minutos - repetição 3.



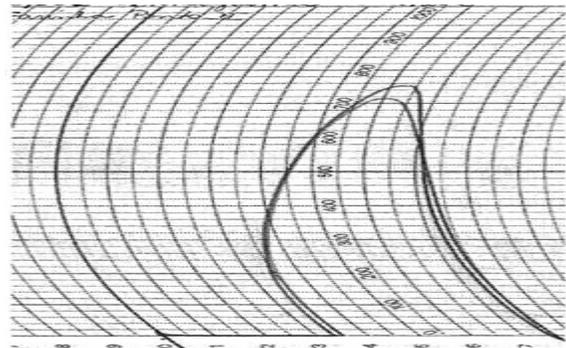
(a)



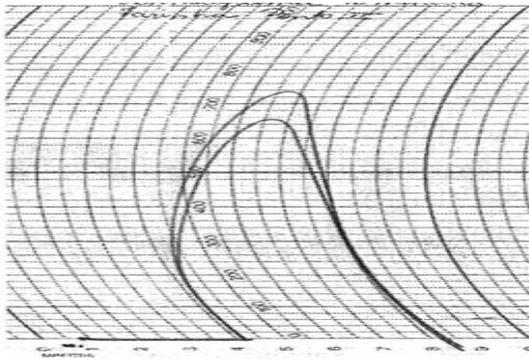
(b)



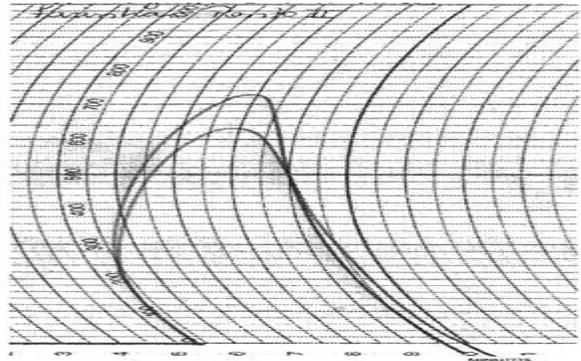
(c)



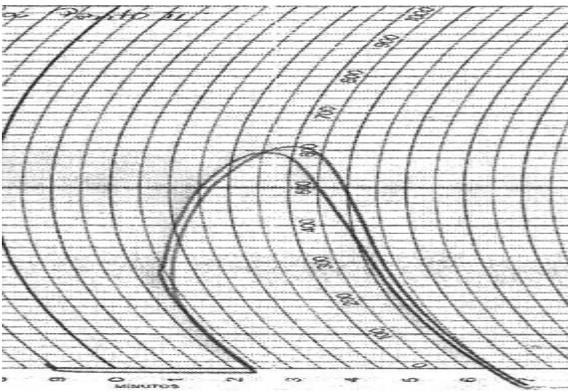
(d)



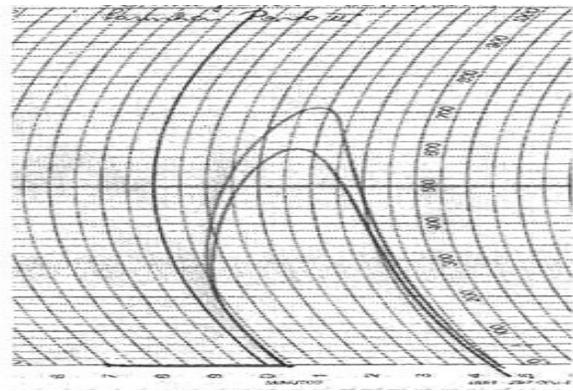
(e)



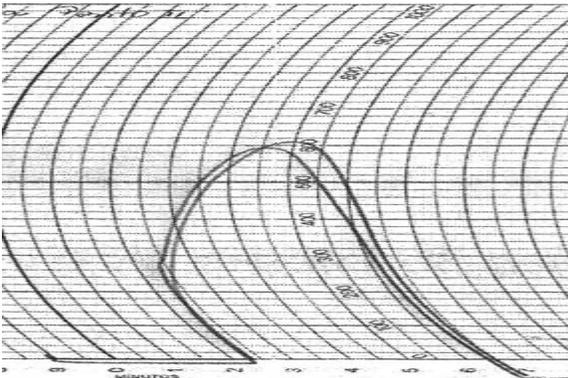
(f)



(g)



(h)



(i)