



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



Efeito da adição de xilanase, glicose oxidase e ácido ascórbico na qualidade do pão de forma de farinha de trigo de grão inteiro

Camila Batista da Silva
Engenheira de Alimentos

Prof. Dr. Yoon Kil Chang
Orientador

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

Campinas

2007

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA FEA – UNICAMP

Si38e Silva, Camila Batista da
Efeito da adição de xilanase, glicose oxidase e ácido
ascórbico na qualidade do pão de forma de farinha de trigo
de grão inteiro / Camila Batista da Silva. -- Campinas, SP:
[s.n.], 2007.

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

1. Pão. 2. Farinha de trigo de grão inteiro. 3. Xilanase. 4.
Glicose oxidase. 5. Fibras. 6. Alimentos funcionais. I. Chang,
Yoon Kil. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de
Engenharia de Alimentos. III. Título.

(cars/fea)

Titulo em inglês: Effect of adding xylanase, glucose oxidase and ascorbic acid on the quality of
loaf bread made using whole-wheat flour

Palavras-chave em inglês (Keywords): Bread, Whole-wheat flour, Xylanases, Glucose oxidase,
Fiber, Functional foods

Titulação: Mestre em Tecnologia de Alimentos

Banca examinadora: Yoon Kil Chang

Gláucia Maria Pastore

Helena Maria André Bolini

Mônica Ribeiro Pirozi

Programa de Pós Graduação: Programa em Tecnologia de Alimentos

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Yoon Kil Chang
(Orientador)

Profa. Dra. Gláucia Maria Pastore
(Membro)

Profa. Dra. Helena Maria André Bolini
(Membro)

Profa. Dra. Mônica Ribeiro Pirozi
(Membro)

Dedico esta dissertação com muito carinho:

**A Deus;
Aos meus pais João e Sandra;
Ao meu irmão Guilherme.**

Agradecimentos

A Deus, pela força e proteção.

Aos meus amados pais João e Sandra e meu irmão Guilherme pelo amor, apoio e incentivo em todos os momentos de minha vida.

À toda minha família pelo imenso carinho.

Ao meu orientador Prof. Dr. Yoon Kil Chang pela orientação, dedicação e amizade, contribuindo muito para meu crescimento profissional.

Ao Matheus Depieri, à Alessandra Coelho, à Raquel Maduro, à Eveline Almeida, à Gabriela Vernaza e à Teresa Clerici pela grande amizade, pelo auxílio nas análises deste projeto e pelo imenso incentivo nos momentos mais difíceis.

A todos os amigos do Laboratório de Cereais pelo carinho e amizade.

Aos membros da banca, Prof^{as} Gláucia, Helena e Mônica pelas correções e sugestões feitas no trabalho.

À Renata, do Laboratório de Instrumentação, pela ajuda em algumas análises.

À Luciana Cunha, minha grande amiga, que apesar da distância, está sempre presente em minha vida.

Aos professores e funcionários da Faculdade de Engenharia de Alimentos.

Aos funcionários da Padaria da Faculdade de Engenharia de Alimentos.

Ao Hugo pela colaboração na parte experimental.

À Prozyn pelo fornecimento das enzimas e informações.

À Capes pela concessão da bolsa para a realização deste trabalho.

Aos meus amigos que direta ou indiretamente ajudaram na realização desse trabalho.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	2
2.1 Objetivo geral.....	2
2.2 Objetivos específicos	2
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
3.1. Alimentos funcionais	3
3.2. Pão	5
3.2.1. Mercado	5
3.3. Trigo.....	6
3.3.1. Produtos de grãos inteiros	8
3.3.2. Polissacarídeos não-amiláceos.....	11
3.3.2.1. Arabinoxilanas (AX)	12
3.4. Enzimas em panificação	15
3.4.1. Xilanase (XIL).....	16
3.4.2. Glicose oxidase (GOX).....	19
3.4.3. Sinergismo entre xilanase e glicose oxidase em panificação.....	21
4. MATERIAL E MÉTODOS	23
4.1. Matérias - primas	23
4.2. Métodos	24
4.2.1. Condicionamento e moagem do trigo.....	24
4.2.2. Caracterização das farinhas de trigo de grão inteiro e comum	26
4.2.2.1 Composição centesimal.....	26
4.2.2.2. Teores de fibra alimentar solúvel e insolúvel.....	26
4.2.2.3. Granulometria	26
4.2.2.4. Farinografia.....	26
4.2.2.5. Extensografia.....	27
4.2.2.6. Viscosidade de pasta.....	27
4.2.2.7. Falling Number	27
4.2.2.8. Teores e índice de glúten	28
4.2.3. Sistema farinha, enzimas e ácido ascórbico	28
4.2.4. Produção dos Pães	28
4.2.4.1. Ensaio preliminares	28
4.2.4.2. Formulação.....	28
4.2.4.3. Planejamento experimental	29
4.2.4.4. Obtenção dos pães.....	31
4.2.5. Avaliação da qualidade dos pães.....	32
4.2.5.1. Volume específico	32
4.2.5.2. Cor instrumental do miolo	33
4.2.5.3. Avaliação da vida de prateleira dos pães	33
4.2.5.4. Análise sensorial.....	34
4.2.5.5. Teor de fibra alimentar.....	35
4.2.6. Análise estatística	35
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
5.1. Condicionamento e moagem do trigo	36

5.2. Caracterização das farinhas de trigo de grão inteiro e comum.....	36
5.2.1. Composição centesimal	36
5.2.1.1. Umidade	37
5.2.1.2. Lipídios	38
5.2.1.3. Proteínas	38
5.2.1.4. Cinzas.....	39
5.2.1.5. Carboidratos	39
5.2.2. Fibras solúveis e insolúveis.....	40
5.2.3. Granulometria	40
5.2.4. Propriedades reológicas das farinhas de trigo	40
5.2.4.1. Farinografia.....	41
5.2.4.2. Extensografia.....	42
5.2.5. Viscosidade de pasta	43
5.2.6. <i>Falling Number</i> (FN).....	44
5.2.7. Teores e índice de glúten.....	45
5.3. Sistema farinha, enzimas e ácido ascórbico	46
5.3.1. Farinografia	46
5.3.2. Extensografia	50
5.4. Avaliação da qualidade dos pães	54
5.4.1. Volume específico	54
5.4.2. Cor do miolo	57
5.4.2.1. L* do miolo.....	59
5.4.2.2. C* do miolo	60
5.4.2.3. h do miolo	62
5.4.3. Atividade de água.....	65
5.4.4. Umidade	73
5.4.5. Avaliação instrumental de textura	83
5.4.6. Análise sensorial	97
5.4.6.1. Teste de aceitação	97
5.4.6.2. Intenção de compra	99
5.4.7. Teor de fibra alimentar	100
6. CONCLUSÃO	101
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	104

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Produção nacional de trigo.
- Tabela 2.** Composição de polissacarídeos não-amiláceos em farinha de trigo.
- Tabela 3.** Formulação utilizada para a produção dos pães.
- Tabela 4.** Variáveis e níveis do planejamento experimental completo 2³.
- Tabela 5.** Matriz do planejamento experimental com os valores codificados.
- Tabela 6.** Frações da moagem do trigo.
- Tabela 7.** Composição centesimal das farinhas de trigo de grão inteiro e comum.
- Tabela 8.** Granulometria de farinha de trigo de grão inteiro.
- Tabela 9.** Características farinográficas da farinha de trigo de grão inteiro.
- Tabela 10.** Características extensográficas da farinha de trigo de grão inteiro.
- Tabela 11.** Atividade enzimática das farinhas de trigo comum e de grão inteiro.
- Tabela 12.** Teores de glúten úmido, glúten seco e índice de glúten.
- Tabela 13.** Características farinográficas das combinações de farinha de trigo de grão inteiro, xilanase, glicose oxidase e ácido ascórbico.
- Tabela 14.** Coeficientes de regressão para a resposta tempo de chegada.
- Tabela 15.** Coeficientes de regressão para a resposta tempo de desenvolvimento da massa.
- Tabela 16.** Coeficientes de regressão para a resposta estabilidade.
- Tabela 17.** Características extensográficas das combinações de farinha de trigo de grão inteiro, xilanase, glicose oxidase e ácido ascórbico.
- Tabela 18.** Coeficientes de regressão para a resposta resistência à extensão.
- Tabela 19.** Coeficientes de regressão para a resposta extensibilidade.
- Tabela 20.** Volume específico dos pães de forma
- Tabela 21.** Coeficientes de regressão para a resposta volume específico dos pães.
- Tabela 22.** Comparação de médias de volume específico de todos os ensaios do planejamento experimental com o pão padrão.
- Tabela 23.** Cor do miolo dos pães de forma de acordo com o planejamento experimental.

- Tabela 24.** Coeficientes de regressão para a resposta L^* dos pães de forma.
- Tabela 25.** Coeficientes de regressão para a resposta C^* dos pães de forma.
- Tabela 26.** Anova para a resposta C^* da cor dos pães de forma.
- Tabela 27.** Coeficientes de regressão para a resposta h dos pães de forma.
- Tabela 28.** Anova para a resposta h da cor dos pães de forma.
- Tabela 29.** Atividade de água dos pães de acordo com o planejamento experimental.
- Tabela 30.** Coeficientes de regressão para a resposta atividade de água dos pães de forma no primeiro dia de armazenamento.
- Tabela 31.** Anova para a resposta atividade de água dos pães no primeiro dia de armazenamento.
- Tabela 32.** Coeficientes de regressão para a resposta atividade de água dos pães de forma no quarto dia de armazenamento.
- Tabela 33.** Coeficientes de regressão para a resposta atividade de água dos pães de forma no sétimo dia de armazenamento.
- Tabela 34.** Anova para a resposta atividade de água dos pães no sétimo dia de armazenamento.
- Tabela 35.** Coeficientes de regressão para a resposta atividade de água dos pães de forma no décimo dia de armazenamento.
- Tabela 36.** Teste de comparação de médias para atividade de água dos pães de forma em função do período de armazenamento.
- Tabela 37.** Umidade dos pães de forma durante a vida de prateleira, segundo o planejamento experimental e porcentagem de redução da umidade em relação ao primeiro dia de armazenamento.
- Tabela 38.** Coeficientes de regressão para a resposta umidade dos pães no primeiro dia de armazenamento.
- Tabela 39.** Coeficientes de regressão para a resposta umidade dos pães no quarto dia de armazenamento.
- Tabela 40.** Coeficientes de regressão para a resposta umidade dos pães no sétimo dia de armazenamento.

Tabela 41. Anova para a resposta umidade dos pães no sétimo dia de armazenamento.

Tabela 42. Coeficientes de regressão para a resposta umidade dos pães no décimo dia de armazenamento.

Tabela 43. Anova para a resposta umidade dos pães no décimo dia de armazenamento.

Tabela 44. Valores de umidade dos pães de forma durante o período de armazenamento.

Tabela 45. Força de compressão dos pães de forma durante a vida de prateleira, segundo o planejamento experimental e porcentagem de aumento da textura em relação ao primeiro dia de armazenamento.

Tabela 46. Coeficientes de regressão para a resposta força de compressão dos pães no primeiro dia de armazenamento.

Tabela 47. Anova para a resposta força de compressão dos pães no primeiro dia de armazenamento.

Tabela 48. Coeficientes de regressão para a resposta força de compressão dos pães no quarto dia de armazenamento.

Tabela 49. Anova para a resposta força de compressão dos pães no quarto dia de armazenamento.

Tabela 50. Coeficientes de regressão para a resposta força de compressão dos pães no sétimo dia de armazenamento.

Tabela 51. Anova para a resposta força de compressão dos pães no sétimo dia de armazenamento.

Tabela 52. Coeficientes de regressão para a resposta força de compressão dos pães no décimo dia de armazenamento.

Tabela 53. Anova para a resposta força de compressão dos pães no décimo dia de armazenamento.

Tabela 54. Modelos matemáticos para força de compressão dos pães de forma.

Tabela 55. Teste de comparação de médias para força de compressão dos pães de forma em função do período de armazenamento.

Tabela 56. Quantidades de xilanase, glicose oxidase e ácido ascórbico

Tabela 57. Escores do teste de aceitação das amostras de pão de forma.

Tabela 58. Coeficientes de regressão para a resposta absorção de água.

Tabela 59. Coeficientes de regressão para a resposta tempo de chegada.

Tabela 60. Coeficientes de regressão para a resposta tempo de desenvolvimento da massa.

Tabela 61. Coeficientes de regressão para a resposta tempo de saída.

Tabela 62. Coeficientes de regressão para a resposta estabilidade.

Tabela 63. Coeficientes de regressão para a resposta índice de tolerância à mistura.

Tabela 64. Coeficientes de regressão para a resposta resistência à extensão.

Tabela 65. Coeficientes de regressão para a resposta resistência máxima.

Tabela 66. Coeficientes de regressão para a resposta extensibilidade.

Tabela 67. Coeficientes de regressão para a resposta número proporcional.

Tabela 68. Coeficientes de regressão para a resposta volume específico dos pães.

Tabela 69. Coeficientes de regressão para a resposta L^* da cor do miolo dos pães.

Tabela 70. Coeficientes de regressão para a resposta C^* do miolo dos pães.

Tabela 71. Coeficientes de regressão para a resposta h do miolo dos pães.

Tabela 72. Coeficientes de regressão para a resposta atividade de água dos pães no primeiro dia de armazenamento.

Tabela 73. Coeficientes de regressão para a resposta atividade de água dos pães no quarto dia de armazenamento.

Tabela 74. Coeficientes de regressão para a resposta atividade de água dos pães no sétimo dia de armazenamento.

Tabela 75. Coeficientes de regressão para a resposta atividade de água dos pães no décimo dia de armazenamento.

Tabela 76. Coeficientes de regressão para a resposta umidade dos pães no primeiro dia de armazenamento.

Tabela 77. Coeficientes de regressão para a resposta umidade dos pães no quarto dia de armazenamento.

Tabela 78. Coeficientes de regressão para a resposta umidade dos pães no sétimo dia de armazenamento.

Tabela 79. Coeficientes de regressão para a resposta umidade dos pães no décimo dia de armazenamento.

Tabela 80. Coeficientes de regressão para a resposta força de compressão dos pães no primeiro dia de armazenamento.

Tabela 81. Coeficientes de regressão para a resposta força de compressão dos pães no quarto dia de armazenamento.

Tabela 82. Coeficientes de regressão para a resposta força de compressão dos pães no sétimo dia de armazenamento.

Tabela 83. Coeficientes de regressão para a resposta força de compressão dos pães no décimo dia de armazenamento.

Tabela 84. Valores experimentais, previstos pelo modelo, desvios e desvios relativos da resposta C^* da cor do miolo dos pães.

Tabela 85. Valores experimentais, previstos pelo modelo, desvios e desvios relativos da resposta h da cor do miolo dos pães.

Tabela 86. Valores experimentais, previstos pelo modelo, desvios e desvios relativos da resposta atividade de água no primeiro dia de armazenamento.

Tabela 87. Valores experimentais, previstos pelo modelo, desvios e desvios relativos da resposta atividade de água no sétimo dia de armazenamento.

Tabela 88. Valores experimentais, previstos pelo modelo, desvios e desvios relativos da resposta umidade no sétimo dia de armazenamento.

Tabela 89. Valores experimentais, previstos pelo modelo, desvios e desvios relativos da resposta umidade no décimo dia de armazenamento.

Tabela 90. Valores experimentais, previstos pelo modelo, desvios e desvios relativos da resposta força de compressão no primeiro dia de armazenamento.

Tabela 91. Valores experimentais, previstos pelo modelo, desvios e desvios relativos da resposta força de compressão no quarto dia de armazenamento.

Tabela 92. Valores experimentais, previstos pelo modelo, desvios e desvios relativos da resposta força de compressão no sétimo dia de armazenamento.

Tabela 93. Valores experimentais, previstos pelo modelo, desvios e desvios relativos da resposta força de compressão no décimo dia de armazenamento.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Elementos estruturais de AX.

Figura 2: Ação da xilanase na arabinoxilana.

Figura 3: Conversão de WUAX em WEAX pela endoxilanase.

Figura 4: Mecanismo proposto para a ação da glicose oxidase, via ligações dissulfeto.

Figura 5: Fluxograma do processo de moagem do trigo.

Figura 6: Massa após o batimento.

Figura 7: Massa após a fermentação.

Figura 8: Glúten úmido (a) e glúten seco (b) da farinha de trigo de grão inteiro

Figura 9: Superfícies de resposta e curvas de contorno para o parâmetro C* da cor dos pães de forma em função: (a) e (b) da xilanase e da glicose oxidase, (c) e (d) da xilanase e do ácido ascórbico, estando a 3ª variável fixada no nível 0.

Figura 10: Superfícies de resposta e curvas de contorno para o parâmetro h da cor do miolo dos pães de forma em função das concentrações de: (a) e (b) xilanase e glicose oxidase, (c) e (d) xilanase e ácido ascórbico, (e) e (f) glicose oxidase e ácido ascórbico, estando a 3ª variável fixada no nível 0.

Figura 11: Atividade de água do pão no primeiro dia de armazenamento em função do ácido ascórbico.

Figura 12: Atividade de água do pão no sétimo dia de armazenamento em função do ácido ascórbico.

Figura 13: Atividade de água dos pães de forma durante o período de armazenamento.

Figura 14: Superfícies de resposta e curvas de contorno para a umidade do pão no sétimo dia de armazenamento em função: (a) e (b) da xilanase e da glicose oxidase, (c) e (d) da xilanase e do ácido ascórbico, estando a 3ª variável fixada no nível 0.

Figura 15: Superfícies de resposta e curvas de contorno para a umidade do pão no décimo dia de armazenamento em função: (a) e (b) da xilanase e da glicose

oxidase, (c) e (d) da xilanase e do ácido ascórbico, (e) e (f) da glicose oxidase e do ácido ascórbico, estando a 3^a variável fixada no nível 0.

Figura 16: Perfil da redução de umidade dos pães de forma durante o armazenamento.

Figura 17: Superfícies de resposta e curvas de contorno para a força de compressão do pão no primeiro dia de armazenamento em função: (a) e (b) da xilanase e do ácido ascórbico, (c) e (d) da glicose oxidase e do ácido ascórbico, estando a 3^a variável fixada no nível 0.

Figura 18: Superfícies de resposta e curvas de contorno para a força de compressão do pão no quarto dia de armazenamento em função: (a) e (b) da xilanase e da glicose oxidase, (c) e (d) da xilanase e do ácido ascórbico, (e) e (f) da glicose oxidase e do ácido ascórbico, estando a 3^a variável fixada no nível 0.

Figura 19: Superfícies de resposta e curvas de contorno para a força de compressão do pão no sétimo dia de armazenamento em função: (a) e (b) da xilanase e da glicose oxidase, (c) e (d) da xilanase e do ácido ascórbico, (e) e (f) da glicose oxidase e do ácido ascórbico, estando a 3^a variável fixada no nível 0.

Figura 20: Superfícies de resposta e curvas de contorno para a força de compressão do pão no décimo dia de armazenamento em função: (a) e (b) da xilanase e da glicose oxidase, (c) e (d) da xilanase e do ácido ascórbico, estando a 3^a variável fixada no nível 0.

Figura 21: Força de compressão do miolo dos pães de forma durante o armazenamento.

Figura 22: Pães de forma utilizados na análise sensorial.

Figura 23: Resultados da intenção de compra das amostras de pão de forma.

RESUMO

A demanda por produtos integrais está crescendo a cada dia no Brasil e no mundo. Isso se deve principalmente ao fato destes alimentos estarem relacionados com a saúde. A relação entre dieta e incidência de doenças crônico-degenerativas tem levado os consumidores a se preocuparem mais com a alimentação. Porém, apesar da grande procura por esses alimentos funcionais, a população prefere aqueles que mantenham as características sensoriais dos produtos originais. O objetivo deste trabalho foi estudar a influência da adição de xilanase, glicose oxidase e ácido ascórbico na qualidade do pão de forma, utilizando farinha de trigo de grão inteiro. Nesta farinha foram realizadas análises de composição centesimal, granulometria, teor e índice de glúten, farinografia, extensografia, viscosidade de pasta e falling number. Foi elaborado um delineamento composto central rotacional com três variáveis independentes: xilanase (x_1), glicose oxidase (x_2) e ácido ascórbico (x_3). O delineamento incluiu dezessete ensaios: oito pontos fatoriais, seis pontos axiais e três repetições do ponto central. Os resultados foram analisados por Metodologia de Superfície de Resposta. As variáveis dependentes foram as propriedades reológicas da farinha e as características do pão. Os pães de forma foram analisados quanto ao volume específico, atividade de água, umidade, textura e cor do miolo. Duas formulações, selecionadas na faixa ótima encontrada no delineamento (xilanase: 92,38EDX/Kg, glicose oxidase: 148,95SRU/Kg, ácido ascórbico: 80ppm e xilanase: 92,38EDX/Kg, glicose oxidase: 137,37SRU/Kg, ácido ascórbico: 70ppm), e a formulação padrão foram submetidas a testes de aceitação e de intenção de compra por 37 provadores, que avaliaram os atributos aparência, cor, aroma, sabor e textura. Os resultados mostraram que a adição de xilanase, glicose oxidase e ácido ascórbico interferiu nas características do pão. Quanto ao volume dos pães, houve diferença significativa entre o pão padrão e apenas duas formulações do delineamento (ensaios 2 e 12). Em relação à umidade dos pães, verificou-se que maiores valores dessa resposta foram encontrados nos pães onde menores níveis de xilanase e maiores níveis de glicose oxidase e ácido ascórbico foram adicionados. O teor de umidade foi reduzido ao longo do período

de armazenamento, tanto para o pão padrão, quanto para os pães dos ensaios. Verificou-se que a textura dos pães de forma foi afetada pela adição das enzimas e do ácido ascórbico, ao longo da vida de prateleira. Menores valores de firmeza dos miolos dos pães de forma foram obtidos quando formulações com maiores concentrações de ácido ascórbico e glicose oxidase e níveis intermediários de xilanase foram utilizadas. Em relação à análise sensorial, os consumidores apresentaram boa aceitação e intenção de compra para os pães de forma. Todas as formulações obtiveram médias localizadas entre os termos “gostei moderadamente” e “gostei muito” e a maioria dos provadores indicou que provavelmente comprariam os pães. Os resultados mostram que a farinha de trigo de grão inteiro, adicionada de xilanase, glicose oxidase e ácido ascórbico, possui grande potencial na elaboração de pães de forma com alto valor nutritivo e funcional.

Palavras-chaves: pão, farinha de trigo de grão inteiro, xilanase, glicose oxidase, fibras, alimento funcional.

ABSTRACT

The demand for whole products is increasing day by day both in Brazil and in the world, mainly because such foods are related to health. The relationship between diet and the incidence of chronic-degenerative diseases has led consumers to think more about eating healthy foods. However, despite the great search for such functional foods, the consumers prefer those that maintain the sensory characteristics of the original ones. The objective of this research was to study the effect of adding xylanase, glucose oxidase and ascorbic acid on the quality of loaf bread made using whole-wheat flour. The proximate composition, granule size, gluten content and index, the farinographic and extensographic parameters, pasting viscosity and falling number of the whole-wheat flour were determined. A central composite rotational design was elaborated, with three independent variables: xylanase (x_1), glucose oxidase (x_2) and ascorbic acid (x_3), resulting in seventeen assays: eight factorial points, six axial points and three repetitions at the central point. The results were analyzed using Response Surface Methodology, where the dependent variables were the rheological properties of the flour and the bread quality characteristics. The loaf features evaluated were: specific volume, water activity, moisture content, texture and crumb color. Two formulas, selected in the range of the design designated as excellent (xylanase: 92.38 EDX/Kg, glucose oxidase: 148.95 SRU/Kg, ascorbic acid: 80ppm and xylanase: 92.38 EDX/Kg, glucose oxidase: 137.37 SRU/Kg, ascorbic acid: 70ppm), and the standard bread formula, were submitted to sensory acceptance and buying intention tests with 37 consumers, who evaluated the attributes of appearance, color, aroma, flavor and texture. The results showed that the addition of xylanase, glucose oxidase and ascorbic acid changed the bread characteristics. With respect to loaf volume, a statistical difference was only found between the standard loaf and two of the formulations (assays 2 and 12), and for moisture content, the highest values were found in the bread with lower concentrations of xylanase and larger amounts of glucose oxidase and ascorbic acid. The moisture content decreased during the shelf life for both the standard bread and all the assay samples. The addition of the

enzymes and ascorbic acid was shown to affect the texture of the bread during the shelf life. Lower values for breadcrumb firmness were obtained for the formulas with higher concentrations of ascorbic acid and glucose oxidase and intermediate levels of xylanase, and in the sensorial analysis, good scores were obtained for consumer acceptance and buying intention. All the formulas obtained average scores located between the terms "liked moderately" and "liked very much" and the majority of the consumers indicated they would probably buy the bread. The results showed that the whole-wheat flour used, with the addition of xylanase, glucose oxidase and ascorbic acid, presented considerable potential for the elaboration of loaf bread with high nutritional and functional value.

Key-words: bread, whole wheat flour, xylanase, glucose oxidase, fiber, functional food.

1. INTRODUÇÃO

Pesquisas demonstram que produtos de grãos inteiros têm efeitos benéficos à saúde sendo excelente fonte de antioxidantes que podem agir independente ou sinergicamente com fibras alimentares na redução do risco de várias doenças, tais como câncer, doenças cardiovasculares, diabetes e obesidade. Eles também fornecem vitaminas - especialmente vitaminas B e E, minerais (cálcio, magnésio, potássio, fósforo, zinco e ferro), gordura, lignanas e compostos fenólicos, encontrados principalmente nos componentes do farelo e do gérmen dos grãos (Jensen et al., 2004; Decker et al., 2002; Slavin et al., 2000).

Não estão completamente entendidos quais os componentes dos grãos inteiros são responsáveis pela redução do risco de algumas doenças. Geralmente, focam-se em fibras (Miller et al., 2000; van der Kamp et al., 2004). Porém, é mais provável que os efeitos benéficos venham de uma combinação de componentes e não de um componente isolado (Buri, von Reding & Gavin, 2004).

O processamento de produtos de grãos inteiros apresenta certas dificuldades tecnológicas. Desta forma, muitos aditivos são utilizados para influenciar as características estruturais e físico-químicas dos constituintes da farinha, otimizando sua funcionalidade em panificação. Enzimas microbianas podem oferecer grande ajuda para esses problemas e podem ser adicionadas como coadjuvantes de tecnologia.

Recentemente, o aumento da utilização de enzimas para substituição completa ou parcial de outros aditivos vem crescendo no setor alimentício. Embora enzimas sejam conhecidas por terem efeitos benéficos em panificação, muito pouco ainda é conhecido sobre seus mecanismos de ação (Poutanen, 1997).

Xilanases, também conhecidas como hemicelulases e pentosanases, são utilizadas em panificação devido ao seu efeito positivo nas propriedades da massa e na qualidade do pão. Ela melhora as propriedades de manipulação da massa (Hilhorst et al., 2002; Poutanen, 1997), volume e maciez do pão, estrutura do miolo (Martínez-Anaya & Jiménez, 1998; Primo-Martín & Martínez-Anaya, 2003); aumenta o *oven spring* e altera a distribuição de água na massa (Haros, Rosell, &

Benedito, 2002). É também sabido que xilanases têm um efeito na vida útil do pão, mas sua ação não está clara (Haros, Rosell & Benedito, 2002).

Acredita-se que o mecanismo da xilanase na massa e no pão esteja relacionado com a solubilização de arabinoxilanas insolúveis, as quais têm propriedades indesejáveis em panificação (Hille & Schooneveld-Bergmans, 2004).

Para melhorar o desempenho em panificação, oxidantes também são frequentemente adicionados à farinha (Dunnewind, van Vliet & Orsel, 2002). O bromato de potássio era muito utilizado, porém seu uso foi proibido devido a questões que dizem respeito à segurança e, com isso, a substituição de oxidantes químicos por enzimas, como glicose oxidase, é uma opção interessante.

A glicose oxidase (GOX) pode ser usada para promover a oxidação da matriz protéica, atraindo considerável interesse como um melhorador da massa de farinha de trigo (Dunnewind, van Vliet & Orsel, 2002).

Existem muitos trabalhos que estudam isoladamente aspectos relacionados tanto aos pães de grãos inteiros quanto pães cujas formulações contêm enzimas, no entanto, não existem trabalhos que relacionam estes dois aspectos. Portanto, o objetivo deste trabalho foi estudar o efeito da adição de xilanase, glicose oxidase e ácido ascórbico nas características do pão de forma utilizando farinha de trigo de grão inteiro.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Estudar a influência da adição das enzimas xilanase e glicose oxidase e do ácido ascórbico nas características do pão de forma utilizando farinha de trigo de grão inteiro.

2.2 Objetivos específicos

Estudar os efeitos das enzimas xilanase e glicose oxidase e do ácido ascórbico nas propriedades reológicas da farinha (parâmetros farinográficos e extensográficos) e nas características do pão de forma (volume específico, cor do miolo, atividade de água, umidade, textura e características sensoriais).

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Alimentos funcionais

Com o aumento na expectativa de vida da população, aliado ao crescente aparecimento de doenças crônicas como obesidade, aterosclerose, hipertensão, osteoporose, diabetes e câncer, está havendo uma maior preocupação, por parte da população e dos órgãos públicos de saúde, com a alimentação (Vieira & Cornélio, 2006).

O avanço dos conhecimentos sobre a relação entre alimentação e saúde, os elevados custos da saúde pública e a busca permanente da indústria por inovações têm gerado novos produtos cujas funções pretendem ir além do conhecido papel nutricional dos alimentos. Esses produtos são conhecidos como alimentos funcionais (Ilsi, 2004).

O termo alimentos funcionais foi primeiramente introduzido no Japão em meados dos anos 80, sendo o único país que já formulou um processo de regulação específico para os alimentos funcionais. Conhecidos como alimentos para uso específico de saúde (FOSHU), estes alimentos são qualificados e trazem um selo de aprovação do Ministério de Saúde e Previdência Social japonês (Cândido, 2002).

No Brasil, a regulamentação é feita pela ANVISA, que em 1999 publicou duas resoluções relacionadas aos alimentos funcionais: Resolução nº 18, de 30/04/1999 (republicada em 03/12/1999), a qual aprova o regulamento técnico que estabelece as diretrizes básicas para análise e comprovação de propriedades funcionais e/ou de saúde alegadas em rotulagem de alimentos e Resolução nº 19, de 30/04/1999 (republicada em 10/12/1999) que aprova o Regulamento Técnico de procedimentos para registro de alimento com alegação de propriedades funcionais e/ou de saúde em sua rotulagem (Brasil, 1999).

Essas resoluções fazem distinção entre alegação de propriedade funcional e alegação de propriedade de saúde, como segue:

Alegação de propriedade funcional: é aquela relativa ao papel metabólico ou fisiológico que o nutriente ou não nutriente tem no crescimento, desenvolvimento, manutenção e outras funções normais do organismo humano.

Alegação de propriedade de saúde: é aquela que afirma, sugere ou implica a existência da relação entre o alimento ou ingrediente com doença ou condição relacionada à saúde.

Alimento funcional pode ser definido como qualquer alimento que produza um impacto positivo à saúde, performance física ou comportamental dos indivíduos, além de contribuir com seu valor nutricional. Portanto, deve apresentar uma função particular após sua ingestão, servindo para regular um processo metabólico específico, como aumento dos mecanismos de defesa biológica, prevenção de doenças, aumento da resistência, controle das condições físicas naturais de envelhecimento e outros (Castro, 2001).

Segundo a ABIA – Associação Brasileira das Indústrias da Alimentação, o mercado de alimentos funcionais movimentava cerca de R\$ 650 milhões e só em 2005 as vendas desses produtos cresceram 36% (Propan, 2006).

Os benefícios oferecidos por esses alimentos são determinados pelos ingredientes utilizados nas formulações. Dentre as classes reconhecidas como favorecedoras da saúde, encontram-se: fibras alimentares, oligossacarídeos, proteínas e peptídeos, vitaminas, antioxidantes, minerais, ácidos graxos polinsaturados e bactérias ácido-láticas (Vieira & Cornélio, 2006).

Dentre os alimentos funcionais, os alimentos integrais vêm ganhando um espaço cada vez maior na alimentação dos brasileiros. Isso se deve às vantagens nutricionais e aos benefícios que eles trazem à saúde, pois são alimentos ricos em fibras, vitaminas e minerais.

De modo geral, a pesquisa e o oferecimento de alimentos funcionais tendem a continuar crescendo no século XXI, pelo maior esclarecimento da população com os aspectos relacionados à saúde, envelhecimento, aumento dos custos previdenciários, avanços científicos e mudanças na legislação de alimentos (Esteller, 2004).

3.2. Pão

O pão está presente na vida do homem desde os seus primórdios, porém, era mais rudimentar. Ao longo do tempo, ele foi aperfeiçoado, ganhando novas formas, formulações e processos. Os avanços tecnológicos permitiram a substituição ou a agregação de ingredientes buscando uma melhor qualidade. Esse produto é bastante popular no Brasil devido, principalmente, ao excelente sabor, preço e disponibilidade do produto (Esteller, 2004).

Segundo a Resolução RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005, (Brasil, 2005) pão é o produto obtido da farinha de trigo e/ou outras farinhas, adicionado de líquido, resultante do processo de fermentação ou não e cocção, podendo conter outros ingredientes, desde que não descaracterizem o produto. Pode apresentar cobertura, recheio, formato e textura diversos.

Outros componentes são adicionados em pequena quantidade para melhorar as características da massa durante o processamento e as características do produto final. Esses componentes são gordura vegetal, açúcares, emulsificantes, agentes oxidantes e enzimas (Matuda, 2004).

3.2.1. Mercado

Grande parte do consumo brasileiro é representada pela linha constituída por pães com crosta fina e bastante miolo, como pães de forma, hambúrguer, hotdog e bisnagas. O sucesso destes pães é caracterizado, sobretudo, pela maciez e facilidade de mastigação, combinada com o uso de recheios cremosos como maionese, requeijão, margarinas, patês e outros (Esteller, 2004).

Segundo a ABIP (2006), o setor de panificação está entre os seis maiores segmentos industriais do país; possuindo 52 mil empresas, participando com 36,2% das indústrias de alimentos. Além disso, o faturamento é de cerca de R\$ 25 bilhões por ano, gera 580 mil empregos diretos e 1,5 milhão indiretos. Os produtos panificados ocupam a terceira colocação na lista de compras do brasileiro representando, em média, 12% do orçamento familiar para alimentação (Esteller, 2004). Em 2006, o consumo médio de pão no Brasil foi de 33,11 kg per capita. Esta quantidade representa a metade da porção recomendada por organismos

mundiais de alimentação como a Organização Mundial de Saúde (60 kg/ano) e Food and Agriculture Organization (50 kg/ano) (Sindipan, 2005).

3.3. Trigo

O trigo apresenta grande importância para a economia do Brasil, devido ao elevado consumo de seus derivados, principalmente pão, macarrão e farinha (Carneiro et al., 2005). Ele ocupa o primeiro lugar em volume de produção mundial. No Brasil, a produção anual oscila entre 5 e 6 milhões de toneladas. O consumo anual no país tem se mantido em torno de 10 milhões de toneladas (Embrapa, 2006b).

Segundo o levantamento realizado pela CONAB (2006), prevê-se uma produção nacional de trigo de apenas 2,24 milhões de toneladas, inferior em aproximadamente 50% à safra anterior, causada pela redução na área e na produtividade, esta devido à estiagem no início do ciclo da planta no Paraná, temperaturas reduzidas no Paraná e no Rio Grande do Sul e estiagem em São Paulo e Mato Grosso do Sul (Tabela 1).

Este é o menor volume dos últimos sete anos. A média de produção de 2000 a 2005 foi de 4,7 milhões de toneladas. Com a fraca colheita, o Brasil deverá importar pelo menos 8 milhões de toneladas para complementar o consumo (Sindipan, 2006). Se confirmadas as estimativas, as despesas com as importações podem superar US\$ 1,2 bilhão (Embrapa, 2006).

Tabela 1. Produção nacional de trigo

Estimativa de produção nacional de trigo (em 1000 ton)		
Safra	2005/2006	2006/2007
Produção	4.873,10	2.244,40
Participação	4,10%	1,90%

Fonte: CONAB – Levantamento: Nov / 2006

O trigo é o cereal mais importante em panificação, embora em algumas partes do mundo o uso de centeio seja substancial (Goesaert et al., 2005). Dentre as farinhas dos diferentes cereais, apenas a do trigo tem a capacidade de formar uma massa viscoelástica e as proteínas formadoras do glúten são as principais responsáveis por esta característica (Tedru et al., 2001).

Todos os grãos contêm proteínas, mas somente a proteína do trigo possui a habilidade de formar glúten, o qual constitui num filme elástico responsável pela retenção do gás produzido durante a fermentação da massa e os primeiros estágios de cozimento do pão e, conseqüentemente, pelo crescimento da mesma. Portanto, a habilidade da farinha de trigo formar uma massa viscoelástica, requerida para a produção de pão, depende amplamente das propriedades físico-químicas peculiares de suas proteínas, particularmente das proteínas do glúten (Pizzinato, 1999).

As proteínas do trigo são divididas em dois grupos, um deles formado pelas albuminas e globulinas (não formadoras de glúten), representando 15% das proteínas totais e, o outro, formado pela gliadina (alta extensibilidade e baixa elasticidade) e glutenina (baixa extensibilidade e alta elasticidade) que compreendem os restantes 85% das proteínas e são as proteínas formadoras do glúten (Hoseney, 1994).

Além disso, o trigo apresenta grande importância na alimentação sendo considerado uma das principais fontes de nutrientes. Ele é composto por três partes principais: endosperma, casca (farelo) e gérmen, que correspondem a aproximadamente 83%, 14,5% e 2,5% do grão, respectivamente (Ciacco & Chang, 1986).

As substâncias fisiologicamente benéficas não estão igualmente distribuídas no grão. Elas estão concentradas principalmente na camada de aleurona. Esta é uma camada unicelular que forma a parte mais externa do endosperma e constitui 7-9% do grão e 45-50% do farelo. No processo de moagem, farelo e gérmen são removidos, conseqüentemente, a camada de aleurona também é perdida por estar unida ao pericarpo (Buri, von Reding & Gavin, 2004).

Para melhorar o valor nutricional do trigo, uma das maneiras mais simples e efetivas é através do aumento da taxa de extração e/ou uso de farinha de trigo de grão inteiro. Porém, esse produto apresenta uma reduzida estabilidade ao armazenamento, caracterizada pelo desenvolvimento de sabores e odores indesejáveis e perda de qualidade para panificação. Isso ocorre devido, principalmente, à presença de lipases e glutatonas no farelo e no gérmen.

As glutatonas enfraquecem as propriedades da massa por clivarem ligações dissulfídicas de polímeros de glutenina. O gérmen também contribui para acelerar a rancidez oxidativa durante o armazenamento (Marquart et al., 2002). Pesquisas estão sendo feitas nessa área, com o objetivo de aumentar a vida útil das farinhas de trigo de grão inteiro.

3.3.1. Produtos de grãos inteiros

Para um alimento ser considerado produto de grão inteiro, e utilizar um apelo saudável em sua embalagem, ele deve conter 51% ou mais de grão inteiro por peso. Isso significa que o grão inteiro deve ser o primeiro ingrediente na lista de ingredientes (FDA, 2006).

Pesquisas demonstram que grãos inteiros têm efeitos benéficos à saúde, sendo uma excelente fonte de antioxidantes que podem agir independente ou sinergisticamente com fibras alimentares na redução do risco de várias doenças, tais como câncer, doenças cardiovasculares (Jensen et al., 2004), diabetes (Decker et al., 2002), obesidade (Adams & Engstrom, 2000). Eles também fornecem vitaminas, minerais, proteínas, amido, gordura, lignanas e compostos fenólicos (Slavin et al., 2000). Algumas pesquisas ainda indicam que grãos inteiros reduzem a concentração de colesterol total e da fração LDL colesterol, onde o farelo de trigo parece ter um efeito específico na redução de triacilglicerol (Anderson & Hanna, 1999)

Não estão completamente entendidos quais os componentes dos grãos inteiros são responsáveis pela redução do risco de algumas doenças. Geralmente, focam-se em fibras (Miller et al., 2000; van der Kamp et al., 2004), que consistem em materiais não-digeríveis pelos organismos humano e animal (Cecchi, 2003).

Porém, é mais provável que os efeitos benéficos venham de uma combinação de componentes e não de um componente isolado (Buri, von Reding & Gavin, 2004).

Compostos antioxidantes identificados em frutas, vegetais, chás e vinhos são utilizados para explicar como o consumo desses alimentos e bebidas pode reduzir a incidência de doenças. Entretanto, os grãos inteiros também contêm uma variedade de compostos antioxidantes, incluindo vários daqueles comuns em frutas e vegetais e muitos também são únicos (Decker et al., 2002). Os antioxidantes comuns em grãos inteiros são: flavonóides, ácidos fenólicos, ácido fítico, tocoferol e tocotrienol (vitamina E). Os flavonóides estão mais concentrados em frutas e vegetais, mas também são encontrados em grãos. Sua ingestão está inversamente associada com doenças coronarianas (Decker et al., 2002).

O ácido fítico é encontrado em grande quantidade na camada de aleurona do trigo. O fitato tem a habilidade de formar quelatos com metais, inibindo a absorção desses minerais, isto é, reduzindo sua biodisponibilidade. Desse lado, o fitato é um antinutriente e tem sido considerado indesejável (Buri, von Reding & Gavin, 2004). Porém, o ácido fítico pode proteger tecidos contra reações oxidativas através de sua habilidade para seqüestrar e inativar metais envolvidos em reações oxidativas. Alguns autores consideram o ácido fítico, o componente chave dos efeitos anticarcinogênicos do farelo do trigo (Buri, von Reding & Gavin, 2004).

Grãos inteiros também são fontes de compostos com atividade vitamina E (tocoferol e tocotrienol) - antioxidante que protege os ácidos graxos polinsaturados nas membranas da célula de danos oxidativos (Slavin et al., 2000).

Grãos de cereais são boas fontes de lignanas, também chamadas de fitoestrógenos. Elas exibem atividade antioxidante e potencial atividade estrogênica. Há evidência científica que elas podem ajudar a reduzir os riscos de câncer relacionados com hormônios, tais como câncer de mama e próstata, e também doenças coronárias. Elas funcionam como um precursor para a formação de lignina nas paredes celulares da planta (Buri, von Reding & Gavin, 2004).

Grãos inteiros são ricos em carboidratos fermentáveis incluindo fibras, amidos resistente e oligossacarídeos. Os carboidratos não digeríveis que chegam

ao cólon são fermentados pela microflora intestinal a ácidos graxos de cadeia curta tais como acetato, butirato e propionato, e gases. A produção de ácidos graxos de cadeia curta reduz o pH intestinal; inibindo a conversão de ácidos biliares primários em ácidos biliares secundários. Em baixo pH, a solubilidade de ácidos biliares é reduzida, diminuindo sua disponibilidade para atividade carcinogênica (Simha, 2005).

As fibras alimentares aumentam o volume fecal e reduzem o tempo de permanência no intestino, reduzindo o risco de câncer de cólon. Uma possível explicação é que o aumento do volume fecal e a redução do tempo de trânsito intestinal permitem menor oportunidade de patógenos interagirem com o epitélio intestinal (Slavin et al., 2000). Estudos recentes têm mostrado uma relação inversa entre a ingestão de fibra alimentar e a incidência de câncer de intestino (Buri, von Reding & Gavin, 2004).

A digestão e a absorção se tornam mais lentas devido ao aumento da viscosidade no trato digestivo, retardando o aumento de níveis de glicose no sangue e reduzindo o índice glicêmico (Buri, von Reding & Gavin, 2004).

Além de todos esses benefícios, o trigo possui, principalmente na camada de aleurona, muitos compostos importantes. O conteúdo de proteína da camada aleurona é bastante alto, e os aminoácidos essenciais são bem balanceados, sendo um excelente complemento da proteína do glúten com respeito a esses aminoácidos (Buri, von Reding & Gavin, 2004).

Além disso, o conteúdo de cinzas da camada de aleurona é muito mais alto que aquele do trigo e farelo de trigo. Mais de 80% dos minerais no grão de trigo estão concentrados na camada de aleurona. Dentre eles: fósforo, potássio, magnésio, cálcio, ferro e zinco (Buri, von Reding & Gavin, 2004).

Os cereais são também uma boa fonte de vitamina B (tiamina, niacina, riboflavina e ácido pantotênico) e uma significativa quantidade é encontrada na camada de aleurona do trigo. Já os esteróis são encontrados principalmente no gérmen e estão relacionados com a redução do risco de câncer (Simha, 2005). Os fitoesteróis reduzem os níveis de colesterol e o risco de câncer do cólon.

Nenhum estudo científico tem sido realizado para determinar o exato número de porções de grãos inteiros ideais na dieta. Alguns autores recomendam, no mínimo, três porções por dia (Jensen et al., 2004; Adams & Engstrom, 2000). De acordo com a pirâmide nutricional do USDA (2006), a quantidade necessária de grãos ingeridos depende da idade, do sexo e do nível de atividade física de cada indivíduo.

Produtos de grãos inteiros competem com o pão branco e outros produtos de grãos refinados tais como bolos, biscoitos e massas. Além disso, a presença de farelo e fibras alimentares nas farinhas integrais causa dificuldades para a aplicação em produtos processados, pois apresenta aparência e textura pobres e cor mais escura. Dessa forma, tornam-se necessárias estratégias para aumentar o consumo de grãos inteiros. Algumas recomendações focam na melhoria do sabor, por edulcorantes ou por simples adição de canela ou manteiga, pois a secura e/ou o amargor são marcantes nos produtos obtidos de grãos inteiros (Adams & Engstrom, 2000).

3.3.2. Polissacarídeos não-amiláceos

Além de amido e glúten, a farinha de trigo também contém outros tipos de substâncias das quais os polissacarídeos não-amiláceos e os lipídios são os mais importantes em termos de impacto na processabilidade e qualidade de produtos finais (Goesaert et al., 2005).

Os polissacarídeos não-amiláceos, conhecidos como hemiceluloses, são componentes da parede celular do trigo. Os maiores constituintes são arabinoxilanas, arabinogalactanas, celulose, β -glucanas, glucomanas e ligninas. O conteúdo total dessa fração na farinha de trigo comum é de aproximadamente 3%; e na farinha de trigo de grão inteiro, 4-7% (Hille & Schooneveld-Bergmans, 2004).

Apesar de estar presente em quantidades relativamente baixas, hemiceluloses representam um importante papel na reologia da massa e nas propriedades do pão, pois elas são capazes de absorver grande quantidade de água (Monfort et al., 1997). A composição aproximada na farinha está mostrada na Tabela 2.

Tabela 2. Composição de polissacarídeos não-amiláceos em farinha de trigo (g/100g de farinha).

Polissacarídeo não amiláceo	Extraível em água	Não extraível em água	Total
Arabinoxilana	0,3 - 0,5	0,6 - 1,3	0,9 - 1,8
Arabinogalactana	0,1 - 0,3	...	0,1 - 0,3
Glucana	...	0,1 - 0,3	0,1 - 0,3
Celulose	...	0,1 - 0,3	0,1 - 0,3
Glucomanana	...	Traços	Traços
Total	0,4 - 0,8	0,8 - 1,6	1,2 - 2,4

Fonte: Hille & Schooneveld-Bergmans, 2004.

Como pode ser observado pela Tabela 2 as arabinoxilanas são os polissacarídeos não-amiláceos presentes em maiores quantidades nas farinhas de trigo utilizadas em panificação (Hille & Schooneveld-Bergmans, 2004).

3.3.2.1. Arabinoxilanas (AX)

Arabinoxilanas, também conhecidas como pentosanas, são carboidratos que consistem de uma cadeia principal linear de unidades de D-xilopiranosil ligadas por β -(1-4), podendo ser não-substituída, mono-substituída na posição C(O)-3 ou C(O)-2 ou di-substituída nas posições C(O)-3 e C(O)-2 com unidades de α -L-arabinofuranosil (Ordaz-Ortiz & Saulnier, 2005). Ácido ferúlico pode ser ligado ao C(O)-5 da arabinose, através de uma ligação éster (Goesaert et al., 2005). As estruturas são mostradas na Figura 1.

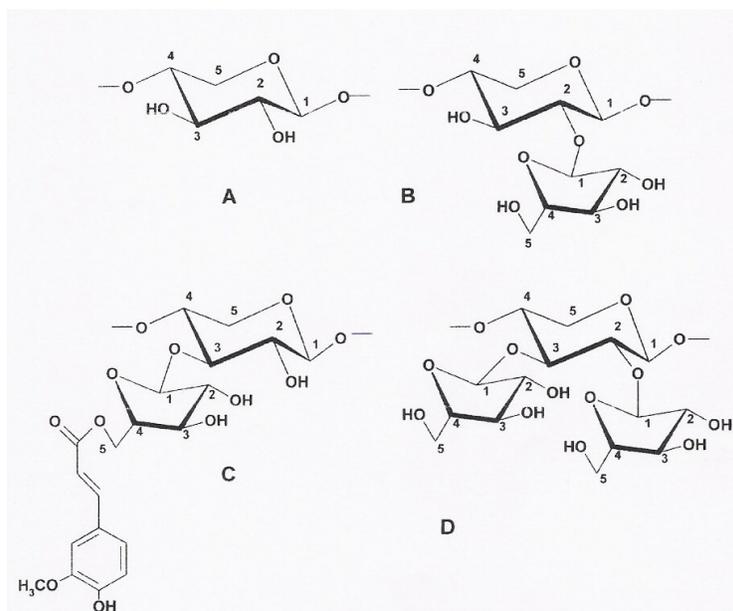


Figura 1: Elementos estruturais de AX: (A) resíduo D-xilopiranosose não substituído; (B) resíduo D-xilopiranosose substituído em C(O)-2 com um resíduo L-arabinofuranose; (C) resíduo D-xilopiranosose substituído em C(O)-3 com um resíduo L-arabinofuranose; (D) resíduo D-xilopiranosose substituído em C(O)-2 e C(O)-3 com resíduos L-arabinofuranose. A estrutura C mostra a ligação do ácido ferúlico com C(O)-5 do resíduo L-arabinofuranose.

Esses polissacarídeos têm uma estrutura geral simples, mas são heterogêneos no grau e distribuição de ramificações de arabinose, conteúdo de ácido ferúlico, peso molecular e extratibilidade em água (Hille & Schooneveld-Bergmans, 2004).

As arabinoxilanas, apesar de estarem presentes em pequenas quantidades quando comparadas a outros componentes como amido e proteínas, são extremamente importantes pela capacidade de se ligarem à água, exercendo um significativo efeito na farinha e, conseqüentemente, na qualidade da massa e do pão.

As pentosanas existem em uma forma livre ou em associação com proteínas e outros polissacarídeos (Martínez-Anaya & Jiménez, 1997), podendo

ser divididas em arabinoxilanas extraíveis em água (WEAX - water extractable arabinoxylans - 25% do total) e arabinoxilanas não-extraíveis em água (WUAX - water unextractable arabinoxylans - 75% do total) (Courtin & Delcour, 2001; Primo-Martín et al., 2005).

Resultados contraditórios são observados com respeito à função das pentosanas em panificação. Em geral, considera-se que WUAX tem grande capacidade de retenção de água e apresenta efeito negativo em panificação enquanto WEAX apresenta propriedade de retenção das bolhas de gás na massa e leva a soluções altamente viscosas, apresentando um efeito positivo na qualidade de panificação (Courtin et al., 2001; Autio, 2006).

A natureza não extraível em água de WUAX é devido à combinação de interações não covalentes e ligações covalentes com moléculas vizinhas de AX e outros componentes da parede celular, tais como proteínas, celulose e lignina (Vardakou et al., 2003).

WUAX são prejudiciais em panificação devido à sua alta capacidade de absorver água (Courtin & Delcour, 2001), sendo capazes de reter até 10 vezes seu peso em água (Hille & Schooneveld-Bergmans, 2004). Segundo Wang et al. (2003), pentosanas não extraíveis em água interferem na formação de glúten, direta e indiretamente. O efeito indireto está relacionado com a competição pela água e o direto, com a interação entre pentosanas e glúten.

Acredita-se que WUAX desestabilizam as células de gás por formarem barreiras físicas no glúten durante o desenvolvimento da massa e absorvem uma grande quantidade de água, que fica indisponível para o desenvolvimento do glúten resultando em diminuição do volume do pão (Goesaert et al., 2005; Autio, 2006).

As WEAX têm sido estudadas há 50 anos, desde que foram descobertas como componentes dos grãos de trigo e outros cereais. Contudo, resultados contraditórios considerando a sua funcionalidade têm sido relatados (Wang et al., 2004).

As WEAX têm alto peso molecular e são conhecidas por sua habilidade de formar soluções viscosas quando em meio aquoso. Através de resíduos de ácido

ferúlico, elas também são capazes de formar um forte gel na presença de um sistema oxidante (Courtin & Delcour, 2001).

3.4. Enzimas em panificação

Para melhorar as propriedades de manipulação da massa e qualidade do produto final, vários ingredientes são adicionados à uma formulação básica (Hilhorst et al., 2002). Atualmente, os consumidores estão mais preocupados com a saúde e, por esta razão, muitos estão evitando a ingestão de alimentos com aditivos químicos.

Preparações industriais de enzimas têm sido usadas há um longo tempo em indústrias de panificação, mas nos últimos anos, como consequência da exigência dos consumidores por produtos mais saudáveis, sua utilização aumentou muito, substituindo completa ou parcialmente aditivos mais polêmicos, tais como oxidantes ou emulsificantes (Martínez-Anaya & Jiménez, 1997).

A Resolução RDC nº 205, de 14/11/2006 aprova o "Regulamento técnico sobre enzimas e preparações enzimáticas para uso na produção de alimentos destinados ao consumo humano". O emprego de enzimas e preparações enzimáticas na fabricação de um alimento está condicionado à sua necessidade tecnológica (Brasil, 2006).

Embora enzimas sejam conhecidas pelos efeitos benéficos em panificação, pouco ainda é conhecido sobre seus mecanismos de ação. Elas ocorrem naturalmente em grãos e farinhas, mas quando utilizadas como ingrediente adicionado em aplicações na indústria de panificação, a maioria é obtida de fontes microbianas como leveduras, bactérias (*Bacillus subtilis*) ou fungos (*Aspergillus niger*, *Aspergillus oryzae*). A especificidade ao substrato e a eficiência catalítica de uma enzima podem variar grandemente dependendo da origem da enzima (Poutanen, 1997).

Em adição à melhoria das propriedades de manipulação da massa, as vantagens da adição de enzimas como coadjuvantes no processo de panificação incluem aumento no volume do pão, melhoria da estrutura do miolo e aumento da vida útil (Martínez-Anaya & Jiménez, 1997; Haros, Rosell & Benedito, 2002). Por

essa razão, a utilização de enzimas é uma ótima opção na produção de alimentos de grãos inteiros, já que estes apresentam algumas dificuldades tecnológicas que podem ser melhoradas com a adição de enzimas.

3.4.1. Xilanase (XIL)

Xilanases, também conhecidas como hemicelulases e pentosanases, são utilizadas em panificação devido ao seu efeito positivo nas propriedades da massa durante a mistura e fermentação e na qualidade do pão. Ela melhora as propriedades de manipulação da massa (Hilhorst et al., 2002; Poutanem, 1997), volume e maciez do pão, estrutura do miolo (Martínez-Anaya & Jiménez, 1998; Primo-Martín & Martínez-Anaya, 2003); aumenta o *oven spring* e altera a distribuição de água na massa (Haros, Rosell, & Benedito, 2002). É também sabido que xilanases têm um efeito na vida útil do pão, mas sua ação não está clara (Haros, Rosell & Benedito, 2002).

O conhecimento sobre o mecanismo de ação da xilanase na massa e no pão ainda é limitado, provavelmente porque as pentosanas variam entre os tipos de trigo e também devido à variação na especificidade de xilanases para substratos diferentes (Courtin & Delcour, 2001).

A fonte e o tipo de xilanase determinam um modo de ação nas arabinoxilanas e a preferência por arabinoxilanas solúveis ou insolúveis (Hilhorst et al., 2002).

Devido a diferenças na especificidade ao substrato, modo de ação, interação com inibidores, nem todas as xilanases são efetivas em panificação. Na realidade, é geralmente aceito que as mais apropriadas para panificação são aquelas que agem sobre as frações não extraíveis em água, solubilizando arabinoxilas insolúveis em água, levando a um aumento na viscosidade. Essa ação não remove apenas arabinoxilanas insolúveis, as quais interferem na formação da rede de glúten, mas também aumentam a estabilidade da massa devido ao aumento da viscosidade.

Xilanases com especificidade para WEAX reduzem a viscosidade da massa devido à redução do tamanho da WEAX e xilanases com especificidade para

WUAX despolimerizam essa fração e levam a uma moderada liberação de água inicialmente absorvida pela WUAX, causando uma redistribuição de água, a qual se torna disponível para um ótimo desenvolvimento do glúten. Além disso, a solubilização da WUAX também resulta em uma maior viscosidade, que representa um papel positivo na reologia da massa e retenção de gás (Rouau et al., 1994; Hille & Schooneveld-Bergmans, 2004).

A Figura 2 apresenta o mecanismo de ação da xilanase. Uma endo 1,4 - β - xilanase pode atacar a cadeia principal de arabinoxilana hidrolisando a ligação glicosídica entre duas unidades de xilose causando um decréscimo no grau de polimerização e, por essa razão, tendo um forte impacto na estrutura e funcionalidade da arabinoxilana (Hille & Schooneveld-Bergmans, 2004; Jiang et al., 2005).

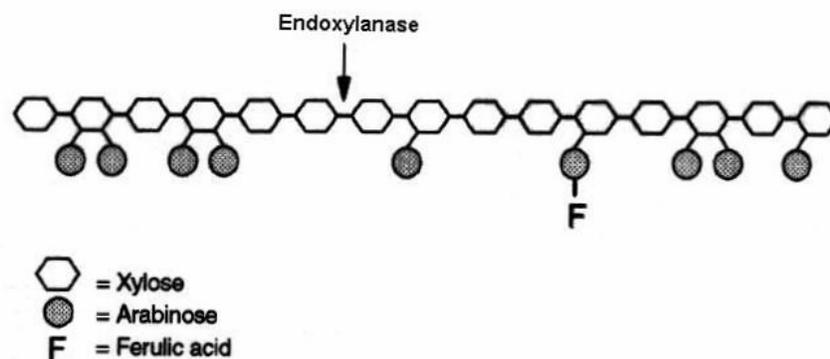


Figura 2: Ação da xilanase na arabinoxilana (Hille & Schooneveld-Bergmans, 2004).

Martínez-Anaya & Jiménez (1997) estudaram a funcionalidade de enzimas que hidrolisam polissacarídeos amiláceos e não amiláceos em panificação e observaram que a utilização de hemicelulase aumentou o volume específico do pão que está associado à melhor retenção de gás, permitindo melhor e maior expansão no forno antes da inibição da enzima. Neste estudo, os autores também verificaram um efeito positivo da adição da enzima na maciez do miolo de pão fresco e um aumento na vida de prateleira do produto.

Vários modelos que descrevem o mecanismo dos efeitos benéficos de hemicelulases em panificação têm sido relatados. Um desses modelos está mostrado na Figura 3, onde endoxilanases com especificidade para WUAX despolimerizam essa fração e liberam água, a qual é então ligada a outros constituintes da farinha (Hille & Schooneveld-Bergmans, 2004).

De acordo com esse modelo, hemicelulose rompe a rede de glúten, resultando na redução da capacidade de retenção de gás e menor volume do pão.

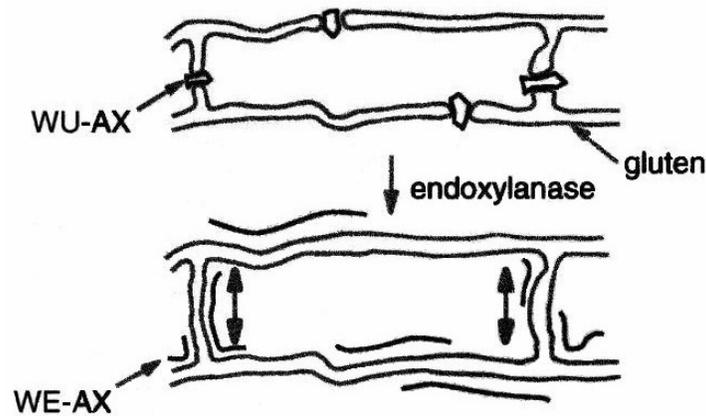


Figura 3: Conversão de WUAX em WEAX pela endoxilanase.

Tecnologicamente, o desaparecimento de parte da fração insolúvel tem uma positiva influência nas características da massa e do pão, devido à interrupção que essa fração causa na rede de glúten (Rouau, Hayek & Moreau, 1994).

Os efeitos das xilanases são aparentes imediatamente após a mistura e continuam durante o descanso, quando as propriedades viscoelásticas da massa mudam significativamente (Martínez-Anaya & Jiménez, 1998).

Hille & Schooneveld-Bergmans (2004) estudaram a utilização de endoxilanases fúngicas (*Aspergillus niger*) e bacterianas (*Bacillus subtilis*) em panificação, que agem seletivamente em WUAX. Os resultados encontrados mostraram que ambas são capazes de melhorar a qualidade do pão em termos de volume, textura e maciez do miolo. Quando endoxilanases fúngicas e bacterianas

são combinadas, uma sinergia é observada. Assim, a adição de níveis baixos de uma combinação de enzimas resulta em características similares às aquelas obtidas pela adição de níveis mais altos de enzimas únicas.

Níveis excessivos de xilanase resultam em massas fracas e pegajosas e pães com estrutura do miolo, distribuição de células de gás e cor da crosta com características indesejáveis. Isso ocorre devido à grande degradação de AX e, conseqüentemente, à perda da capacidade de retenção de água da massa (Goesaert et al., 2005; Hilhorst et al., 2002). Essa pegajosidade interfere no processamento e, com isso, a massa requer maior cuidado na manipulação (Martínez-Anaya & Jiménez, 1998).

3.4.2. Glicose oxidase (GOX)

Oxidantes químicos são frequentemente adicionados à farinha para melhorar seu desempenho em panificação (Dunnewind, van Vliet & Orsel, 2002). O bromato de potássio era um dos mais comuns, porém seu uso foi proibido devido a questões que dizem respeito à segurança (Vemulapalli et al., 1998) pois estudos toxicológicos indicaram que ele poderia ser carcinogênico (Goesaert et al., 2005).

O desafio maior é encontrar um substituto de $KBrO_3$ (Vemulapalli et al., 1998). A substituição de oxidantes químicos por enzimas é uma opção muito interessante apesar de ser comum o uso de ácido ascórbico (Dunnewind, van Vliet & Orsel, 2002).

A glicose oxidase (GOX) pode ser usada para promover a oxidação da matriz protéica, atraindo considerável interesse como um melhorador da massa de farinha de trigo (Dunnewind, van Vliet & Orsel, 2002). Ela catalisa a reação de oxidação de β -D-glicose para β -D-gliconolactona na presença de oxigênio, o qual é convertido em peróxido de hidrogênio. O peróxido de hidrogênio promove a oxidação do grupo SH de dois resíduos de cisteína para ligações cruzadas S-S na rede de glúten, conforme mostrado na Figura 4 (Primo-Martín et al., 2005). As ligações cruzadas nas proteínas da farinha de trigo resultam em melhoras significativas nas propriedades funcionais tecnológicas de produtos assados.

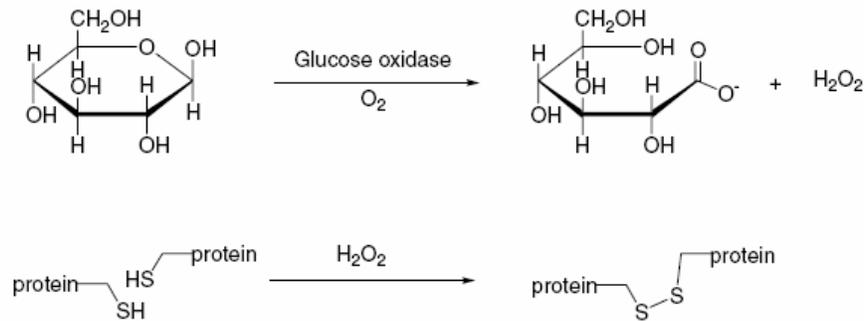


Figura 4: Mecanismo proposto para a ação da glicose oxidase, via ligações dissulfeto (Rasiah et al., 2005).

O efeito positivo da glicose oxidase na farinha tem sido atribuído, por muitos autores, à produção de H₂O₂ durante a oxidação da glicose. A maioria dos estudos relata que as melhorias estão relacionadas à textura e força do miolo e que o volume do pão não foi alterado com a adição de glicose oxidase.

Embora o H₂O₂ seja hipoteticamente o fator responsável, o mecanismo para o efeito de fortalecimento da massa pela glicose oxidase não é completamente entendido (Hilhorst et al., 1999).

O peróxido de hidrogênio gerado pela GOX pode levar também à formação de ligações cruzadas de arabinoxilanas ou, até mesmo, de um gel de arabinoxilana solúvel em água (Vemulapalli et al., 1998).

Há controvérsias sobre o efeito positivo (Vemulapalli et al., 1998) ou negativo (Wang et al., 2003; 2004) desse gel de arabinoxilana na qualidade do pão. Esse efeito pode ser corrigido pela co-adição de xilanase, que cliva o complexo arabinoxilana, gerando pequenos fragmentos (Wang et al., 2003; 2004).

O processo oxidativo que induz à formação de gel é atribuído aos resíduos de ácido ferúlico, esterificados à arabinose na arabinoxilana. Um possível mecanismo é através da dimerização desses resíduos de ácido ferúlico em cadeias adjacentes de arabinoxilanas (Dunnewind et al., 2002).

O processo oxidativo de pentosanas é uma propriedade única de WEAX caracterizada pelo aumento na viscosidade de uma solução de WEAX quando ela é tratada com certos oxidantes à temperatura ambiente (Figuerola-Espinoza & Rouau, 1998).

3.4.3. Sinergismo entre xilanase e glicose oxidase em panificação

Em panificação, glicose oxidase é geralmente utilizada em combinação com xilanase. Embora muitas teorias existam do mecanismo de ação de cada enzima, o efeito positivo da combinação das duas ainda não está completamente entendido.

A combinação xilanase e glicose oxidase é utilizada em panificação para melhorar propriedades de manipulação, volume do pão, textura e estrutura do miolo (Martínez-Anaya & Jiménez, 1997, 1998; Hilhorst et al., 1999).

Imagina-se que essa combinação limita a ação da glicose oxidase a estágios finais do descanso, devido a fragmentos de pentosanas contendo ácido ferúlico produzidos pela xilanase (Primo-Martín & Martínez-Anaya, 2003).

Porém, alguns autores propõem que a ação sinérgica é devido ao mecanismo seqüencial: durante os primeiros minutos de mistura, a glicose oxidase favorece ligações proteínas-arabinoxilanas, então a xilanase lentamente transforma arabinoxilana fortemente hidratada e ligada ao glúten em oligômeros menores melhorando a capacidade de retenção de gás da rede de glúten (Primo-Martín et al., 2005).

Uma grande atividade xilanase tem efeitos secundários adversos e pode resultar em massas pegajosas e fracas, que são mais difíceis de manipular. Para prevenir a pegajosidade, enzimas oxidativas (como glicose oxidase e peroxidase) podem ser adicionadas à massa de pão, levando a um fortalecimento da massa (Hilhorst et al., 2002).

Hilhorst et al. (1999) avaliaram as propriedades da massa e do pão contendo xilanase, glicose oxidase e peroxidase e concluíram que a adição de xilanase à massa aumentou o volume do pão e melhorou a estrutura do miolo do produto assado, mas tornou a massa mais pegajosa e menos firme. Glicose

oxidase e peroxidase sozinhas não tiveram tais efeitos, visto que as combinações xilanase-glicose oxidase e xilanase-peroxidase resultaram no mesmo aumento no volume como com apenas xilanase.

Como pode ser observado, misturas complexas, compostas por xilanase e glicose oxidase, além de outras enzimas como amilases e lipases, têm sido recentemente comercializadas, apesar de o mecanismo desse sinergismo não ser completamente entendido.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Matérias - primas

Para a produção dos pães foram utilizados os seguintes ingredientes:

- Ácido ascórbico, lote TL00501377, validade: 01/07 da empresa DSM Produtos Nutricionais Brasil Ltda (São Paulo - SP);
- Açúcar refinado especial Cometa, lote 090106, validade: 09/01/07;
- Diacetil tartarato de mono e diglicerídios (DATEM) - Panodan® G20-20, lote 506643, validade: 12/11/06 da empresa Danisco (Cotia SP);
- Enzima glicose oxidase marca Glucozyn® 250 lote E – 120161506 com 331SRU/g de atividade, validade: 15/05/07, fornecida por Prozyn Ind. e Com. Ltda. (São Paulo - SP);
- Enzima xilanase marca *Pentozyn C* lote E – 120181506 com 1404EDX/g de atividade, validade: 15/05/07, fornecida por Prozyn Ind. e Com. Ltda. (São Paulo - SP);
- Fermento biológico seco instantâneo, Fleischmann®, lote 20:02 02/04, validade: 18/01/08;
- Glúten de trigo, lote: E4P30, validade: 12/07, da Empresa Labonathus Biotecnologia Internacional Ltda (São Paulo - SP).
- Gordura vegetal hidrogenada, lote 18549, validade: 02/08/06 da empresa Cargill Agrícola S/A (Mairinque - SP);
- Trigo em grão, da empresa Cargill Agrícola S/A (Tatuí - SP);
- Leite em pó integral Lacsol, lote: 200/48-05, validade: 14/01/07 da empresa Alibra (Campinas – SP);

- Propionato de cálcio aglomerado, lote 118.9652, validade: 12/08 da empresa Metachem Ind. E Com. Ltda (Higienópolis - SP);
- Sal marca Lebre, lote 512-F, validade: 12/07.

4.2. Métodos

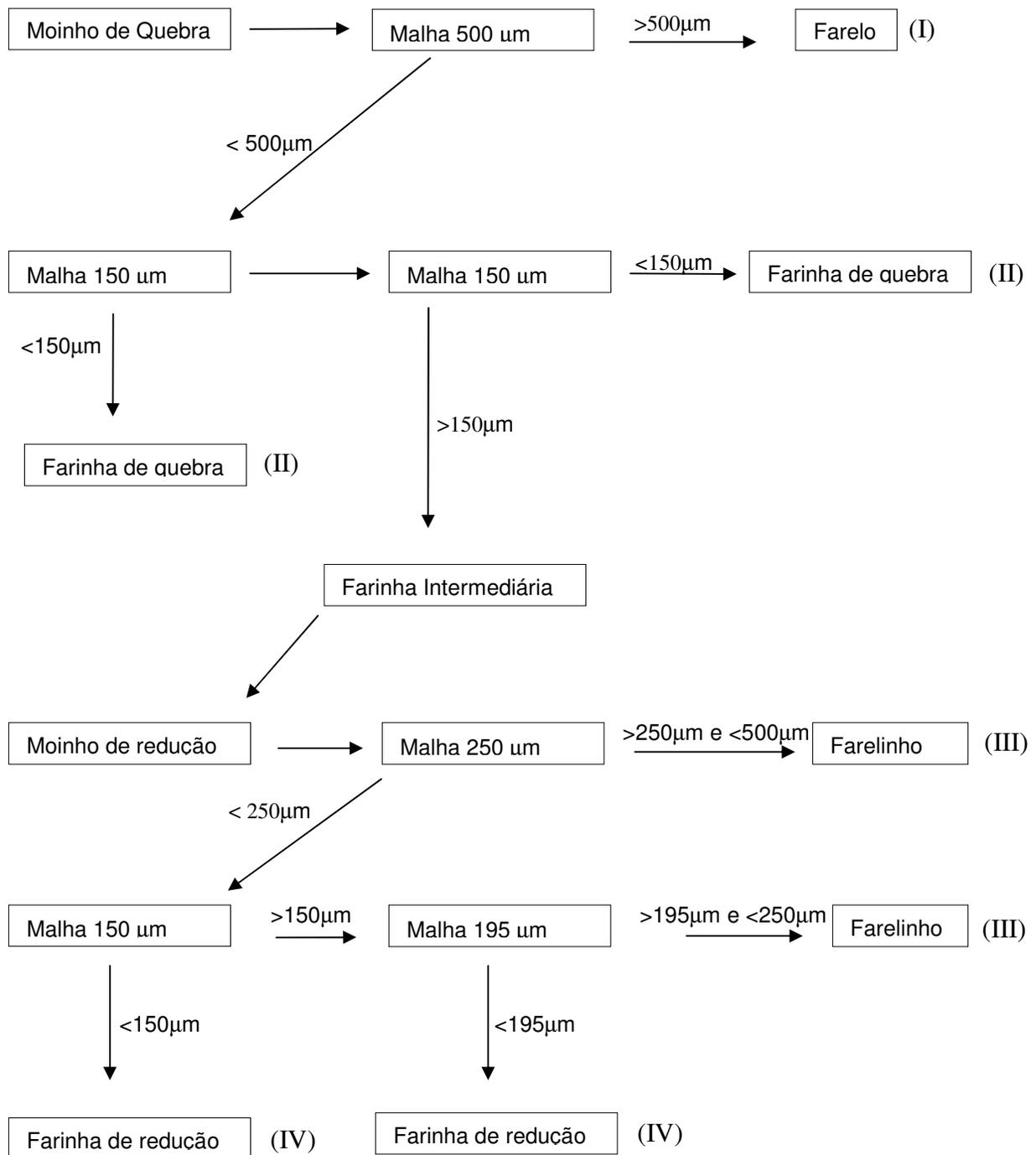
4.2.1. Condicionamento e moagem do trigo

Antes da moagem dos grãos de trigo, foi realizada a etapa de limpeza, utilizando-se o equipamento Labofix, com o objetivo de eliminar as impurezas presentes, como terra, areia, pedras e outros grãos (aveia, cevada, centeio, soja, etc). A presença dessas impurezas poderia causar danos aos equipamentos e também desqualificar o produto final devido à contaminação da farinha.

Em seguida, foi realizado o condicionamento do trigo para aumentar a eficiência da moagem, havendo uma maior separação do farelo e do endosperma. Nesta etapa, uma pequena quantidade de trigo foi moída e determinou-se a umidade. O trigo foi, então, condicionado para 14,5% de umidade com a adição de água destilada e armazenado em sacos plásticos de polietileno. Em seguida, foi mantido sob refrigeração por 24 horas até atingir o equilíbrio.

Após esse tempo, foi realizada a moagem dos grãos em moinhos de rolos Brabender Quadrumat Senior, passando pelos sistemas de quebra e de redução, sem passar pelo conjunto de peneiras. A farinha obtida, denominada farinha de trigo de grão inteiro, foi embalada em sacos de polietileno e estocada em local fresco.

Foi realizada também a moagem dos grãos para a obtenção das quatro frações: farinha de quebra, farinha de redução, farelo e farelinho, de acordo com a Figura 5. Nesse caso, a moagem ocorreu passando pelos sistemas de quebra e de redução, e também pelas peneiras. Estas frações foram pesadas individualmente para a determinação do rendimento, com base no peso da amostra e com base no peso total dos produtos obtidos. E, finalmente, foi determinada a perda no processo de moagem.



* Farinha de trigo de grão inteiro: é a combinação de todas as frações (I), (II), (III), (IV).

Figura 5. Fluxograma do processo de moagem do trigo e obtenção de farinha de trigo de grão inteiro.

4.2.2. Caracterização das farinhas de trigo de grão inteiro e comum

As farinhas de trigo de grão inteiro e comum foram caracterizadas quanto às seguintes propriedades:

4.2.2.1 Composição centesimal

As determinações de umidade, proteínas e cinzas da farinha foram realizadas pelos métodos nº44-15A, nº46-13 e nº08-12 da AACC (1995), respectivamente. A determinação de lipídios foi realizada de acordo com as Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (1976) Os carboidratos totais foram determinados por diferença e esse valor inclui a fração de fibra alimentar.

4.2.2.2. Teores de fibra alimentar solúvel e insolúvel

Os teores de fibra alimentar solúvel e insolúvel foram determinados segundo o método 991.43 da AOAC (1997).

4.2.2.3. Granulometria

A granulometria da farinha de trigo de grão inteiro foi determinada no equipamento Granutest modelo 295, segundo método 965.22 da AOAC (1995). As peneiras foram previamente pesadas. Em seguida, peneirou-se 100g da farinha durante 30 minutos no conjunto de cinco peneiras arredondadas, com aberturas das malhas de 20, 35, 60, 80, 100 mesh Tyler e as quantidades retidas em cada peneira foram pesadas e expressas em porcentagem.

4.2.2.4. Farinografia

A capacidade de absorção de água e as propriedades de mistura das farinhas de trigo foram determinadas pelo farinógrafo Brabender, segundo método nº 54-21 da AACC (1995). Os parâmetros obtidos a partir do farinograma foram: absorção de água, tempo de chegada, tempo de desenvolvimento da massa, tempo de saída, estabilidade e índice de tolerância à mistura.

4.2.2.5. Extensografia

As propriedades extensográficas das farinhas de trigo foram determinadas segundo o método nº 54-10 da AACC (1995), utilizando-se o extensógrafo Brabender. Os parâmetros avaliados foram: resistência à extensão ou elasticidade, resistência máxima, extensibilidade e número proporcional.

4.2.2.6. Viscosidade de pasta

As características de viscosidade de pasta da farinha de trigo de grão inteiro e da farinha de trigo comum foram determinadas com o analisador rápido de viscosidade (RVA - Rapid Visco Analyser), utilizando programa Thermocline for Windows versão 2.3. Newport Scientific Pty Ltd, segundo a metodologia nº 162 proposta pelo ICC (1995), utilizando o programa Standard 1.

Foram adicionados 25 mL de água destilada em quatro gramas de farinha (corrigido para a base de 14% de umidade). A mistura foi agitada a 960 rpm por 10 segundos e, a seguir, a 160 rpm até o término do processo. O perfil de temperatura padrão consistiu de uma temperatura inicial de 50°C, mantida por 2 minutos sendo aumentada até à temperatura de 95°C, permanecendo constante por 3 minutos. O resfriamento ocorreu até atingir a temperatura final de 50°C. Os parâmetros avaliados foram: temperatura de pasta, viscosidade máxima, viscosidade mínima à temperatura constante (95°C), viscosidade final, *breakdown* e *setback*.

4.2.2.7. Falling Number

O “Falling Number”, também chamado de “número de queda” foi determinado no equipamento “Falling Number” marca Perten Instruments, modelo 1800; de acordo com o método nº 56-81B da AACC (1995), utilizando 7 gramas de farinha corrigido para 14% de umidade.

4.2.2.8. Teores e índice de glúten

Os teores de glúten úmido e seco e o índice de glúten foram determinados no sistema Glutomatic e Glutork, marca Perten Instruments, de acordo com o método n° 38-12 da AACCC (1995). As equações utilizadas foram as seguintes:

$$\text{Glúten úmido (\%)}: \frac{\text{glúten úmido (g)} \times 100}{\text{amostra (g)}}$$

$$\text{Glúten seco (\%)}: \frac{\text{glúten seco (g)} \times 100}{\text{amostra (g)}}$$

$$\text{Índice de glúten (\%)}: \frac{\text{glúten que permanece no tamiz (g)} \times 100}{\text{glúten úmido total (g)}}$$

4.2.3. Sistema farinha, enzimas e ácido ascórbico

O sistema foi avaliado quanto às características farinográficas e extensográficas, seguindo os ensaios do planejamento experimental.

4.2.4. Produção dos Pães

4.2.4.1. Ensaio preliminares

Testes preliminares foram realizados visando ajustar a formulação padrão e obter a faixa de concentrações de xilanase, glicose oxidase e ácido ascórbico. A partir dos resultados, foi delineado o planejamento experimental para avaliar o efeito dessas variáveis no pão de forma (Item 4.2.4.3)

4.2.4.2. Formulação

A formulação padrão de pão de forma utilizada neste trabalho está apresentada na Tabela 3. Em cada ensaio foram processados 6,5 kg de farinha de trigo de grão inteiro, obtendo-se trinta pães por ensaio.

Tabela 3. Formulação utilizada para a produção dos pães.

Formulação	
Ingrediente	% (base farinha)
Farinha de trigo	100
Água	67,0
Fermento	2,0
Sal	2,0
Açúcar	4,0
Gordura	3,0
DATEM	0,3
Glúten	4,0
Leite em pó desnatado	4,0
Propionato de cálcio	0,3
Ácido ascórbico *	80 ppm

* Nos ensaios, o ácido ascórbico foi substituído pela combinação xilanase, glicose oxidase e ácido ascórbico de acordo com o planejamento experimental.

4.2.4.3. Planejamento experimental

Foi realizado um planejamento fatorial completo 2^3 e Xilanase, glicose oxidase e ácido ascórbico foram escolhidos como variáveis independentes do planejamento.

Para investigar o efeito das enzimas xilanase, glicose oxidase e do ácido ascórbico na avaliação reológica da farinha de trigo de grão inteiro e nas características do pão de forma utilizando a mesma farinha, foi aplicado um delineamento estatístico do tipo composto central rotacional (DCCR) (Rodrigues & lemma, 2006).

Os níveis variaram em $-\alpha$, -1 , 0 , $+1$, $+\alpha$ e os valores reais correspondentes encontram-se na Tabela 4, sendo estabelecidos através das doses recomendadas pelo fabricante e dos testes preliminares.

Tabela 4. Variáveis e níveis do planejamento experimental completo 2^3 .

Variáveis independentes	Níveis					
		$-\alpha$	-1	0	1	α
Xilanase (EDX/Kg farinha)	x_1	14,04	33,98	63,18	92,38	112,32
Glicose oxidase (SRU/Kg farinha)	x_2	33,10	56,53	91,03	125,52	148,95
Ácido ascórbico (ppm)	x_3	0	16,19	40	63,81	80

$\alpha = (2^n)^{1/4}$ (Rodrigues & lemma, 2005)

$\pm |\alpha| = \pm 1,68$ para três variáveis independentes.

Dezesseis ensaios foram realizados com oito pontos fatoriais (combinação dos níveis -1 e +1), seis pontos axiais (uma variável no nível $\pm\alpha$ e a outra em 0), e três repetições do ponto central (as duas variáveis no nível 0). A Tabela 5 apresenta o planejamento experimental utilizado.

Os ensaios foram realizados em cinco dias. A sequência de execução dos experimentos foi aleatória, definida através de sorteio prévio, exceto para os pontos centrais, que foram distribuídos por todos os dias.

Foram também produzidos pães com formulação padrão (sem adição das enzimas e com 80ppm de ácido ascórbico) em cada dia de planejamento, para comparação das características dos pães.

Tabela 5. Matriz do planejamento experimental com os valores codificados.

Ensaio	Xilanase	Glicose oxidase	Ácido ascórbico
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	-1,68	0	0
10	1,68	0	0
11	0	-1,68	0
12	0	1,68	0
13	0	0	-1,68
14	0	0	1,68
15	0	0	0
16	0	0	0
17	0	0	0

4.2.4.4. Obtenção dos pães

Os pães de forma foram preparados com farinha de trigo de grão inteiro, segundo o método convencional de massa direta.

Inicialmente os ingredientes foram misturados em uma masseira automática espiral marca Hypo, modelo HAE 10, capacidade 10 Kg, na velocidade lenta por 5 min e na velocidade rápida por 3 min. Após, a massa foi retirada da masseira e a temperatura foi medida (Figura 6).

Em seguida, foi dividida em porções de 400 g. Após descanso de 15 minutos, cobertas por um plástico, as massas foram modeladas, utilizando modeladora de pães (marca Hyppolito, modelo HM2), colocadas em formas

untadas e mantidas em câmara de fermentação (Thermopão Maquip marca Klimaquip, modelo 20B), nas condições de 30 °C e 80% de umidade relativa durante 80 min (Figura 7).



Figura 6 - Massa após o batimento.

Figura 7 - Massa após a fermentação.

Ao término da fermentação, as massas foram colocadas no forno (marca Hyppolito, modelo HF 4B) a 160°C, durante 44 minutos.

Durante os primeiros instantes do assamento, vapor de água foi introduzido no interior da câmara do forno, com o objetivo de favorecer o desenvolvimento da massa, melhorar o aspecto da crosta, favorecer a formação de uma crosta fina e minimizar a perda de água da massa durante o assamento. Após o forneamento, os pães foram desenformados e mantidos à temperatura ambiente por 1 hora e, em seguida, acondicionados em embalagens plásticas de polipropileno. No dia seguinte, foram fatiados em uma fatiadora elétrica de pães (marca G. Paniz) e embalados novamente.

4.2.5. Avaliação da qualidade dos pães

Visando avaliar o efeito da adição das enzimas e de ácido ascórbico, os pães produzidos foram caracterizados através das seguintes análises:

4.2.5.1. Volume específico

O volume dos pães foi determinado pelo método de deslocamento de sementes de painço uma hora após o forneamento, em triplicata. O volume

específico foi calculado dividindo-se o volume do pão (mL) pela sua massa (g) (El-Dash, Camargo & Diaz, 1982).

4.2.5.2. Cor instrumental do miolo

Para a determinação da cor do miolo dos pães foi utilizado o espectrofotômetro Color Quest II HUNTERLAB (Reston, VA, EUA) seguindo o sistema CIE-Lab, determinando-se os valores de L* ou luminosidade (preto 0/branco 100), a* (verde -/vermelho +) e b* (azul -/amarelo +). Foi calculado o croma (C*) e o ângulo de tonalidade (h*), segundo Minolta (1993). O valor de C* é 0 no centro e aumenta de acordo com a distância do centro. O valor de h é expresso em grau; 0° corresponde ao +a* (vermelho), 90° corresponde ao +b* (amarelo), 180° corresponde ao -a* (verde) e 270° corresponde ao -b* (azul). A cor do miolo foi realizada no centro da fatia do pão, em triplicata. Três fatias foram retiradas do meio de cada amostra para a avaliação da coloração.

O croma foi determinado utilizando a seguinte equação:

$$\text{Croma (C*)} = ((a^*)^2 + (b^*)^2)^{1/2}$$

O ângulo de saturação h foi determinado por:

$$h = \tan^{-1} (b^*/a^*)$$

4.2.5.3. Avaliação da vida de prateleira dos pães

Os pães produzidos, depois de embalados, foram deixados à temperatura ambiente e avaliados com 1, 4, 7 e 10 dias de armazenamento. As seguintes análises foram realizadas:

4.2.5.3.1. Atividade de água

A atividade de água foi determinada, em quadruplicata, com o analisador de atividade de água (marca AquaLab Series 3 Model TE).

4.2.5.3.2. Umidade

A umidade dos pães foi determinada, em triplicata, pelo procedimento n°44-15A da AACC (1995).

4.2.5.3.3. Avaliação instrumental da textura

A medida instrumental de textura dos pães de forma foi determinada em um analisador de textura TA.XT2 (Texture Analyser) com capacidade para 5 kg e programa XTRA Dimension, marca Stable Micro Systems (Haslemere, Surrey, Inglaterra).

A análise seguiu a metodologia n° 74-09 da AACC (1995), em triplicata de ensaio com quintuplicata de análises de cada ensaio.

As condições empregadas neste teste foram as seguintes:

Probe de alumínio P/35; velocidade de teste = 1,7 mm/s; 40% de compressão da amostra; velocidade de pré-teste = 1,7 mm/s e velocidade de pós-teste = 3,0 mm/s força = 20 g, com medida de força em compressão.

4.2.5.4. Análise sensorial

Foi realizada a análise sensorial de três formulações de pão de forma (pão padrão e duas formulações selecionadas na faixa ótima encontrada no delineamento, levando-se em consideração, principalmente as respostas textura e umidade).

os pães de forma no segundo dia de armazenamento, com 37 provadores não treinados de ambos os sexos e diferentes faixas etárias. As características avaliadas foram: aparência, cor, aroma, sabor e textura.

Amostras codificadas com três dígitos foram apresentadas aos provadores de forma monádica e foi solicitado que avaliassem o quanto gostaram ou desgostaram do produto utilizando uma escala hedônica de 9 pontos, sendo o extremo de valor igual a 1 correspondente ao termo hedônico “desgostei extremamente” e o de valor 9 atribuído ao termo hedônico “gostei extremamente”. Os provadores também foram questionados quanto à intenção de compra, caso o produto estivesse à venda, em uma escala de 5 pontos (Anexo I). Os resultados

foram submetidos ao Teste de Tukey para comparação de médias, ao nível de 5% de significância ($p < 0,05$).

4.2.5.5. Teor de fibra alimentar

Os teores de fibra alimentar solúvel e insolúvel foram determinados segundo o método 991.43 da AOAC (1997) no pão padrão.

4.2.6. Análise estatística

Os dados obtidos no planejamento experimental foram analisados segundo a metodologia de superfície de resposta, utilizando o Programa Statistica 5.0 (StatSoft, Inc., Tulsa, OK, USA). Os resultados foram analisados mediante o teste p (grau de significância estatística), para cada um dos coeficientes obtidos. Em seguida, foi realizada a análise de variância do modelo (ANOVA). A partir da equação de regressão obtida, alternando-se duas variáveis, enquanto a terceira permanece constante (no ponto central), foi possível obter gráficos tridimensionais de superfície de resposta, bem como suas respectivas curvas de contorno.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Condicionamento e moagem do trigo

O grão de trigo utilizado continha 10,85% de umidade e, portanto, estava dentro da faixa ótima para a estocagem (<12,5%). Para atingir a umidade adequada para o processo de moagem (14-17%), conforme a sua classe, o trigo foi condicionado para 14,5% de umidade. Os resultados da moagem do trigo estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Frações da moagem do trigo.

Fração	% (com base no peso da amostra)	% (com base no peso total dos produtos)
Farinha de quebra	21,36	22,07
Farinha de redução	35,02	36,18
Farelo	27,21	28,11
Farelinho	13,20	13,64

O processo de moagem apresentou um ótimo rendimento (96,79%), com perda de apenas 3,21%. A farinha resultante era constituída de 21,36% de farinha de quebra, 35,02% de farinha de redução, 27,21% de farelo e 13,20% de farelinho, com base no peso da amostra. A farinha comum, obtida pela combinação da farinha de quebra e da farinha de redução, correspondeu a, aproximadamente, 56% das frações obtidas, constituindo as frações mais claras da farinha.

5.2. Caracterização das farinhas de trigo de grão inteiro e comum

5.2.1. Composição centesimal

Na Tabela 7 estão apresentados os dados da composição centesimal das farinhas de trigo de grão inteiro e comum.

Tabela 7. Composição centesimal das farinhas de trigo de grão inteiro e comum.

Componentes	FT grão inteiro	FT comum
Proteína (%)	15,59 ± 0,16	13,28 ± 0,11
Cinzas (%)	1,22 ± 0,01	0,49 ± 0,01
Lipídios (%)	2,28 ± 0,02	0,77 ± 0,01
Carboidratos (%)	80,91 ± 0,80	85,46 ± 0,90

* Análises realizadas em triplicata. Resultados expressos como média ± desvio padrão.

* resultados expressos em base seca.

A Anvisa ainda não possui legislação específica para farinha de trigo de grão inteiro. Desta forma, foi utilizada, como referência, a Instrução Normativa nº 8, de 02/06/2005 que aprova o regulamento técnico de identidade e qualidade da farinha de trigo.

É importante ressaltar que a farinha de trigo de grão inteiro é diferente de farinha de trigo integral. Essa última é obtida a partir da combinação da farinha comum (farinha de redução + farinha de quebra) com farelo do trigo. Neste estudo, a farinha de trigo de grão inteiro é obtida a partir da moagem do grão integral e, portanto, contém todos os componentes presentes no grão de trigo.

5.2.1.1. Umidade

Na farinha de trigo de grão inteiro em estudo, o teor de umidade foi de 14,52%, e o da farinha de trigo comum foi de 14,64%, estando as duas farinhas dentro do limite estabelecido pela Resolução RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005 da Anvisa (Brasil, 2005) que determina que o teor de umidade da farinha não deve exceder 15%, pois influencia na conservação da qualidade, sendo um dos principais fatores de aceleração das reações químicas e enzimáticas e crescimento de microrganismos.

5.2.1.2. Lipídios

No trigo, os lipídios variam de 2,0 a 3,0% (gérmen 6-11%; farelo 3-5%; endosperma 1-1,5%), dependendo da variedade, das condições ambientais, entre outros fatores. Na farinha de trigo, esse valor depende do grau de extração (Esteller, 2004). Na farinha de trigo comum, o conteúdo de lipídios é de, aproximadamente, 1% (Sluimer, 2005).

Na farinha de trigo de grão inteiro em estudo, o conteúdo de lipídios encontrado foi de 2,28%. Na farinha de trigo comum esse teor foi pequeno, apenas 0,77%. Esse resultado já era previsto devido ao fato de a farinha de trigo de grão inteiro conter o gérmen, rico em lipídios, que é eliminado em sua maioria, no processo de moagem para a obtenção de farinha comum.

5.2.1.3. Proteínas

O conteúdo de proteínas encontrado na farinha de trigo de grão inteiro foi de 15,59%. Segundo Pizzinato (1999), a farinha de trigo destinada à panificação deve conter, no mínimo, 11% de proteína. A Instrução Normativa nº 8, de 02/06/2005, estabelece que a farinha de trigo classificada como integral deve apresentar um teor mínimo de proteínas de 8,0%.

Desta forma, esta farinha encontra-se dentro dos limites considerados apropriados para panificação. Contudo, apesar deste alto conteúdo de proteína, a quantidade de glúten foi diluída, pois além das proteínas do glúten, há também as proteínas presentes na camada de aleurona, no farelo e no gérmen, conhecidas como albuminas e globulinas, que apresentam grande valor nutricional porém, pequeno valor tecnológico, o que prejudicaria a qualidade do produto final.

A farinha de trigo comum apresentou um teor de proteína de 13,28%. Apesar deste valor ser menor que o teor de proteínas contido na farinha de trigo de grão inteiro, a qualidade tecnológica é melhor, pois apresenta uma maior quantidade de glúten.

5.2.1.4. Cinzas

O conteúdo de cinzas é uma importante medida de qualidade da farinha de trigo. Esse conteúdo aumenta do centro para as camadas superficiais do grão e, desta forma, seus teores na farinha tendem a aumentar à medida que se eleva o grau de extração de moagem. Farinhas com altos teores de cinzas normalmente apresentam coloração mais escura, podendo-se presumir que contenham maiores quantidades de farelo e da porção adjacente ao farelo (El Dash & Camargo, 1982).

O conteúdo de cinzas encontrado na farinha de trigo de grão inteiro foi de 1,22%, indicando a presença das camadas mais externas do trigo. Como essa farinha é obtida pela moagem do grão integral, pode-se dizer que esse teor de cinzas corresponde também ao conteúdo de cinzas do próprio grão de trigo. Para efeito de comparação, observa-se que esse valor está em concordância com a Instrução Normativa nº 8 que estabelece que a farinha de trigo classificada como integral deve apresentar um teor máximo de cinzas de 2,5% (Brasil, 2006).

Para a farinha de trigo comum, o conteúdo de cinzas foi de apenas 0,49%. Esse valor mais baixo já era previsto, devido ao fato de os minerais se concentrarem principalmente nas camadas mais externas do grão de trigo que são removidas no processo de moagem.

5.2.1.5. Carboidratos

O conteúdo de carboidratos na farinha de trigo de grão inteiro, determinado por diferença, foi de 80,91%. Esse valor inclui amido, açúcar e fibras. Na farinha de trigo comum, esse conteúdo foi de 85,46%.

De acordo com esses resultados, verifica-se que a farinha de trigo de grão inteiro analisada apresentou composição centesimal semelhante àquela apresentada por Marquart et al. (2002) (15,11% de proteína, 1,93% de cinzas, 2,27% de lipídios, 80,68% de carboidratos, em base seca) e Shalini & Laxmi (2007) (14,69% de proteína, 1,26% de cinzas, 2,21 % de lipídios e 81,83% de carboidratos).

5.2.2. Fibras solúveis e insolúveis

O conteúdo total de fibras encontrado na farinha de trigo de grão inteiro foi de 9,13% sendo constituído de 8,94% de fibras insolúveis e 0,19% de fibras solúveis.

5.2.3. Granulometria

Pela análise da granulometria apresentada na Tabela 8, pode-se observar que a farinha de trigo de grão inteiro apresentou granulometria variável, devido principalmente à presença das camadas mais externas do grão, que tendem a permanecer como partículas maiores e mais grossas.

Aproximadamente 54% da farinha obtida ficou retida entre as peneiras de 20 e 100 mesh e o restante (~ 46%) apresentou granulometria inferior a 100 mesh.

A legislação vigente - Instrução Normativa nº 8 - não cita o limite de tolerância de granulometria de farinha integral.

Tabela 8. Granulometria de farinha de trigo de grão inteiro.

Abertura da peneira (mesh)	% retida *
20	5,04 ± 0,19
35	10,36 ± 0,25
60	6,67 ± 0,29
80	20,23 ± 0,83
100	11,13 ± 0,01
Fundo	46,38 ± 0,66

* valores médios ± desvio padrão

5.2.4. Propriedades reológicas das farinhas de trigo

A avaliação das características reológicas da farinha é importante em panificação tanto para o controle de qualidade quanto para ajudar a prever as características do processamento da massa e a qualidade dos produtos finais.

5.2.4.1. Farinografia

A Tabela 9 apresenta as características farinográficas da farinha de trigo de grão inteiro e o Anexo II apresenta o farinograma correspondente.

Tabela 9. Características farinográficas da farinha de trigo de grão inteiro.

Parâmetros	FT grão inteiro	FT comum
Absorção de água	68,0%	55,7%
Tempo de desenvolvimento da massa	9,5 min	10 min
Estabilidade	8,5 min	16,5 min
Índice de tolerância à mistura	40 UF	10 UF

A farinha de trigo utilizada neste trabalho apresentou elevada absorção de água (68,0%), o que está relacionado ao elevado teor de fibra presente nessa farinha. Por causa da alta capacidade de retenção de água das fibras, a absorção da formulação geralmente aumenta quando fibras são utilizadas (Almeida, 2006). Já para a farinha constituída apenas com as frações de redução e de quebra, para efeito de comparação, a absorção foi menor, apenas 55,7%. O aumento da absorção de água para produzir massa com consistência desejada é um fator importante do ponto de vista econômico, considerando-se que a água é um dos ingredientes de menor custo na formulação de pães, resultando em maior lucro para a indústria.

O tempo de desenvolvimento da massa foi maior para a farinha de trigo comum (10 minutos), enquanto o tempo de desenvolvimento da massa para a farinha de trigo de grão inteiro foi de 9,5 minutos. Esse resultado já era esperado pelo fato de que a presença das camadas mais externas do grão de trigo enfraquece a farinha. Portanto, pode ser observado que a farinha de trigo comum é uma farinha mais forte do que a farinha de trigo de grão inteiro. Resultados semelhantes foram encontrados por Almeida (2006), quando diferentes fontes de fibras foram adicionadas à farinha de trigo comum.

A farinha de trigo comum apresentou uma maior estabilidade (16,5 minutos) quando comparada com a farinha de trigo de grão inteiro (8,5 minutos), o que também já era previsto, pois a farinha de grão inteiro contém componentes do trigo que interrompem a rede de glúten, impedindo sua continuidade. Isso significa que a farinha de trigo de grão inteiro suporta um menor tempo de mistura sem destruir a rede de glúten, ou seja, após esse tempo, a qualidade do glúten é reduzida. Almeida (2006) verificou que enquanto a farinha de trigo isoladamente apresentou uma estabilidade de 12,25 min, o sistema farinha de trigo e fontes de fibra apresentou valores que variaram entre 4,75 e 8,75 min.

O índice de tolerância à mistura (ITM) da farinha de trigo de grão inteiro e da farinha comum foram 40UF e 10UF, respectivamente. O ITM da farinha de trigo de grão inteiro foi maior, indicando a baixa resistência à mistura. Resultados semelhantes foram encontrados por Almeida (2006), com a adição de farelo de trigo, amido resistente e LBG à farinha.

A farinha de trigo comum utilizada neste trabalho apresentou característica de farinha forte, segundo classificação de Pizzinatto (1999), com base na absorção, tempo de desenvolvimento, estabilidade e índice de tolerância à mistura.

5.2.4.2. Extensografia

A Tabela 10 apresenta as características extensográficas da farinha de trigo de grão inteiro.

Tabela 10. Características extensográficas da farinha de trigo de grão inteiro.

Parâmetros	45 min	90 min	135 min
Resistência à extensão	390	650	730
Resistência máxima	420	710	810
Extensibilidade	127	112	112
Número proporcional	3,1	5,8	6,5

De acordo com os parâmetros analisados pelo extensógrafo, a farinha de trigo de grão inteiro utilizada apresentou elevados valores de resistência à

extensão e resistência máxima à extensão e uma menor extensibilidade, quando comparada à farinha de trigo comum.

Comparando-se os parâmetros extensográficos da farinha de trigo de grão inteiro e da farinha de trigo comum (135 min), verifica-se que esta apresentou valores inferiores de resistência à extensão (410UE) e resistência máxima à extensão (765UE), porém a extensibilidade da farinha comum foi maior (170mm). Isso pode ter ocorrido devido à interferência do farelo na massa, deixando-a mais densa e rija.

Em concordância com os parâmetros farinográficos, a farinha de trigo comum utilizada neste trabalho apresentou característica de farinha forte, de acordo com a classificação de Pizzinatto (1999).

5.2.5. Viscosidade de pasta

Segundo Sahlstrøm et al. (2003), as propriedades de pasta (viscosidade mínima, viscosidade final, breakdown, setback) são parâmetros do amido que influenciam na qualidade do pão. Para obter um pão de boa qualidade, a farinha deve ter amido com as seguintes propriedades: alta viscosidade mínima, alta viscosidade final, pequeno breakdown, pequeno setback.

Os resultados médios obtidos pelo RVA para a farinha de trigo de grão inteiro foram: temperatura de pasta de 68,3°C, viscosidade máxima de 1741,7cP, viscosidade mínima à temperatura constante (95°C) de 1017cP, viscosidade final de 2009cP, breakdown de 724,7cP e setback de 992cP. Para a farinha de trigo comum, estes valores foram: temperatura de pasta de 74,98°C, viscosidade máxima de 345,5cP, viscosidade mínima à temperatura constante (95°C) de 19,0cP, viscosidade final de 115cP, breakdown de 326,5cP e setback de 96cP.

Observa-se que a viscosidade da farinha de trigo de grão inteiro apresentou valores superiores à viscosidade da farinha de trigo comum. Isso pode ter ocorrido devido à maior presença de pentosanas na farinha de trigo de grão inteiro, principalmente as pentosanas solúveis em água, que são capazes de formar géis, contribuindo para o aumento da viscosidade .

Pode-se verificar que a farinha de trigo de grão inteiro apresentou um valor de breakdown muito superior ao encontrado pela farinha de trigo comum,

indicando que a farinha de trigo de grão inteiro apresenta menor estabilidade à agitação mecânica e ao calor. Além disso, essa farinha apresentou um maior setback, ou seja, uma maior tendência à retrogradação. Segundo Pizzinatto (1999), a viscosidade a 50° indica o comportamento do miolo do pão durante o envelhecimento, em função da retrogradação do amido; valores mais altos indicam envelhecimento mais rápido.

Portanto, pelos resultados obtidos, acredita-se que o pão de forma produzido com farinha de trigo de grão inteiro apresenta maiores alterações ao longo da vida de prateleira, quando comparado ao pão produzido com farinha de trigo comum.

5.2.6. *Falling Number (FN)*

A atividade enzimática das farinhas de trigo comum e de grão inteiro estão apresentadas na Tabela 11.

Tabela 11. Atividade enzimática das farinhas de trigo comum e de grão inteiro.

Amostra	Falling Number (s)
Farinha de trigo comum	429 ± 19
Farinha de trigo de grão inteiro	320 ± 4

Segundo Pizzinatto (1999), geralmente a farinha de trigo indicada para panificação apresenta um FN entre 200 e 300 segundos. Já Kent (1983) considera valores de FN em torno de 330s como típicos para panificação.

A farinha de trigo comum apresentou FN alto (429s), indicando baixa atividade enzimática enquanto a farinha de trigo de grão inteiro apresentou FN de 320s, valor considerado bom para panificação. Esse menor valor de FN pode estar relacionado com a presença de gérmen, que contém enzimas. Essa farinha contém também outras frações do trigo, além do endosperma, diluindo a quantidade de amido presente na amostra. Dessa forma, a farinha de trigo de grão inteiro contém uma menor quantidade de amido para a gelatinização quando comparado à farinha de trigo comum.

5.2.7. Teores e índice de glúten

Os teores e o índice de glúten da farinha de trigo comum e de grão inteiro estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12. Teores de glúten úmido, glúten seco e índice de glúten.

	Índice de glúten	Glúten úmido (%)	Glúten seco (%)
FT comum	100 ± 0,0	28,7 ± 1,2	10,3 ± 0,5
FT grão inteiro	99,9 ± 0,1	35,1 ± 1,8	12,8 ± 1,7

Segundo Pizzinatto (1999), a farinha de trigo pode ser classificada quanto à qualidade em muito boa (IG > 90), boa (IG 60-90), média (IG 40-60) e fraca (IG < 40) para panificação. Portanto, as farinhas de trigo comum e de grão inteiro podem ser classificadas como muito boas por apresentarem o valor do índice de glúten superior a 90.

Porém, observou-se que o glúten obtido da farinha de trigo de grão inteiro continha muitas partículas de farelo que são insolúveis em água, como pode ser verificado na Figura 8, influenciando na pesagem do glúten úmido, do glúten seco e no índice de glúten.

Por essa razão, a determinação de glúten úmido, glúten seco e índice de glúten para a farinha de trigo de grão inteiro pode não ser válida, uma vez que o glúten obtido está contaminado com partículas de farelo que são insolúveis em água.



(a)



(b)

Figura 8: Glúten úmido (a) e glúten seco (b) da farinha de trigo de grão inteiro.

Segundo Pomeranz (1988) e Almeida (2006), o glúten da farinha de trigo apresenta uma capacidade relativamente constante de absorção de água (aproximadamente 2,8 vezes o conteúdo de glúten seco). Isso também foi verificado na farinha de trigo de grão inteiro utilizada neste trabalho, ou seja, a quantidade de glúten úmido é aproximadamente 2,8 vezes maior que a quantidade de glúten seco.

Pelos resultados obtidos, percebeu-se que algumas análises reológicas realizadas parecem não ser adequadas para verificar a qualidade tecnológica da farinha de trigo de grão inteiro, como por exemplo a determinação de glúten e análise extensográfica. Isso pode ser explicado devido ao fato de que esta farinha contém grande quantidade de outros componentes do trigo além das frações de quebra e de redução que constituem a farinha comum. Como foi verificado nas frações de moagem do trigo, com 100% de extração, apenas 56% da farinha era constituído pelas frações de quebra e de redução; e aproximadamente 44% era constituído por outros componentes do trigo que comprometeram as análises.

5.3. Sistema farinha, enzimas e ácido ascórbico

5.3.1. Farinografia

Na Tabela 13 estão apresentados os efeitos da adição de xilanase, glicose oxidase e ácido ascórbico nas características farinográficas da farinha de trigo. O Anexo II apresenta os farinogramas da farinha de trigo de grão inteiro pura e com adição de xilanase, glicose oxidase e ácido ascórbico de acordo com o planejamento experimental.

Tabela 13. Características farinográficas das combinações de farinha de trigo de grão inteiro, xilanase, glicose oxidase e ácido ascórbico.

Ensaio	Xilanase	Glicose oxidase	Ácido ascórbico	ABS (%)	TC (min)	TDM (min)	TS (min)	EST (min)	ITM (UF)
1	-1	-1	-1	67,1	6	10	12,5	6,5	45
2	1	-1	-1	67,1	8,5	10	12,5	4	80
3	-1	1	-1	67,1	8	10	13	5	70
4	1	1	-1	67,2	8	9,5	11,5	3,5	60
5	-1	-1	1	66,8	7	9,5	12	5	60
6	1	-1	1	67,1	7	9,5	12	5	60
7	-1	1	1	67,6	7,5	9,5	12	4,5	60
8	1	1	1	66,9	8	10	12	4	70
9	-1,68	0	0	66,8	7,5	10,5	13,5	6	55
10	1,68	0	0	67,9	8	10	12,5	4,5	70
11	0	-1,68	0	66,8	7	10	13	6	60
12	0	1,68	0	67,3	7,5	10	13,5	6	50
13	0	0	-1,68	67,3	7	9	13,5	6,5	40
14	0	0	1,68	66,8	7,5	9	12,5	5	55
15	0	0	0	66,6	7,5	9,5	12,5	5	70
16	0	0	0	67,2	7,5	10	13	5,5	60
17	0	0	0	66,9	7,5	10	13	5,5	60

* ABS: absorção de água; TC: tempo de chegada; TDM: tempo de desenvolvimento da massa; TS: tempo de saída; EST: estabilidade; ITM: índice de tolerância à mistura.

Através dos resultados, verifica-se que a adição de xilanase, glicose oxidase e ácido ascórbico reduziu ligeiramente a absorção de água da farinha. Este parâmetro variou de 66,6 a 67,9%, enquanto para a farinha de trigo de grão inteiro pura, a absorção foi de 68%.

Essa redução também foi observada por Jiang et al. (2005) e Shah et al. (2006), porém, em maiores proporções. A absorção de água reduziu de 72% para 64% como resultado da adição de xilanase à formulação. Bonet et al. (2006) verificaram que a adição de glicose oxidase não alterou significativamente a absorção de água.

O Anexo III apresenta os coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e valores de p para as respostas farinográficas (Tabelas 58 a 63).

Como pode ser observado, nenhuma variável apresentou efeito significativo ($p < 0,10$) para as respostas absorção de água, tempo de saída e índice de tolerância à mistura, indicando que xilanase, glicose oxidase e ácido ascórbico não tiveram interferência nestas respostas. Além disso, os coeficientes de determinação foram muito baixos e os resíduos muito altos. Portanto, dentro das condições estudadas, não foi possível estabelecer um modelo preditivo em função das variáveis estudadas ao nível de 10% de significância para as respostas absorção de água, tempo de saída e índice de tolerância à mistura.

Analisando-se os coeficientes de regressão (Tabela 14), pode-se verificar que os termos que tiveram influência significativa ($p < 0,10$) no tempo de chegada foram xilanase linear e glicose oxidase linear. Porém, o coeficiente de determinação foi 41,28% e, desta forma, não foi possível estabelecer um modelo preditivo. Comparando-se a farinha de grão inteiro pura com a farinha adicionada de xilanase, glicose oxidase e ácido ascórbico em várias concentrações, observou-se que esta última apresentou um maior tempo de chegada. A farinha de trigo de grão inteiro apresentou um tempo de chegada de 6 min e os ensaios tiveram tempos de chegada entre 6 min e 8,5 min.

Tabela 14. Coeficientes de regressão para a resposta tempo de chegada.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (14)	p-valor
Média	7,470588	0,113647	65,73480	0,000000
Xilanase (L)	0,281426	0,126853	2,21852	0,043560
Glicose oxidase (L)	0,281426	0,126853	2,21852	0,043560

Os termos que tiveram influência significativa ($p < 0,10$) no tempo de desenvolvimento da massa foram xilanase (Q) e ácido ascórbico (Q), sendo que o efeito da xilanase foi positivo e o do ácido ascórbico foi negativo (Tabela 15). Porém, não foi possível estabelecer um modelo para a resposta em estudo, pois a variação explicada pelo modelo foi de apenas 67,46%. Comparando os resultados dos ensaios com os da farinha pura, observa-se que o tempo de desenvolvimento foi pouco afetado pela presença das enzimas e do ácido ascórbico.

Tabela 15. Coeficientes de regressão para a resposta tempo de desenvolvimento da massa.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (14)	p-valor
Média	9,90977	0,105538	93,897603	0,000000
Xilanase(Q)	0,13107	0,069507	1,885753	0,080250
Ácido ascórbico(Q)	-0,31181	0,069507	-4,486085	0,000513

Indrani et al. (2003) observaram que o tempo de desenvolvimento da massa aumentou com a adição de xilanase e com a adição de glicose oxidase. Haros, Rosell & Benedito (2002b) e Laurikainen et al. (1998) verificaram que o tempo de desenvolvimento da massa foi ligeiramente reduzido pela adição de xilanase.

Para o parâmetro estabilidade, apenas a variável estudada xilanase linear apresentou efeito significativo ($p < 0,10$) (Tabela 16). O coeficiente de determinação, considerando apenas o termo significativo foi muito baixo ($R^2 = 29,17$). Portanto, dentro das condições estudadas, não foi possível estabelecer um modelo preditivo para essa resposta. Ao comparar os resultados dos ensaios com

os da farinha de trigo de grão inteiro pura, pode-se verificar que houve uma redução da estabilidade da massa quando xilanase, glicose oxidase e ácido ascórbico foram adicionados, de acordo com o planejamento experimental. Isto sugere, segundo afirma Barbosa (2002), uma diminuição na resistência das massas à fermentação e menor tolerância ao amassamento ou à ação mecânica, ou seja, ocorre um enfraquecimento da estrutura. Jiang et al. (2005) e Haros, Rosell & Benedito (2002b) relataram que a adição de xilanase reduziu a estabilidade da massa. Já Indrani et al. (2003) encontraram uma maior estabilidade da massa com a adição das enzimas xilanase e glicose oxidase separadamente.

Tabela 16. Coeficientes de regressão para a resposta estabilidade.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (14)	p-valor
Média	5,147059	0,185459	27,75315	0,000000
Xilanase (L)	-0,514482	0,207008	-2,48532	0,025226

Como pode ser observado no Anexo III, nenhuma variável apresentou efeito significativo ($p < 0,10$) para a resposta índice de tolerância à mistura. Além disso, o coeficiente de determinação foi muito baixo (46,22%) e os resíduos muito altos. Portanto, dentro das condições estudadas, não foi possível estabelecer um modelo preditivo em função das variáveis estudadas ao nível de 10% de significância. O ITM da farinha de trigo de grão inteiro com as combinações de enzimas e ácido ascórbico foi maior que o ITM da farinha de trigo de grão inteiro pura, indicando uma menor tolerância da massa à mistura já que farinhas que apresentam boa tolerância à mistura revelam menor ITM.

5.3.2. Extensografia

Na Tabela 17 estão apresentados os resultados do efeito da adição de xilanase, glicose oxidase e ácido ascórbico nas características extensográficas da farinha de trigo após 135 minutos de descanso.

Tabela 17. Características extensográficas (135 min) das combinações de farinha de trigo de grão inteiro, xilanase, glicose oxidase e ácido ascórbico.

Ensaio	Xilanase	Glicose oxidase	Ácido ascórbico	Resistência à extensão (UE)	Resistência máxima (UE)	Extensibilidade (mm)	Número proporcional
1	-1	-1	-1	990	>1000	83	11,9
2	1	-1	-1	930	940	83	11,2
3	-1	1	-1	>1000	>1000	85	-
4	1	1	-1	970	990	77	12,6
5	-1	-1	1	760	760	62,5	12,2
6	1	-1	1	930	970	87	10,7
7	-1	1	1	880	910	96	9,2
8	1	1	1	950	960	75	12,7
9	-1,68	0	0	940	970	82	11,5
10	1,68	0	0	960	980	80	12,0
11	0	-1,68	0	890	920	80	11,1
12	0	1,68	0	880	910	80	11,0
13	0	0	-1,68	810	900	100	8,1
14	0	0	1,68	990	990	72	13,8
15	0	0	0	890	910	76	11,7
16	0	0	0	1000	>1000	87	11,5
17	0	0	0	940	970	85	11,1

Através dos resultados, verifica-se que a adição de xilanase, glicose oxidase e ácido ascórbico aumentou a resistência à extensão, a resistência máxima à extensão e o número proporcional e reduziu a extensibilidade.

Selinheimo et al. (2006) verificaram que a adição de xilanase provocou um aumento da extensibilidade e uma ligeira redução em R_{max} . Foi observado, nesse estudo, que o efeito mais significativo foi o aumento da extensibilidade. Os autores sugeriram que esse aumento é consequência da redistribuição de água das pentosanas para o glúten. Foi sugerido também que além da redistribuição de água, a remoção da barreira física criada pelas arabinoxilanas para a formação da rede de glúten contribuíram para o amaciamento da massa.

Analisando-se os coeficientes de regressão (Tabela 18), pode-se verificar que o fator que teve influência significativa ($p < 0,10$) na resposta resistência à extensão foi a interação glicose oxidase X ácido ascórbico, contribuindo para o aumento dessa resposta. Porém, o coeficiente de correlação foi 17,58% e, desta forma, não foi possível estabelecer um modelo preditivo.

Tabela 18. Coeficientes de regressão para a resposta resistência à extensão.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (15)	p-valor
Média	871,1765	47,45541	18,35779	0,000000
GOX X Ác. Asc	123,7500	69,17755	1,78888	0,093844

Pode-se verificar também que nenhuma variável apresentou efeito significativo ($p < 0,10$) para as respostas resistência máxima à extensão e número proporcional. Além disso, os coeficientes de determinação foram muito baixos e os resíduos muito altos. Portanto, dentro das condições estudadas, não foi possível estabelecer um modelo preditivo.

No estudo de Indrani et al. (2003), a adição de xilanase e glicose oxidase à farinha aumentou a resistência à extensão. Já com relação à extensibilidade, a xilanase causou um aumento desse valor, enquanto que com glicose oxidase, houve uma redução da extensibilidade.

Para a resposta extensibilidade (Tabela 19), pode-se verificar que o fator ácido ascórbico linear e a interação xilanase X glicose oxidase contribuíram para a redução da extensibilidade. Porém, o coeficiente de correlação foi 62,55% e, desta forma, não foi possível estabelecer um modelo preditivo.

Tabela 19. Coeficientes de regressão para a resposta extensibilidade.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (14)	p-valor
Média	81,79412	1,608466	50,85225	0,000000
Ácido ascórbico (L)	-3,99713	1,795365	-2,22636	0,042923
XIL X GOX	-6,68750	2,344722	-2,85215	0,012796

Primo-Martín et al. (2005), ao estudarem o efeito das enzimas xilanase, glicose oxidase e a combinação destas duas enzimas nas características reológicas da farinha, verificaram que a adição de glicose oxidase levou a uma redução na extensibilidade da massa e que a adição de xilanase resultou em aumento neste parâmetro apenas em algumas concentrações (0,06 e 0,08 g/kg). Já para a resistência à extensão, não houve diferença significativa quando xilanase foi adicionada, porém, com glicose oxidase, houve um aumento significativo. A combinação das duas enzimas não causou alterações significativas na resistência à extensão da massa, com as concentrações utilizadas.

Primo-Martin & Martínez-Anaya (2003) observaram que a adição de xilanase levou a um aumento da extensibilidade da massa e uma menor elasticidade (resistência à extensão). Por outro lado, a adição de glicose oxidase fortaleceu a rede de glúten, produzindo uma massa mais firme e menos extensível.

Vemulapalli et al. (1998) verificaram que a adição de glicose oxidase à massa levou a um aumento da elasticidade, quando comparada à massa produzida sem esse oxidante e Bonet et al. (2006) observaram que a adição desta enzima reduziu a extensibilidade da massa.

Segundo Bonet et al. (2006), o efeito de fortalecimento da massa com a adição de glicose oxidase tem sido atribuído à formação de ligações cruzadas de

proteínas, via ligações dissulfeto e da formação oxidativa de gel de arabinoxilanas.

Matuda (2004) observou que a adição de ácido ascórbico, além de aumentar a resistência à extensão da massa, também causou uma redução na extensibilidade.

5.4. Avaliação da qualidade dos pães

5.4.1. Volume específico

A Tabela 20 apresenta o volume específico dos pães de forma adicionados de xilanase, glicose oxidase e ácido ascórbico de acordo com o planejamento experimental.

Como pode ser observado, o volume específico variou de 4,38 a 5,10 mL/g. Já o pão padrão, sem adição de enzimas e com adição de 80 ppm de ácido ascórbico, apresentou volume específico médio de 4,67 mL/g. Pode-se perceber que este valor está dentro da faixa encontrada nos ensaios do delineamento.

Shah et al.(2006), observaram um aumento no volume específico do pão quando xilanase foi adicionada à formulação. Jiang et al. (2005) e Haros, Rosell & Benedito (2002) também relataram melhoria no volume específico do pão utilizando essa enzima.

Tabela 20: Volume específico dos pães de forma.

Ensaio	Xilanase	Glicose oxidase	Ácido ascórbico	Volume Específico (mL/g)
1	-1	-1	-1	4,91
2	1	-1	-1	5,10
3	-1	1	-1	4,66
4	1	1	-1	4,45
5	-1	-1	1	4,75
6	1	-1	1	4,65
7	-1	1	1	4,94
8	1	1	1	5,06
9	-1,68	0	0	4,38
10	1,68	0	0	4,85
11	0	-1,68	0	4,81
12	0	1,68	0	5,10
13	0	0	-1,68	4,80
14	0	0	1,68	4,48
15	0	0	0	4,86
16	0	0	0	4,88
17	0	0	0	4,90
Padrão	-	-	80 ppm	4,67

* o resultado obtido para a formulação padrão é a média de três diferentes ensaios padrão de análises realizadas em triplicata.

Pela análise estatística dos dados, verificou-se que somente a interação glicose oxidase X ácido ascórbico apresentou efeito significativo ($p < 0,10$) para o volume específico dos pães de forma, na faixa estudada, contribuindo para o aumento do volume específico.

A Tabela 21 apresenta os coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e valores de p apenas para os termos estatisticamente significativos a 10% de significância ($p < 0,10$) e a Tabela 68 do Anexo III apresenta todos os termos.

Tabela 21. Coeficientes de regressão para a resposta volume específico dos pães.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (15)	p-valor
Média	4,797806	0,042827	112,0274	0,000000
Gox x Ác. Asc.	0,188241	0,062431	3,0152	0,008699

Porém, apesar desta interação ser significativa, não foi possível estabelecer um modelo preditivo para a resposta volume específico em função das variáveis estudadas, pelo fato de o coeficiente de determinação ser muito baixo ($R^2 = 37,74$) e os resíduos muito altos.

Pelo Teste de Tukey, foi realizada a comparação dos valores médios de volume específico do pão de todos os ensaios com o pão padrão. Os resultados estão apresentados na Tabela 22.

Pode-se verificar que, neste estudo, houve diferença significativa entre os volumes específicos da formulação padrão e apenas duas formulações do planejamento (ensaios 2 e 12) ($p < 0,10$).

Hilhorst et al. (1999) além de observarem um aumento no volume específico do pão com a adição de xilanase, verificaram também que a adição de glicose oxidase não teve o mesmo efeito. Além disso, observou que a combinação xilanase e glicose oxidase causou o mesmo aumento no volume proporcionado pela adição apenas de xilanase.

Rasiah et al. (2005) e Vemulapalli et al. (1998), ao estudarem o efeito da adição de glicose oxidase à massa do pão, verificaram que não houve diferença significativa entre os volumes dos pães com e sem esta enzima.

Gujral et al. (2003) observaram que a adição de ácido ascórbico (0, 10 e 20ppm não afetaram significativamente o volume do pão.

Tabela 22. Comparação de médias de volume específico de todos os ensaios do planejamento experimental com o pão padrão.

Ensaio	Volume específico (mL/g)
2	5,10 ^a
12	5,09 ^a
8	5,05 ^{ab}
7	4,94 ^{ab}
1	4,91 ^{ab}
17	4,90 ^{ab}
16	4,88 ^{abc}
15	4,85 ^{abcd}
10	4,84 ^{abcd}
11	4,81 ^{abcd}
13	4,79 ^{abcd}
5	4,74 ^{abcde}
Padrão	4,67 ^{bcde}
3	4,66 ^{bcde}
6	4,64 ^{bcde}
14	4,47 ^{cde}
4	4,45 ^{de}
9	4,37 ^e

* Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si ($p < 0,10$).

5.4.2. Cor do miolo

A Tabela 23 apresenta os valores de L*, C*, h dos pães de forma adicionados de xilanase, glicose oxidase e ácido ascórbico de acordo com o planejamento experimental.

Tabela 23. Cor do miolo dos pães de forma de acordo com o planejamento experimental.

Ensaio	Xilanase	Glicose oxidase	Ácido ascórbico	L*	C*	h*
1	-1	-1	-1	59,75	18,41	74,30
2	1	-1	-1	59,13	18,26	74,59
3	-1	1	-1	58,53	18,60	74,09
4	1	1	-1	61,15	18,93	73,90
5	-1	-1	1	60,28	19,50	73,53
6	1	-1	1	59,19	18,07	74,66
7	-1	1	1	59,22	18,90	73,96
8	1	1	1	59,31	18,54	74,39
9	-1,68	0	0	60,70	19,30	74,09
10	1,68	0	0	61,00	18,88	74,68
11	0	-1,68	0	59,91	18,44	74,46
12	0	1,68	0	59,05	18,78	73,93
13	0	0	-1,68	59,42	18,82	74,06
14	0	0	1,68	59,69	18,79	74,19
15	0	0	0	60,34	18,80	74,54
16	0	0	0	59,19	18,47	74,36
17	0	0	0	59,64	18,58	74,26
Padrão	-	-	80 ppm	60,25	18,72	74,35

* o resultado obtido para a formulação padrão é a média de três diferentes ensaios padrão de análises realizadas em triplicata.

L*: luminosidade; C*: croma; h*: ângulo de tonalidade.

5.4.2.1. L* do miolo

Para o parâmetro L* da cor do miolo dos pães, os valores encontrados situaram-se entre 58,53 e 61,15. Para o padrão, o valor médio encontrado para esse parâmetro foi 60,25, dentro da faixa encontrada nos ensaios do planejamento.

Valores mais altos de L* indicam maior reflectância da luz, traduzindo-se em pães com coloração clara (Esteller & Lannes, 2005). Pode-se observar que os valores de L* dos ensaios estão localizados próximos ao centro da escala de 0 (preto) a 100 (branco), apresentando uma tendência à coloração clara.

Através dos resultados do parâmetro de cor L* apresentados na Tabela 23 verificou-se a possibilidade de um modelo preditivo. A Tabela 24 apresenta os coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e valores de p. Aqui estão apresentados apenas os termos estatisticamente significativos a 10% de significância ($p < 0,10$) e a Tabela 69 (Anexo III) apresenta todos os termos.

Tabela 24. Coeficientes de regressão para a resposta L* dos pães de forma.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (13)	p-valor
Média	59,42797	0,163264	363,9984	0,000000
Xilanase (Q)	0,38289	0,137603	2,7826	0,015539
XIL X GOX	0,55250	0,175275	3,1522	0,007639
XIL X Ác. Asc.	-0,37500	0,175275	-2,1395	0,051943

Os termos xilanase (Q) e as interações xilanase X glicose oxidase e xilanase X ácido ascórbico apresentaram efeito significativo ($p < 0,10$), na faixa estudada. Porém, apesar destes termos serem significativos, não foi possível estabelecer um modelo para a resposta L* do miolo dos pães em função das variáveis estudadas, pelo fato de o coeficiente de determinação ser muito baixo ($R^2 = 63,13$) e os resíduos muito altos.

Apesar de não ter sido obtido modelo preditivo, observa-se que o fator quadrático da xilanase e a interação xilanase X glicose oxidase tiveram efeito

positivo no valor de L^* da cor do miolo, enquanto a interação xilanase X ácido ascórbico apresentou efeito negativo. Os termos lineares e quadráticos de glicose oxidase e ácido ascórbico não tiveram influência significativa na resposta L^* do miolo dos pães.

5.4.2.2. C^* do miolo

Os pães apresentaram resultados para o parâmetro C^* entre valores de 18,07 e 19,5. Os pães elaborados com a formulação padrão apresentaram resultados médios de 18,72, dentro da faixa encontrada para os outros ensaios.

Como pode ser verificado na Tabela 25, para o parâmetro C^* , os termos que influenciaram significativamente ($p < 0,10$) foram xilanase (L), xilanase (Q), xilanase X glicose oxidase e xilanase X ácido ascórbico. Observou-se que os termos quadrático de xilanase e a interação xilanase X ácido ascórbico tiveram efeito positivo sobre essa resposta e a interação glicose oxidase X ácido ascórbico não influenciou significativamente a resposta em estudo. A Tabela 70 do Anexo III apresenta todos os termos para a resposta C^* dos pães de forma.

Tabela 25. Coeficientes de regressão para a resposta C^* dos pães de forma.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (12)	p-valor
Média	18,60642	0,074436	249,9657	0,000000
Xilanase (L)	-0,16971	0,061189	-2,7735	0,016853
Xilanase (Q)	0,12905	0,062736	2,0570	0,062104
XIL X GOX	0,19375	0,079912	2,4245	0,032051
XIL X Ác. Asc.	-0,24625	0,079912	-3,0815	0,009511

A Anova do modelo ajustado (Tabela 26) apresentou uma variação explicada de 69,46% e o valor de F_{calc} foi maior que o valor de F_{tab} (2,48) ($p < 0,10$).

Tabela 26. Anova para a resposta C^* da cor dos pães de forma.

Fontes de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calc
Regressão	1,39455	4	0,34864	6,82
Resíduos	0,61305	12	0,05109	
Total	2,00760	16	0,12548	

Devido aos resultados satisfatórios da análise de variância, pôde-se obter o modelo codificado que descreve o comportamento do parâmetro C^* .

A equação da regressão para a resposta C^* da cor dos pães de forma foi:

$$C^* = 18,60642 - 0,16971 * x_1 + 0,12905 * (x_1)^2 + 0,19375 * x_1 * x_2 - 0,24625 * x_1 * x_3$$

Desta forma, foi possível construir as superfícies de resposta e as curvas de contorno (Figura 9).

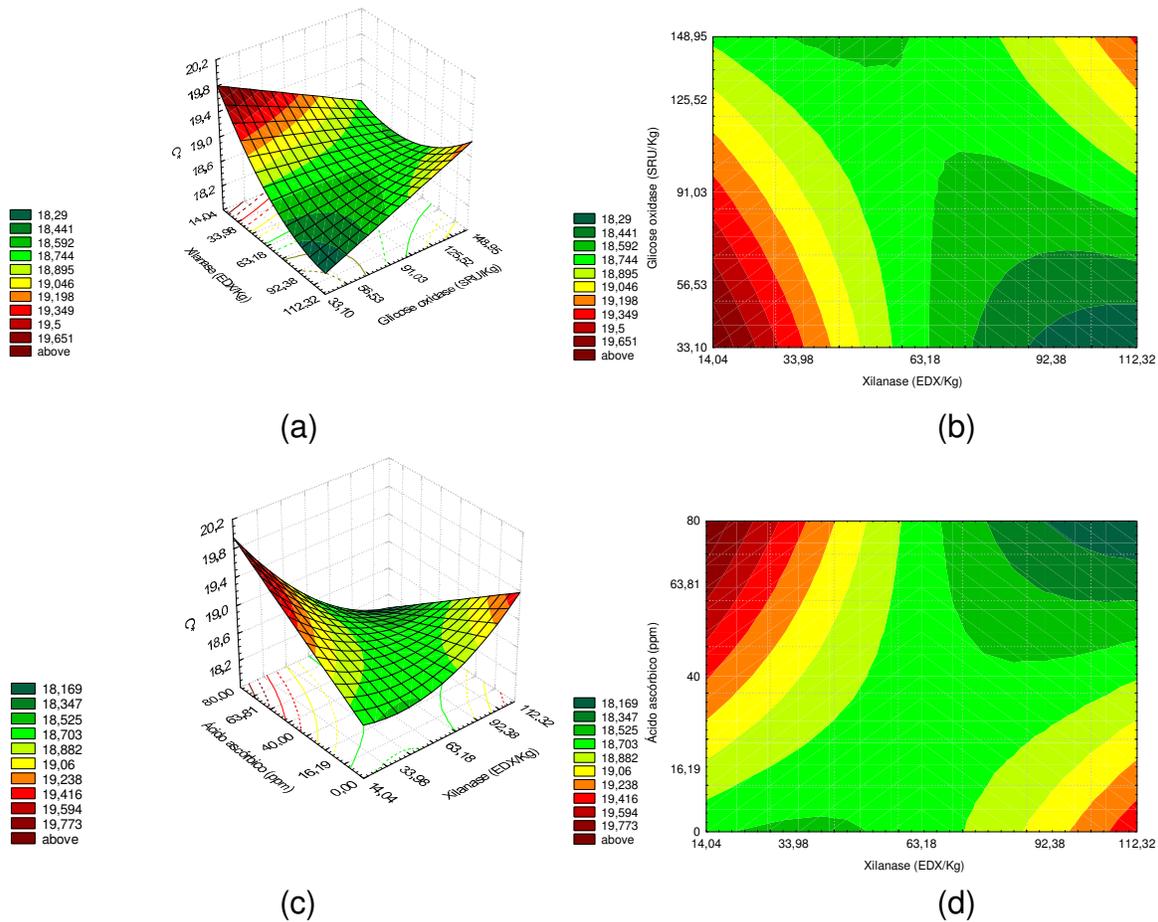


Figura 9: Superfícies de resposta e curvas de contorno para o parâmetro C^* da cor dos pães de forma em função de: (a) e (b) xilanase e glicose oxidase, (c) e (d) xilanase e ácido ascórbico, estando a 3ª variável fixada no nível 0.

Através das superfícies de resposta e curvas de contorno, pode-se verificar que concentrações mais baixas de xilanase e glicose oxidase e concentrações mais altas de ácido ascórbico levam a maiores valores de C^* , ou seja, o miolo dos pães apresenta a cor mais saturada, ou seja, a cor mais intensa.

A Tabela 84 do Anexo IV apresenta os valores experimentais, os previstos pelo modelo codificado, os desvios e os desvios relativos da resposta C^* da cor do miolo dos pães de forma para cada ensaio do DCCR, quantificando a porcentagem do valor experimental menos o previsto pelo modelo em relação ao experimental. Pode-se observar que os desvios foram baixos, havendo, então, uma boa concordância entre eles.

5.4.2.3. h do miolo

Os resultados obtidos para o parâmetro h situaram-se na faixa entre 73,53 e 74,68, mostrando uma tendência à coloração amarela. Os pães da formulação padrão apresentaram valor médio de h de 74,35, dentro da faixa encontrada para os outros ensaios. Essa coloração amarela está relacionada com a presença de pigmentos amarelos presentes no gérmen do trigo, principalmente os carotenóides (Al-Hooti et al., 2002) e também aos pigmentos encontrados nas camadas mais externas do grão, influenciando na coloração do miolo dos pães.

A Tabela 27 apresenta os termos estatisticamente significativos $p < 0,10$ em relação ao parâmetro h da cor dos pães de forma. Analisando-se os coeficientes de regressão, pode-se verificar que esse parâmetro mostrou ser dependente dos seguintes termos: xilanase (L), glicose oxidase (L), glicose oxidase (Q), ácido ascórbico (Q) e as interações xilanase X glicose oxidase, xilanase X ácido ascórbico e glicose oxidase X ácido ascórbico. Apenas os parâmetros xilanase (Q) e ácido ascórbico (L) não apresentaram efeitos significativos ($p < 0,10$) nas faixas estudadas.

Tabela 27. Coeficientes de regressão para a resposta h dos pães de forma.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (9)	p-valor
Média	74,37547	0,044561	1669,054	0,000000
Xilanase (L)	0,19430	0,027874	6,971	0,000065
Glicose oxidase (L)	-0,11949	0,027874	-4,287	0,002030
Glicose oxidase (Q)	-0,07529	0,029348	-2,565	0,030422
Ácido ascórbico (Q)	-0,10009	0,029348	-3,410	0,007745
XIL X GOX	-0,14750	0,036403	-4,052	0,002877
XIL X Ác. Asc.	0,18250	0,036403	5,013	0,000726
GOX X Ác. Asc.	0,13250	0,036403	3,640	0,005403

A Anova do modelo ajustado (Tabela 28) apresentou uma variação explicada de 93,83% e no teste F, o valor calculado foi maior que o valor tabelado (2,51) ($p < 0,10$).

Tabela 28. Anova para a resposta h da cor dos pães de forma.

Fontes de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calc
Regressão	1,45001	7	0,20714	19,54
Resíduos	0,095414	9	0,01060	
Total	1,545424	16	0,09659	

Em razão desses resultados, o modelo pode ser utilizado para prever o comportamento da resposta h da cor do miolo dos pães de forma dentro do intervalo de variação estudado.

A equação da regressão obtida foi:

$$h = 74,37547 + 0,19430 * x_1 - 0,11949 * x_2 - 0,07529 * (x_2)^2 - 0,10009 * (x_3)^2 - 0,14750 * x_1 * x_2 + 0,18250 * x_1 * x_3 + 0,13250 * x_2 * x_3$$

Desta forma, foi possível construir as superfícies de resposta e as curvas de contorno (Figura 10).

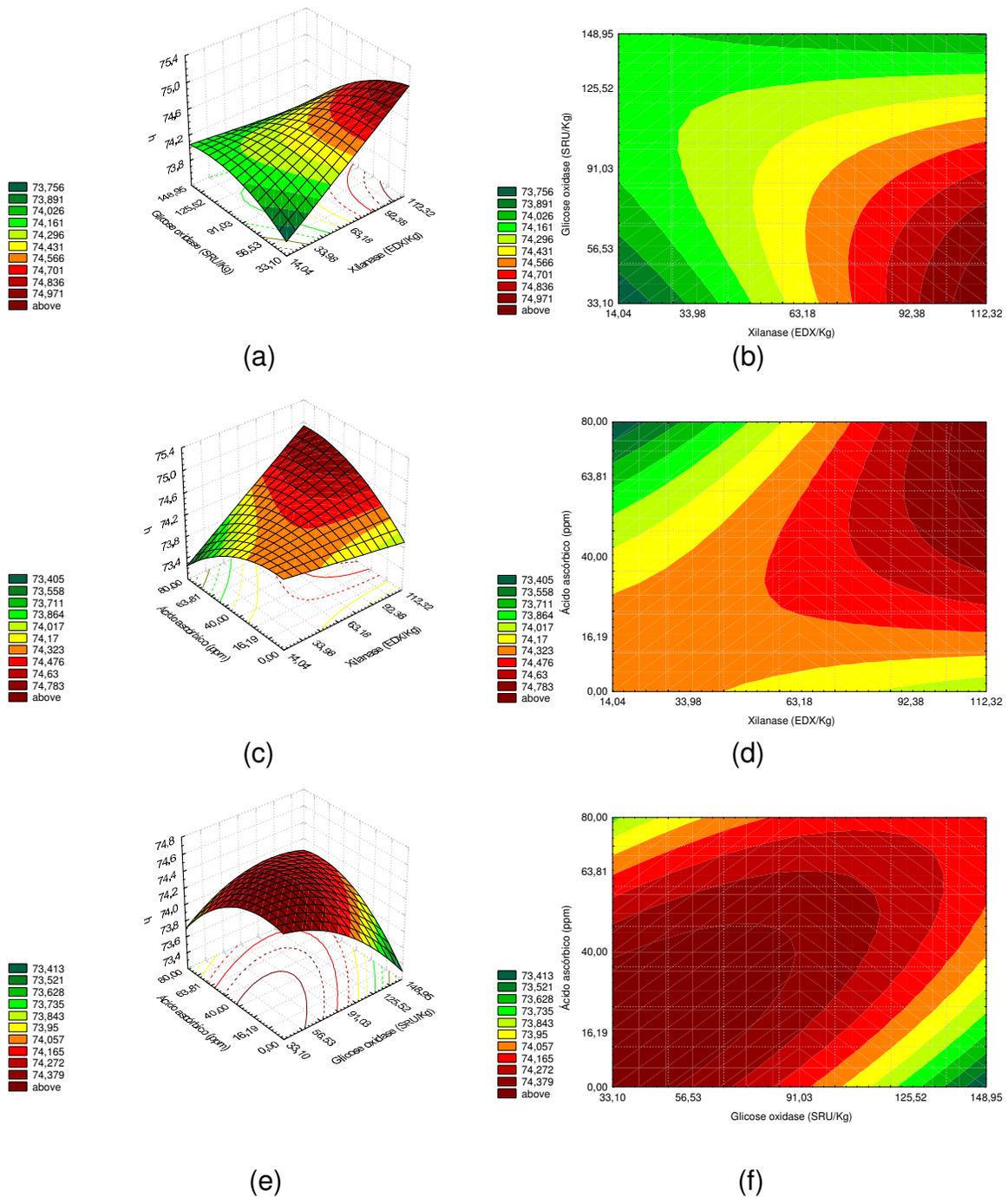


Figura 10: Superfícies de resposta e curvas de contorno para o parâmetro h da cor do miolo dos pães de forma em função das concentrações de: (a) e (b) xilanaase e glicose oxidase, (c) e (d) xilanaase e ácido ascórbico, (e) e (f) glicose oxidase e ácido ascórbico, estando a 3ª variável fixada no nível 0.

A Tabela 85 do Anexo IV apresenta os valores experimentais, os previstos pelo modelo codificado, os desvios e os desvios relativos da resposta h da cor do miolo dos pães de forma para cada ensaio do DCCR, quantificando a porcentagem do valor experimental menos o previsto pelo modelo em relação ao experimental. Pode-se observar que os desvios relativos foram baixos, indicando boa concordância entre os valores experimentais e os previstos pelo modelo.

Analisando-se as superfícies de resposta e as curvas de contorno, pode-se verificar que, dentro da faixa estudada, o valor da resposta h da cor do miolo dos pães foi maior quando a enzima xilanase foi adicionada em concentrações mais elevadas e glicose oxidase, em concentrações mais baixas. Observou-se também que a quantidade de ácido ascórbico é dependente das outras variáveis, ou seja, o ângulo de tonalidade é maior quando maiores concentrações de xilanase e ácido ascórbico são adicionados e quando glicose oxidase e ácido ascórbico são adicionados em menor quantidade.

Vida de prateleira

O envelhecimento de pães é responsável por significativas perdas tanto para os consumidores quanto para os produtores de pães. Esse envelhecimento corresponde a perdas de qualidade relacionadas a frescor, textura, umidade, dentre outros.

Algumas alterações que ocorrem em produtos panificados vinculadas às condições de armazenamento, embalagem, temperatura e umidade relativa são perda de maciez devido à absorção ou migração da água do miolo para a crosta, aumento da firmeza dos pães devido à perda de água para a atmosfera e também, ao processo de retrogradação do amido e modificações no aroma e sabor (Esteller, 2004).

5.4.3. Atividade de água

A Tabela 29 apresenta os resultados de atividade de água dos pães de forma em função dos dias de armazenamento.

Tabela 29. Atividade de água dos pães de acordo com o planejamento experimental.

Ensaio	Xilanase	Glicose oxidase	Ácido ascórbico	Dia 1	Dia 4	Dia 7	Dia 10
1	-1	-1	-1	0,966	0,967	0,964	0,965
2	1	-1	-1	0,966	0,966	0,966	0,964
3	-1	1	-1	0,966	0,966	0,964	0,966
4	1	1	-1	0,965	0,966	0,965	0,964
5	-1	-1	1	0,968	0,969	0,970	0,969
6	1	-1	1	0,968	0,970	0,967	0,963
7	-1	1	1	0,969	0,971	0,967	0,963
8	1	1	1	0,967	0,968	0,970	0,967
9	-1,68	0	0	0,966	0,967	0,967	0,964
10	1,68	0	0	0,968	0,967	0,964	0,960
11	0	-1,68	0	0,967	0,965	0,966	0,964
12	0	1,68	0	0,969	0,970	0,968	0,964
13	0	0	-1,68	0,963	0,966	0,964	0,962
14	0	0	1,68	0,968	0,970	0,971	0,969
15	0	0	0	0,967	0,967	0,966	0,967
16	0	0	0	0,967	0,967	0,967	0,967
17	0	0	0	0,967	0,967	0,967	0,967
Padrão	-	-	80 ppm	0,967	0,967	0,966	0,964

* o resultado obtido para a formulação padrão é a média de análises realizadas em triplicata.

A atividade de água do miolo dos pães apresentou valores entre 0,960 e 0,971 no decorrer da vida de prateleira.

Através dos resultados obtidos de atividade de água, verificou-se a possibilidade de modelo preditivo no primeiro dia de armazenamento. A Tabela 30 apresenta os coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e valores de p, apenas dos termos estatisticamente significativos a 10% de significância.

Analisando-se os coeficientes de regressão, pode-se verificar que, dentro da faixa estudada, os parâmetros que tiveram influência significativa na atividade de água dos pães no primeiro dia de armazenamento foram ácido ascórbico (L) e (Q). O fator linear do ácido ascórbico teve efeito positivo, enquanto o fator quadrático do ácido ascórbico apresentou efeito negativo sobre a resposta.

Tabela 30. Coeficientes de regressão para a resposta atividade de água dos pães de forma no primeiro dia de armazenamento.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (14)	p-valor
Média	0,967314	0,000255	3790,742	0,000000
Ácido ascórbico(L)	0,001275	0,000210	6,079	0,000028
Ácido ascórbico(Q)	-0,000575	0,000215	-2,672	0,018211

Analisando-se a Anova (Tabela 31), pode-se verificar que o modelo foi significativo ($F_{\text{calc}} > F_{\text{tab}}=2,73$) e a porcentagem de variação explicada, de 75,90%.

Tabela 31. Anova para a resposta atividade de água dos pães no primeiro dia de armazenamento.

Fontes de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F_{calc}
Regressão	0,000026	2	0,0000132384	22,05
Resíduos	0,000008	14	0,0000006004	
Total	0,000035	16	0,0000021801	

A equação da regressão para a atividade de água no primeiro dia de armazenamento foi:

$$Aw_{dia1} = 0,967314 + 0,001275 * x_3 - 0,000575 * (x_3)^2$$

Como foi verificada a significância de apenas uma das variáveis sobre a resposta, obteve-se uma curva unidimensional de 2ª ordem (Figura 11), que melhor representa o efeito dessa variável, ao invés de uma superfície.

Observando-se a curva obtida, verifica-se que, dentro da faixa estudada, maiores valores de atividade de água no primeiro dia de armazenamento foram alcançados quando altas concentrações de ácido ascórbico foram adicionadas à formulação. O máximo valor de atividade de água foi encontrado quando concentrações em torno de 65ppm de ácido ascórbico foram adicionadas.

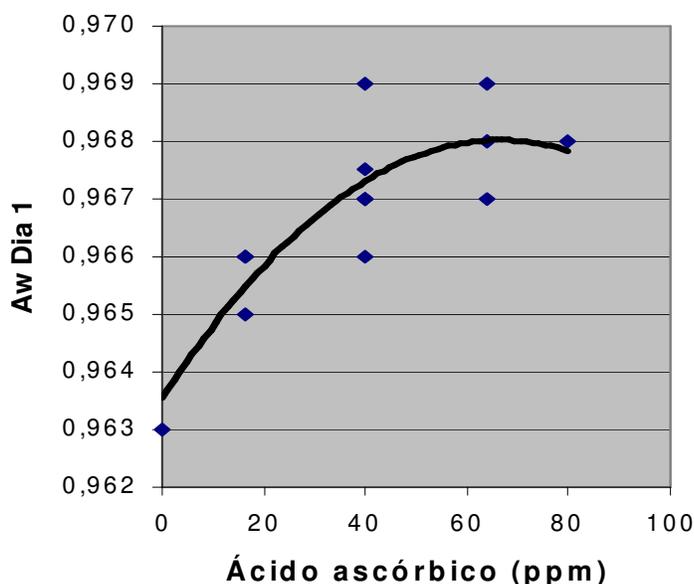


Figura 11: Atividade de água do pão no primeiro dia de armazenamento em função do ácido ascórbico.

Como pode ser observado na Tabela 32, para a atividade de água dos pães de forma no quarto dia de armazenamento, apenas o fator ácido ascórbico linear apresentou efeito significativo ($p < 0,10$), contribuindo para o aumento da resposta em estudo. Porém, o coeficiente de correlação foi baixo ($R^2 = 55,95$) e, desta

forma, não foi possível estabelecer um modelo preditivo, dentro das condições estudadas.

Tabela 32. Coeficientes de regressão para a resposta atividade de água dos pães de forma no quarto dia de armazenamento.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (15)	p-valor
Média	0,967559	0,000297	3261,563	0,000000
Ácido ascórbico(L)	0,001445	0,000331	4,365	0,000555

Através da Tabela 33, pode-se verificar que, na faixa em estudo, o fator que teve influência significativa ($p < 0,10$) na atividade de água dos pães no sétimo dia de armazenamento foi apenas ácido ascórbico (L).

Tabela 33. Coeficientes de regressão para a resposta atividade de água dos pães de forma no sétimo dia de armazenamento.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (15)	p-valor
Média	0,966632	0,000302	3198,959	0,000000
Ácido ascórbico(L)	0,001961	0,000337	5,815	0,000034

A Anova (Tabela 34) apresentou uma variação explicada de 69,27% para a atividade de água dos pães de forma no sétimo dia de armazenamento e o valor de F_{calc} foi maior que $F_{\text{tab}}(3,07)$ ($p < 0,10$).

Tabela 34. Anova para a resposta atividade de água dos pães no sétimo dia de armazenamento.

Fontes de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calc
Regressão	5,24814E-05	1	5,24814E-05	33,81
Resíduos	2,32834E-05	15	1,55222E-06	
Total	7,57647E-05	16		

A equação da regressão para a atividade de água no sétimo dia de

armazenamento foi:

$$Aw_{dia\ 7} = 0,966632 + 0,001961 * x_3$$

Como foi verificada a significância de apenas um fator sobre a resposta atividade de água dos pães no dia 7 após o processamento, obteve-se uma reta (Figura 12), que melhor representa o efeito dessa variável, ao invés de uma superfície.

Observando-se a reta obtida, verifica-se que maiores valores de atividade de água, após sete dias de armazenamento, foram alcançados quando concentrações mais altas de ácido ascórbico foram adicionadas à formulação.

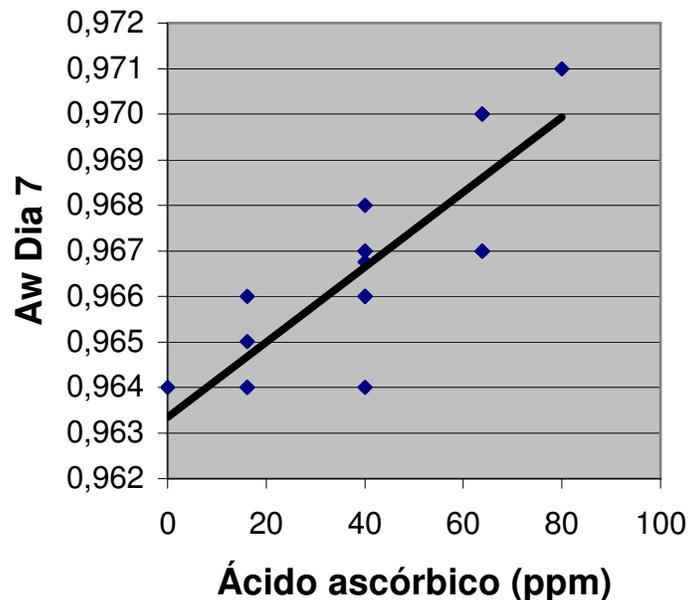


Figura 12: Atividade de água do pão no sétimo dia de armazenamento em função do ácido ascórbico.

De acordo com a Tabela 35, observa-se que, no décimo dia de armazenamento, os parâmetros significativos foram o fator quadrático da enzima xilanase e o fator linear do ácido ascórbico. Porém, não foi possível estabelecer um modelo preditivo pelo fato de o coeficiente de determinação ser muito baixo ($R^2 = 37,75$) e os resíduos muito altos.

Tabela 35. Coeficientes de regressão para a resposta atividade de água dos pães de forma no décimo dia de armazenamento.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (14)	p-valor
Média	0,965985	0,000674	1433,738	0,000000
Xilanase (Q)	-0,001228	0,000568	-2,162	0,048437
Ácido ascórbico(L)	0,001082	0,000554	1,953	0,071091

De acordo com as tabelas de coeficientes de regressão, verifica-se que o fator que teve influência significativa na atividade de água em todos os dias de armazenamento foi o fator linear do ácido ascórbico, contribuindo para o aumento da atividade de água dos pães de forma. Pelo seu efeito oxidativo, o ácido ascórbico aumenta a força do glúten e, conseqüentemente, aumenta a absorção de água no momento da formação da massa. Com o assamento do pão e a desnaturação protéica, ocorre uma maior liberação de água anteriormente ligada à rede de glúten.

As Tabelas 86 e 87 do Anexo IV apresentam os valores experimentais, os previstos pelo modelo codificado, os desvios e os desvios relativos da resposta atividade de água nos dias 1 e 7 após o processamento, para cada ensaio do DCCR, quantificando a porcentagem do valor experimental menos o previsto pelo modelo em relação ao experimental. Pode-se observar que os desvios relativos foram baixos, observando-se uma boa concordância entre eles.

A Figura 13 indica a variação da atividade de água dos pães de forma durante os dez dias de armazenamento, para todos os ensaios do planejamento e para a formulação padrão.

Na Tabela 36 são apresentados os resultados do teste de comparação de médias através do Teste de Tukey para atividade de água dos pães de forma em função do período de armazenamento

Observa-se que não houve diferença significativa na resposta atividade de água para a maioria dos ensaios durante os dez dias de armazenamento ($p < 0,10$).

Os valores de atividade de água dos pães de forma estão coerentes com os dados da literatura. Segundo Beuchat (1981), geralmente, a atividade de água de

pães está na faixa de 0,95 a 1,00. Nesse alto valor de aw não é possível assegurar estabilidade microbiológica para o produto, ficando propício a contaminação por fungos. Devido a esse problema, adicionam-se conservantes químicos às formulações de pães de forma.

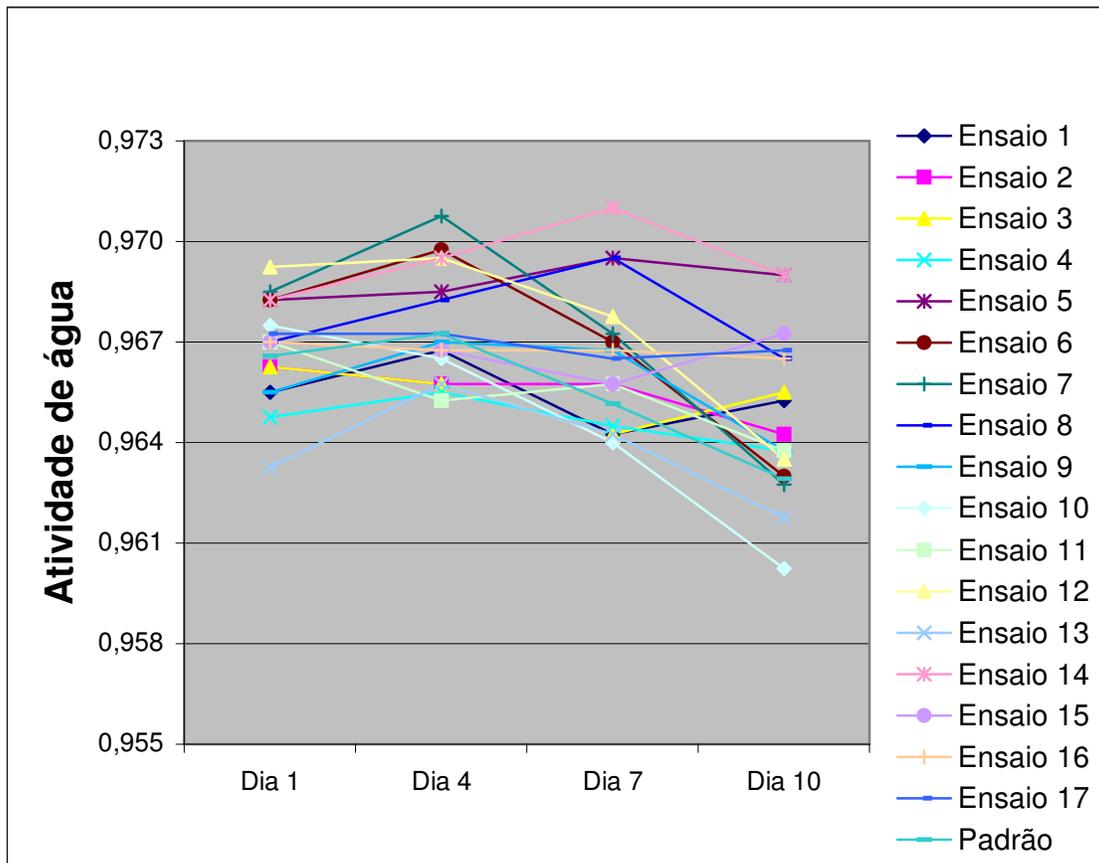


Figura 13: Atividade de água dos pães de forma durante o período de armazenamento.

Tabela 36. Teste de comparação de médias para atividade de água dos pães de forma em função do período de armazenamento.

Ensaio	Dias			
	1	4	7	10
1	0,966 ^{ab}	0,967 ^a	0,964 ^b	0,965 ^{ab}
2	0,966 ^a	0,966 ^a	0,966 ^a	0,964 ^a
3	0,966 ^a	0,966 ^a	0,964 ^a	0,966 ^a
4	0,965 ^a	0,966 ^a	0,965 ^a	0,964 ^a
5	0,968 ^a	0,969 ^a	0,970 ^a	0,969 ^a
6	0,968 ^{ab}	0,970 ^a	0,967 ^b	0,963 ^c
7	0,969 ^a	0,971 ^b	0,967 ^a	0,963 ^c
8	0,967 ^a	0,968 ^a	0,970 ^a	0,967 ^a
9	0,966 ^{ab}	0,967 ^a	0,967 ^a	0,964 ^b
10	0,968 ^a	0,967 ^a	0,964 ^b	0,960 ^c
11	0,967 ^a	0,965 ^{ab}	0,966 ^{ab}	0,964 ^b
12	0,969 ^a	0,970 ^a	0,968 ^a	0,964 ^b
13	0,963 ^{ab}	0,966 ^a	0,964 ^{ab}	0,962 ^b
14	0,968 ^a	0,970 ^a	0,971 ^a	0,969 ^a
15	0,967 ^a	0,967 ^a	0,966 ^a	0,967 ^a
16	0,967 ^a	0,967 ^a	0,967 ^a	0,967 ^a
17	0,967 ^a	0,967 ^a	0,967 ^a	0,967 ^a
Padrão	0,967 ^a	0,967 ^a	0,965 ^{ab}	0,963 ^b

* Médias seguidas pela mesma letra, na mesma linha, não diferem significativamente entre si ($p < 0,10$).

5.4.4. Umidade

Quanto à umidade, ocorreram variações nas diversas formulações, havendo uma tendência de redução de umidade no decorrer dos dez dias de armazenamento.

A Tabela 37 apresenta a influência da adição de xilanase, glicose oxidase e ácido ascórbico na umidade dos pães de forma durante o período de armazenamento de 1, 4, 7 e 10 dias. Também é apresentada a porcentagem de redução de umidade dos pães no quarto, sétimo e décimo dias de

armazenamento, em relação ao primeiro dia.

O conteúdo de umidade dos pães de forma variou entre 43,45 e 44,54 % no dia seguinte ao processamento. Já o pão padrão, sem adição de enzimas e com adição de 80 ppm de ácido ascórbico, apresentou umidade média de 44,08%, resultado este, dentro dos valores encontrados nos ensaios do delineamento.

No quarto dia de armazenamento, a umidade apresentou uma redução já esperada, variando entre 42,40 e 43,88%. E o pão padrão apresentou umidade média de 43,44%, valor este também dentro da faixa encontrada nos dezessete ensaios do planejamento. A porcentagem de redução de umidade dos pães no quarto dia de armazenamento variou de 0,59 a 2,55%, em relação ao primeiro dia de armazenamento. Para o pão padrão, a redução da umidade encontra-se neste intervalo, 1,45% em relação ao primeiro dia.

Após 7 dias de armazenamento, a umidade variou entre 41,18 e 42,45% e o pão padrão 42,09%. A porcentagem de redução de umidade dos pães no sétimo dia de armazenamento variou de 3,08 a 5,64%, em relação ao primeiro dia de armazenamento, sendo que o pão padrão apresentou uma redução de 4,51%.

E no 10^o dia de armazenamento, a redução foi mais acentuada. A umidade variou entre 40,17 e 41,65% e o pão padrão apresentou umidade média 40,81%. A porcentagem de redução de umidade dos pães no décimo dia de armazenamento variou de 4,87 a 9,02%, em relação ao primeiro dia de armazenamento e para o pão padrão, essa redução foi de 7,42%.

Pode-se verificar que as maiores reduções de umidade ocorreram no décimo dia de armazenamento. Valores baixos para a redução na porcentagem de umidade significam uma menor perda de umidade dos pães durante o armazenamento e estão relacionados a um aumento da vida de prateleira desses pães.

O pão que apresentou um maior valor de umidade foi o do ensaio 14, quando um maior nível de ácido ascórbico foi utilizado, exceto para o dia 10, em que o pão do ensaio 7 apresentou a maior umidade. Os pães que apresentaram menor perda de umidade ao longo dos 10 dias de vida de prateleira foram aqueles do

ensaio	7.
--------	----

Tabela 37. Umidade dos pães de forma durante o estudo da vida de prateleira, segundo o planejamento experimental e porcentagem de redução da umidade em relação ao primeiro dia de armazenamento.

Ensaio	Xilanase	Glicose oxidase	Ácido ascórbico	Dia 1	Dia 4		Dia 7		Dia 10	
				U (%)	U (%)	% redução	U (%)	% redução	U (%)	% redução
1	-1	-1	-1	43,58	43,04	1,24	41,81	4,06	40,75	6,49
2	1	-1	-1	43,81	43,3	1,16	41,89	4,38	40,44	7,69
3	-1	1	-1	43,91	43,25	1,50	41,89	4,60	41,44	5,63
4	1	1	-1	43,51	42,4	2,55	41,18	5,36	40,20	7,61
5	-1	-1	1	44,35	43,36	2,23	41,99	5,32	40,35	9,02
6	1	-1	1	43,71	42,94	1,76	42,13	3,61	40,75	6,77
7	-1	1	1	43,78	43,3	1,10	42,43	3,08	41,65	4,87
8	1	1	1	44,04	43,73	0,70	41,79	5,11	40,50	8,04
9	-1,68	0	0	43,91	43,03	2,00	42,08	4,17	40,73	7,25
10	1,68	0	0	43,58	42,88	1,61	41,46	4,86	40,17	7,83
11	0	-1,68	0	43,95	43,01	2,14	41,47	5,64	40,66	7,49
12	0	1,68	0	43,96	43,32	1,46	42,36	3,64	41,45	5,71
13	0	0	-1,68	43,45	43,08	0,85	41,61	4,23	40,65	6,44
14	0	0	1,68	44,54	43,88	1,48	42,45	4,69	41,40	7,05
15	0	0	0	43,55	43,27	0,64	41,85	3,90	40,50	7,00
16	0	0	0	43,87	43,6	0,62	41,88	4,54	40,40	7,91
17	0	0	0	43,81	43,55	0,59	41,83	4,52	40,39	7,81
Padrão	-	-	80 ppm	44,08	43,44	1,45	42,09	4,51	40,81	7,42

* o resultado obtido para a formulação padrão é a média de análises realizadas em triplicata.

Através dos resultados de umidade apresentados na Tabela 37, verificou-se a possibilidade de modelos preditivos nos dias 1, 4, 7 e 10 de armazenamento.

A Tabela 38 apresenta os coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e valores de p para a umidade dos pães de forma no primeiro dia de armazenamento. O fator ácido ascórbico (L) e as interações xilanase X glicose oxidase e xilanase X ácido ascórbico apresentaram efeito significativo ($p < 0,10$), na faixa estudada. Porém, apesar destes termos serem significativos, não foi possível estabelecer um modelo preditivo para a resposta umidade dos pães de forma em função das variáveis estudadas ao nível de 10% de significância, pelo fato de o coeficiente de determinação ser baixo ($R^2 = 63,06$) e os resíduos muito altos.

Tabela 38. Coeficientes de regressão para a resposta umidade dos pães no primeiro dia de armazenamento.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t(13)	p-valor
Média	43,74706	0,083967	520,9999	0,000000
Ácido ascórbico(L)	0,34454	0,093724	3,6761	0,002794
XIL X GOX	0,25875	0,122403	2,1139	0,054418
XIL X Ác. Asc.	-0,25125	0,122403	-2,0527	0,060805

Apesar de não ter sido possível obter um modelo preditivo, observou-se que o fator linear do ácido ascórbico e a interação xilanase X glicose oxidase contribuíram para um aumento no valor da umidade dos pães no primeiro dia de armazenamento, sendo que o efeito do ácido ascórbico ainda foi superior ao efeito da interação.

Shah et al. (2006), relataram que a adição de xilanase à formulação aumentou o conteúdo de umidade do pão, quando comparado com o pão produzido com a formulação padrão. Entretanto, Courtin et al. (2001) relataram uma redução na umidade do pão produzido com adição de xilanase.

No quarto dia de armazenamento, como pode ser verificado na Tabela 39, o fator que influenciou significativamente a umidade do pão de forma foi o fator

quadrático de xilanase contribuindo para a redução da umidade do pão de forma. Porém, o coeficiente de determinação foi apenas $R^2 = 21,36$, não sendo possível estabelecer um modelo preditivo.

Tabela 39. Coeficientes de regressão para a resposta umidade dos pães no quarto dia de armazenamento.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (15)	p-valor
Média	43,47599	0,118455	367,0252	0,000000
Xilanase (Q)	-0,20151	0,099837	-2,0184	0,061802

Para a umidade dos pães de forma no sétimo dia de armazenamento os termos xilanase (L), ácido ascórbico (L) e a interação xilanase X glicose oxidase apresentaram efeito significativo ($p < 0,10$), na faixa estudada (Tabela 40).

Tabela 40. Coeficientes de regressão para a resposta umidade dos pães no sétimo dia de armazenamento.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (13)	p-valor
Média	41,88829	0,051649	811,0148	0,000000
Xilanase (L)	-0,15854	0,057651	-2,7500	0,016539
Ácido ascórbico (L)	0,21849	0,057651	3,7898	0,002250
XIL X GOX	-0,19625	0,075291	-2,6066	0,021734

A Anova do modelo ajustado (Tabela 41) apresentou uma variação explicada de 68,84% e o valor de F_{calc} foi maior que o valor de F_{tab} (2,56) ($p < 0,10$).

Tabela 41. Anova para a resposta umidade dos pães no sétimo dia de armazenamento.

Fontes de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F_{calc}
Regressão	1,30241	3	0,43414	9,57
Resíduos	0,589549	13	0,04535	
Total	1,891959	16	0,11825	

Devido aos resultados satisfatórios da análise de variância, pôde-se obter o modelo codificado que descreve o comportamento da umidade dos pães de forma no sétimo dia de armazenamento.

$$Umidade_{dia7} = 41,88829 - 0,15854 * x_1 + 0,21849 * x_3 - 0,19625 * x_1 * x_2$$

Com relação ao décimo dia de armazenamento, pode-se verificar que os termos que tiveram influência significativa ($p < 0,10$) na umidade dos pães foram xilanase (L), glicose oxidase (L), glicose oxidase (Q), ácido ascórbico (L), ácido ascórbico (Q) e interação xilanase X glicose oxidase.

O coeficiente de correlação foi 89,26%, indicando um bom ajuste do modelo aos dados, o que garante a validade das predições efetuadas.

Tabela 42. Coeficientes de regressão para a resposta umidade dos pães no décimo dia de armazenamento.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (10)	p-valor
Média	40,41522	0,083708	482,8118	0,000000
Xilanase (L)	-0,23751	0,052361	-4,5360	0,001081
Glicose oxidase (L)	0,20720	0,052361	3,9571	0,002699
Glicose oxidase (Q)	0,20214	0,055130	3,6667	0,004341
Ácido ascórbico (L)	0,12312	0,052361	2,3514	0,040541
Ácido ascórbico (Q)	0,19151	0,055130	3,4739	0,005982
XIL X GOX	-0,31000	0,068383	-4,5333	0,001086

A Anova do modelo ajustado está apresentada na Tabela 43. O valor de F_{calc} foi maior que o valor de $F_{tab}(2,46)$, ao nível de 10% de significância.

Tabela 43. Anova para a resposta umidade dos pães no décimo dia de armazenamento.

Fontes de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calc
Regressão	3,10908	6	0,51818	13,85
Resíduos	0,37410	10	0,03741	
Total	3,48318	16	0,21770	

Devido aos resultados satisfatórios da análise de variância, obteve-se o modelo codificado que descreve o comportamento da umidade dos pães de forma no dia 10 de armazenamento.

$$Umidade_{dia10} = 40,41522 - 0,23751 * x_1 + 0,20720 * x_2 + 0,20214 * (x_2)^2 + 0,12312 * x_3 + 0,19151 * (x_3)^2 - 0,31 * x_1 * x_2$$

As superfícies de resposta e as curvas de contorno referentes aos dias 7 e 10 de armazenamento estão apresentadas nas Figuras 14 e 15, respectivamente.

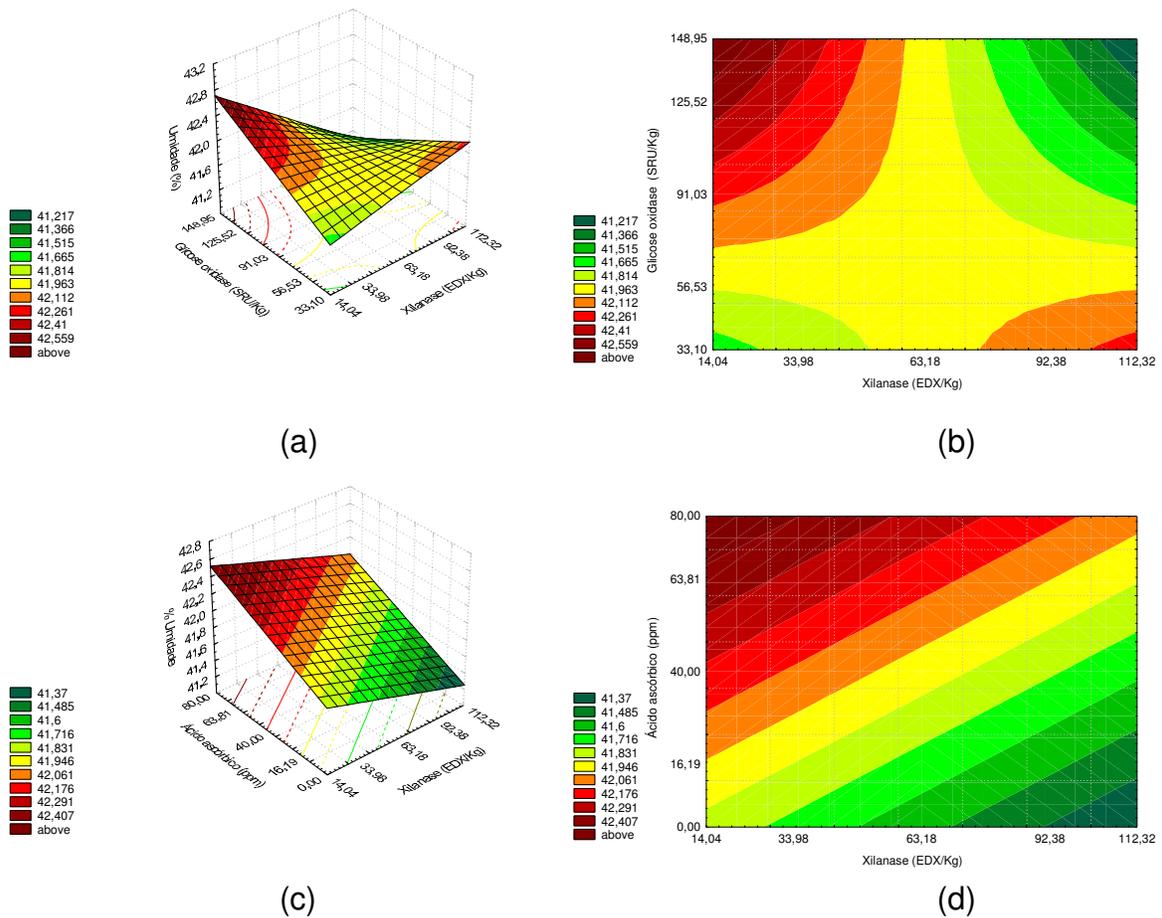


Figura 14: Superfícies de resposta e curvas de contorno para a umidade do pão no sétimo dia de armazenamento em função: (a) e (b) da xilanasase e da glicose oxidase, (c) e (d) da xilanasase e do ácido ascórbico, estando a 3ª variável fixada no nível 0.

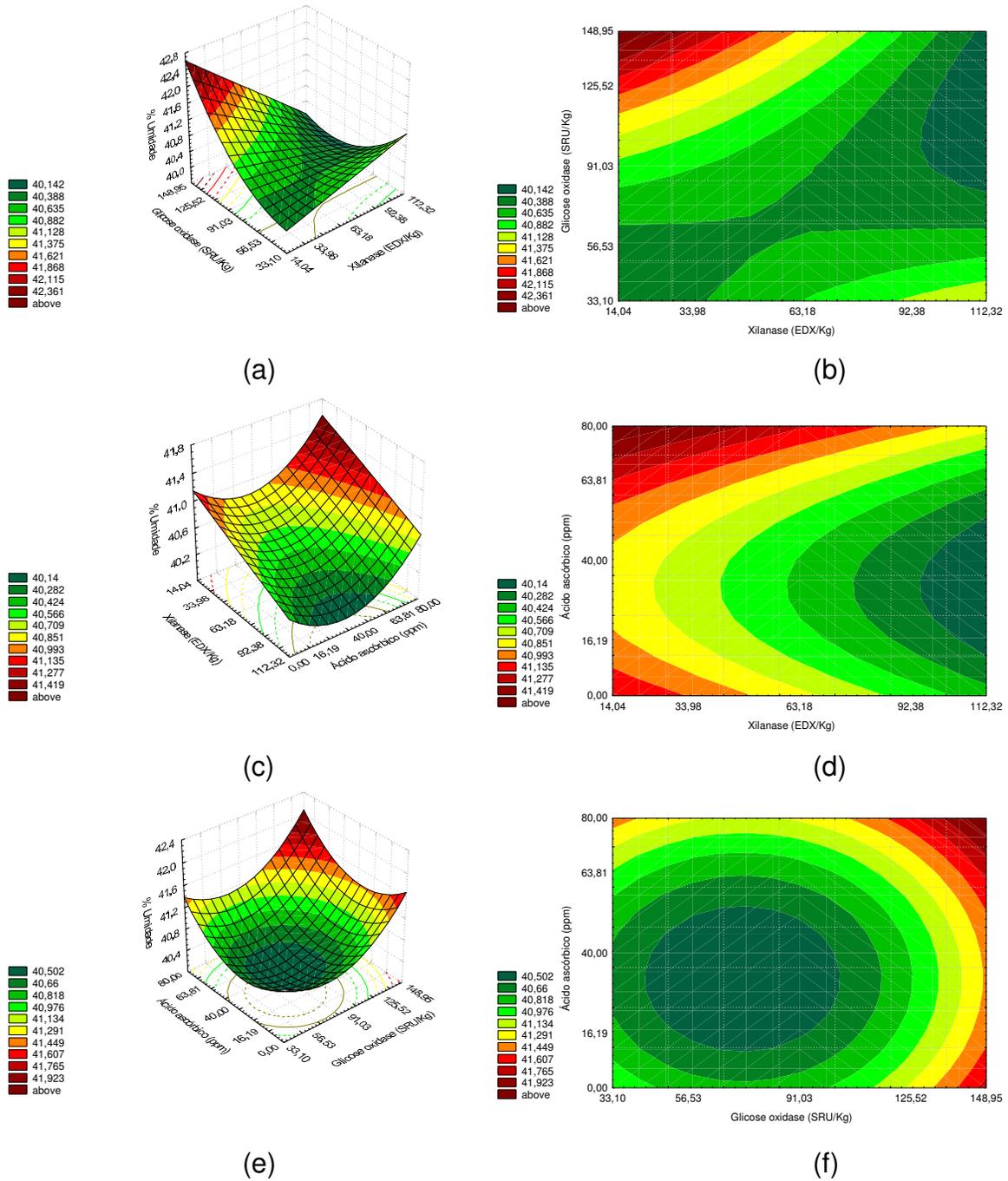


Figura 15: Superfícies de resposta e curvas de contorno para a umidade do pão no décimo dia de armazenamento em função: (a) e (b) da xilanase e da glicose oxidase, (c) e (d) da xilanase e do ácido ascórbico, (e) e (f) da glicose oxidase e do ácido ascórbico, estando a 3ª variável fixada no nível 0.

Analisando-se as superfícies de resposta e curvas de contorno geradas pelo modelo para a umidade no sétimo e no décimo dias de armazenamento, verifica-se que maiores valores de umidade são encontrados nos pães onde menores concentrações de xilanase e maiores quantidades de glicose oxidase e ácido ascórbico são adicionados.

Verificou-se que os miolos com maior teor de umidade no dia seguinte ao processamento foram os mesmos que apresentaram maior teor de umidade também nos dias 4 e 7 após o processamento, correspondentes ao ensaio 14, quando um maior nível de ácido ascórbico foi empregado.

Um bom ajuste dos dados experimentais ao modelo predito da resposta umidade dos pães nos dias 7 e 10 de armazenamento pode ser observado nas Tabelas 88 e 89 do Anexo IV, onde verifica-se que os desvios relativos foram muito baixos para cada ensaio do planejamento.

A Figura 16 permite uma melhor visualização da umidade dos pães de forma ao longo dos dez dias de armazenamento para todos os ensaios.

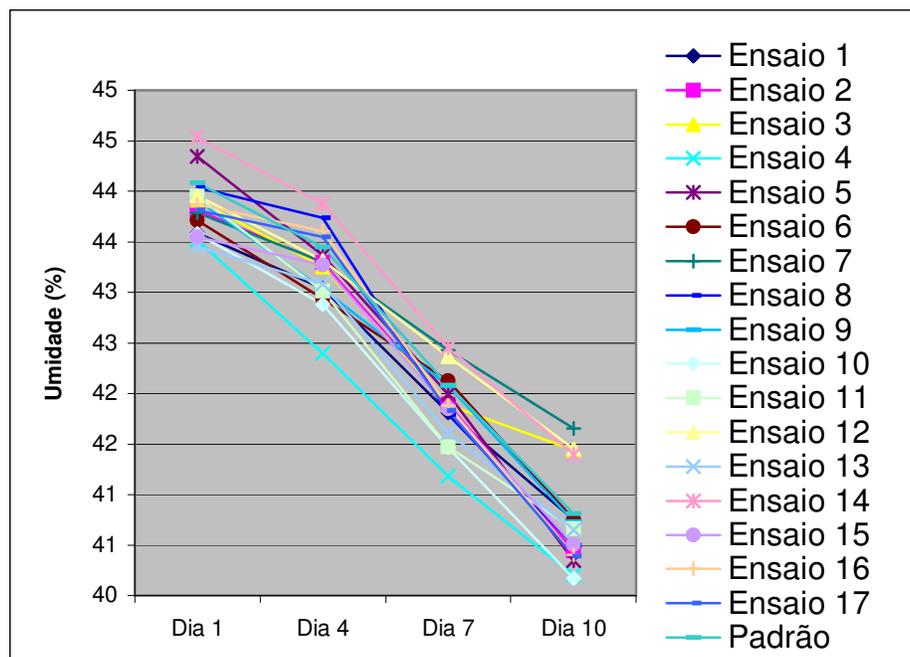


Figura 16: Perfil da redução de umidade dos pães de forma durante o armazenamento.

Pelo Teste de Tukey, foi realizada a comparação dos valores médios de umidade dos pães de forma dos ensaios do planejamento e do pão padrão durante o período de armazenamento. Os resultados estão apresentados na Tabela 44.

Pode-se verificar que no período de armazenamento, houve um decréscimo nos valores de umidade dos pães de forma causado pela perda de água dos pães para o ambiente.

Tabela 44. Valores de umidade dos pães de forma durante o período de armazenamento.

Ensaio	Dias			
	1	4	7	10
1	43,58 ^a	43,04 ^{ab}	41,81 ^{bc}	40,75 ^c
2	43,81 ^a	43,30 ^a	41,89 ^b	40,44 ^c
3	43,91 ^a	43,25 ^b	41,89 ^c	41,44 ^d
4	43,51 ^a	42,40 ^b	41,18 ^c	40,20 ^d
5	44,35 ^a	43,36 ^b	41,99 ^c	40,35 ^d
6	43,71 ^a	42,94 ^b	42,13 ^c	40,75 ^d
7	43,78 ^a	43,30 ^b	42,43 ^c	41,65 ^d
8	44,04 ^a	43,73 ^a	41,79 ^b	40,50 ^c
9	43,91 ^a	43,03 ^b	42,08 ^c	40,73 ^d
10	43,58 ^a	42,88 ^b	41,46 ^c	40,17 ^d
11	43,95 ^a	43,01 ^b	41,47 ^c	40,66 ^d
12	43,96 ^a	43,32 ^b	42,36 ^c	41,45 ^d
13	43,45 ^a	43,08 ^a	41,61 ^b	40,65 ^c
14	44,54 ^a	43,88 ^b	42,45 ^c	41,40 ^d
15	43,55 ^a	43,27 ^b	41,85 ^c	40,50 ^d
16	43,87 ^a	43,60 ^b	41,88 ^c	40,40 ^d
17	43,81 ^a	43,55 ^b	41,83 ^c	40,39 ^d
Padrão	44,08 ^a	43,45 ^b	42,08 ^c	40,81 ^d

* Médias seguidas pela mesma letra, na mesma linha, não diferem significativamente entre si ($p < 0,10$).

5.4.5. Avaliação instrumental de textura

Assim como o sabor, a textura é um importante indicador de qualidade de um alimento. A firmeza do miolo é uma das mais evidentes mudanças observadas durante o armazenamento de pão e influi grandemente no julgamento da aceitabilidade do produto. Estudos sobre a causa do envelhecimento de pães têm mostrado que alterações na estrutura do amido - gelatinização e retrogradação – contribuem para a mudança de textura de macia para firme (Bloksma and Bushuk, 1988). Portanto, a firmeza do miolo é o parâmetro mais utilizado para avaliar o envelhecimento do pão ao longo da vida de prateleira.

A Tabela 45 apresenta a influência da adição de xilanase, glicose oxidase e ácido ascórbico na força de compressão dos pães de forma durante o período de armazenamento de 1, 4, 7 e 10 dias. Também é apresentada a porcentagem de aumento da força de compressão no quarto, sétimo e décimo dias de armazenamento, em relação ao primeiro dia.

A análise de textura dos pães de forma mostrou ser um método válido para avaliações da influência de ingredientes, bem como o acompanhamento da vida de prateleira.

Tabela 45. Força de compressão dos pães de forma durante o estudo da vida de prateleira e porcentagem de aumento da firmeza em relação ao primeiro dia de armazenamento.

Ensaio	Xilanase	Glicose oxidase	Acido ascórbico	Dia 1		Dia 4		Dia 7		Dia 10	
				Força (g)	% aumento						
1	-1	-1	-1	307,42	440,04	43,14	558,03	81,52	707,47	130,13	
2	1	-1	-1	350,91	477,01	35,94	606,86	72,94	770,92	119,69	
3	-1	1	-1	386,65	522,07	35,02	605,73	56,66	730,34	88,89	
4	1	1	-1	456,38	601,20	31,73	711,13	55,82	835,51	83,07	
5	-1	-1	1	352,31	513,82	45,84	700,54	98,84	825,21	134,23	
6	1	-1	1	260,88	402,17	54,16	539,04	106,62	610,03	133,84	
7	-1	1	1	333,72	446,78	33,88	584,49	75,14	719,64	115,64	
8	1	1	1	260,10	421,04	61,88	550,67	111,71	719,17	176,50	
9	-1,68	0	0	368,87	599,18	62,44	704,26	90,92	858,44	132,72	
10	1,68	0	0	334,82	538,59	60,86	629,46	88,00	778,36	132,47	
11	0	-1,68	0	333,60	439,90	31,86	576,91	72,93	673,97	102,03	
12	0	1,68	0	322,40	468,53	45,33	595,38	84,67	674,28	109,14	
13	0	0	-1,68	341,10	491,38	44,06	623,97	82,93	745,76	118,63	
14	0	0	1,68	280,74	378,05	34,66	501,78	78,73	665,88	137,19	
15	0	0	0	354,39	477,74	34,80	598,42	68,86	722,53	103,88	
16	0	0	0	324,20	448,43	38,32	543,32	67,59	630,86	94,59	
17	0	0	0	325,19	472,31	45,24	627,20	92,87	646,10	98,68	
Padrão	-	-	80 ppm	324,32	457,75	41,14	605,44	86,68	711,04	119,24	

* o resultado obtido para a formulação padrão é a média de análises realizadas em triplicata.

A presença das combinações de xilanase, glicose oxidase e ácido ascórbico modificou a textura do miolo dos pães. Os pães apresentaram variação na maciez, entre as formulações, já no primeiro dia de armazenamento, verificada pela análise de textura.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 45, verificou-se um aumento da firmeza de todos os pães com o aumento do tempo de estocagem.

Pode-se verificar que os valores da força de compressão variaram entre 260,10g e 456,38g no 1º dia de armazenamento; 378,05g e 601,20g no 4º dia de armazenamento; 501,78g e 711,13g no 7º dia de armazenamento e 610,03g e 858,44g no 10º dia de armazenamento. Para o pão padrão, os valores médios para a força de compressão foram 324,32g, 457,75g, 605,01g e 711,04g, respectivamente.

As amostras dos ensaios 6 e 14 apresentaram-se mais macias e as amostras dos ensaios 4 e 9 apresentaram miolos mais firmes durante todo o período de armazenamento.

De acordo com Haros, Rosell, & Benedito (2002), o efeito positivo de xilanase na textura do pão é devido à redistribuição de água inicialmente absorvida pelas pentosanas insolúveis em água para os outros componentes, principalmente o glúten, proporcionando um aumento na extensibilidade.

Rouau, Hayek & Moreau (1994) e Krishnarau & Hosene (1994) relataram que a adição de hemicelulases durante a mistura reduziu a firmeza do miolo. Esses pesquisadores relataram que xilanases não modificam a taxa de firmeza do miolo, mas reduzem a firmeza inicial, provavelmente devido ao aumento do volume.

Jiang et al. (2005) acreditam que a enzima xilanase retarda o envelhecimento do pão por reduzir a firmeza inicial do miolo e a taxa de firmeza durante o armazenamento.

Segundo Gujral et al. (2003), ácido ascórbico reduz a extensibilidade e aumenta a elasticidade, proporcionando uma melhor forma e uma textura mais fina aos pães.

Através dos resultados de força de compressão apresentados na Tabela 45, verificou-se a possibilidade de modelos preditivos durante o armazenamento.

A Tabela 46 apresenta os coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e valores de p para os termos estatisticamente significativos para a força de compressão dos pães no primeiro dia de armazenamento ($p < 0,10$).

Tabela 46. Coeficientes de regressão para a resposta força de compressão dos pães no primeiro dia de armazenamento.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (13)	p-valor
Média	334,9227	6,141165	54,53732	0,000000
Ácido ascórbico (L)	-29,0041	6,854751	-4,23124	0,000981
XIL X Ác. Asc.	-34,7838	8,952210	-3,88549	0,001877
GOX X Ác. Asc.	-25,5088	8,952210	-2,84944	0,013672

Analisando-se os coeficientes de regressão, pode-se verificar que, na faixa em estudo, os termos que tiveram influência significativa ($p < 0,10$) na força de compressão dos pães no primeiro dia de armazenamento foram ácido ascórbico (L) e as interações xilanase X ácido ascórbico e glicose oxidase X ácido ascórbico. Todos esses termos contribuíram para a redução da firmeza do miolo dos pães no primeiro dia de armazenamento.

O coeficiente de correlação foi 75,98%, indicando um bom ajuste do modelo aos dados, o que garante a validade das predições efetuadas. A Anova está apresentada na Tabela 47 e o valor de F_{calc} (13,71) foi maior que F_{tab} (2,56), ao nível de 10% de significância.

Tabela 47. Anova para a resposta força de compressão dos pães no primeiro dia de armazenamento.

Fontes de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calc
Regressão	26363,35	3	8787,782184	13,71
Resíduos	8334,77	13	641,1365123	
Total	34698,12	16	2168,632576	

No quarto dia de armazenamento, observa-se que os termos que influenciaram significativamente na resposta força de compressão dos pães ($p < 0,10$) foram xilanase (L) e (Q), glicose oxidase (L), ácido ascórbico (L) e (Q) e as interações xilanase X glicose oxidase, xilanase X ácido ascórbico e glicose oxidase X ácido ascórbico (Tabela 48). Os termos xilanase (Q), glicose oxidase (L) e a interação xilanase X glicose oxidase tiveram efeito positivo na firmeza do miolo do pão.

Tabela 48. Coeficientes de regressão para a resposta força de compressão dos pães no quarto dia de armazenamento.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (8)	p-valor
Média	458,7663	7,868770	58,30216	0,000000
Xilanase (L)	-9,0201	4,922082	-1,83258	0,104224
Xilanase (Q)	36,1993	5,182321	6,98515	0,000114
Glicose oxidase (L)	15,1082	4,922082	3,06947	0,015360
Ácido ascórbico (L)	-32,7527	4,922082	-6,65424	0,000160
Ácido ascórbico (Q)	-11,3388	5,182321	-2,18798	0,060110
XIL X GOX	16,0088	6,428172	2,49040	0,037499
XIL X Ác. Asc.	-31,6863	6,428172	-4,92928	0,001150
GOX X Ác. Asc.	-31,7988	6,428172	-4,94678	0,001125

A Anova (Tabela 49) apresentou uma variação explicada de 95,65% para a força de compressão dos pães de forma no quarto dia de armazenamento. O valor de F_{calc} (21,98) foi maior que F_{tab} (2,59), ao nível de 10% de significância.

Tabela 49. Anova para a resposta força de compressão dos pães no quarto dia de armazenamento.

Fontes de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calc
Regressão	58134,67	8	7266,834356	21,98
Resíduos	2644,57	8	330,5711119	
Total	60779,24	16	3798,702734	

A Tabela 50 apresenta os coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e valores de p para a resposta força de compressão dos pães no sétimo dia de armazenamento.

Observa-se que os termos xilanase (Q), ácido ascórbico (L) e as interações xilanase X glicose oxidase, xilanase X ácido ascórbico e glicose oxidase X ácido ascórbico tiveram influência significativa na resposta estudada ($p < 0,10$), sendo que os termos xilanase (Q) e interação xilanase X glicose oxidase tiveram efeito positivo sobre essa resposta.

Tabela 50. Coeficientes de regressão para a resposta força de compressão dos pães no sétimo dia de armazenamento.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (11)	p-valor
Média	579,3714	10,16867	56,97614	0,000000
Xilanase (Q)	29,8922	8,57038	3,48785	0,005078
Ácido ascórbico (L)	-22,8866	8,35902	-2,73795	0,019302
XIL X GOX	23,0304	10,91676	2,10963	0,058614
XIL X Ác. Asc.	-43,6939	10,91676	-4,00246	0,002077
GOX X Ác. Asc.	-32,0496	10,91676	-2,93582	0,013549

A Anova mostrada na Tabela 51 apresentou uma variação explicada de 81,59% para a força de compressão dos pães de forma no sétimo dia de armazenamento. O valor de F_{calc} (9,75) foi maior que F_{tab} (2,45), ao nível de 10% de significância.

Tabela 51. Anova para a resposta força de compressão dos pães no sétimo dia de armazenamento.

Fontes de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calc
Regressão	46479,25	5	9295,84909	9,75
Resíduos	10487,46	11	953,40542	
Total	56966,71	16	3560,41907	

A Tabela 52 apresenta os coeficientes de regressão, erro padrão, valores de t e valores de p, para a resposta força de compressão dos pães no décimo dia de armazenamento.

Observa-se que os termos que influenciaram significativamente ($p < 0,10$) foram xilanase (Q), ácido ascórbico (L) e as interações xilanase X glicose oxidase, e xilanase X ácido ascórbico, sendo que os termos xilanase (Q), e a interação xilanase X glicose oxidase tiveram efeito positivo na firmeza do miolo do pão.

Tabela 52. Coeficientes de regressão para a resposta força de compressão dos pães no décimo dia de armazenamento.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (12)	p-valor
Média	684,0857	12,16827	56,21881	0,000000
Xilanase (Q)	50,3006	10,25569	4,90465	0,000363
Ácido ascórbico (L)	-22,3081	10,00276	-2,23019	0,045595
XIL X GOX	32,0536	13,06347	2,45368	0,030388
XIL X Ác. Asc.	-48,0339	13,06347	-3,67696	0,003166

A Anova para o modelo (Tabela 53) apresentou uma variação explicada de 80,19% e o valor de F_{calc} (12,14) foi maior que F_{tab} (2,48), ao nível de 10% de significância.

Tabela 53. Anova para a resposta força de compressão dos pães no décimo dia de armazenamento.

Fontes de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calc
Regressão	66309,42	4	16577,35383	12,14
Resíduos	16382,81	12	1365,234545	
Total	82692,23	16	5168,264368	

Pela análise estatística dos dados, verificou-se que xilanase e ácido ascórbico foram as variáveis que apresentaram os efeitos significativos ($p < 0,10$) mais importantes sobre a resposta avaliada, ao longo da vida de prateleira.

Devido aos resultados satisfatórios das análises de variância para a resposta força de compressão dos pães nos dias 1, 4, 7 e 10 após o processamento, obtiveram-se os modelos codificados mostrados na Tabela 54.

Tabela 54. Modelos preditivos para força de compressão dos pães de forma.

Modelos
$\text{Textura}_{\text{dia } 1} = 334,9227 - 29,0041 * x_3 - 34,7838 * x_1 * x_3 - 25,5088 * x_2 * x_3$
$\begin{aligned} \text{Textura}_{\text{dia } 4} = & 458,7663 + 36,1993 * (x_1)^2 + 15,1082 * x_2 - 32,7527 * x_3 - \\ & 11,3388 * (x_3)^2 + 16,0088 * x_1 * x_2 - 31,6863 * x_1 * x_3 - 31,7988 * x_2 * x_3 \end{aligned}$
$\begin{aligned} \text{Textura}_{\text{dia } 7} = & 579,3714 + 29,8922 * (x_1)^2 - 22,8866 * x_3 + 23,0304 * x_1 * x_2 - \\ & 43,6939 * x_1 * x_3 - 32,0496 * x_2 * x_3 \end{aligned}$
$\begin{aligned} \text{Textura}_{\text{dia } 10} = & 684,0857 + 50,3006 * (x_1)^2 - 22,3081 * x_3 + 32,0536 * x_1 * x_2 - \\ & 48,0339 * x_1 * x_3 \end{aligned}$

Os modelos ajustados apresentaram uma boa reprodutibilidade dos valores experimentais, o que pode ser confirmado nas Tabelas 90 a 93 do Anexo IV, pois os desvios relativos foram baixos.

Desta forma, foi possível construir as superfícies de resposta e as curvas de contorno (Figuras 17 a 20).

Dentro da faixa estudada, a firmeza do miolo dos pães no primeiro dia de armazenamento foi menor quando a enzima xilanase foi adicionada em níveis superiores a 92,38EDX/Kg e glicose oxidase, acima de 125,52SRU/Kg. Observou-se também que os pães contendo quantidades superiores a 70 ppm de ácido ascórbico apresentaram-se mais macios.

Observando as superfícies de resposta e as curvas de contorno para força de compressão dos pães no quarto dia de armazenamento, percebe-se que

menores valores de firmeza do miolo dos pães foram encontrados quando concentrações altas de ácido ascórbico (superiores a 70 ppm) foram adicionadas à formulação. Em relação às enzimas xilanase e glicose oxidase, a faixa ótima utilizada para a obtenção de menores valores de firmeza foram 63,18EDX/Kg a 92,38EDX/kg e superiores a 125,52SRU/kg, respectivamente.

Através da análise das superfícies de resposta e curvas de contorno geradas pelo modelo para a força de compressão no sétimo dia de armazenamento, verifica-se que, na faixa em estudo, quanto maior a adição de glicose oxidase e ácido ascórbico, menores são os valores de força de compressão dos miolos dos pães de forma. Observa-se também que valores entre 63,18EDX/kg e 112,32EDX/kg de xilanase resultaram em pães mais macios.

Observando as superfícies de resposta e as curvas de contorno, constata-se que, dentro da faixa estudada, a firmeza do miolo dos pães no décimo dia de armazenamento foi menor quando a enzima xilanase foi adicionada em níveis na faixa de 63,18EDX/kg a 112,32EDX/kg e, ácido ascórbico, acima de 63,81 ppm. A glicose oxidase não interferiu na firmeza dos pães de forma no décimo dia de armazenamento.

Pode-se observar que os termos que tiveram maior influência na força de compressão do miolo dos pães de forma foram xilanase e ácido ascórbico. A variável ácido ascórbico contribuiu para a redução da firmeza do miolo dos pães durante todo o período de armazenamento e a variável xilanase apresentou comportamento variável, pois o termo linear contribuiu para a redução e o termo quadrático aumentou a firmeza dos pães.

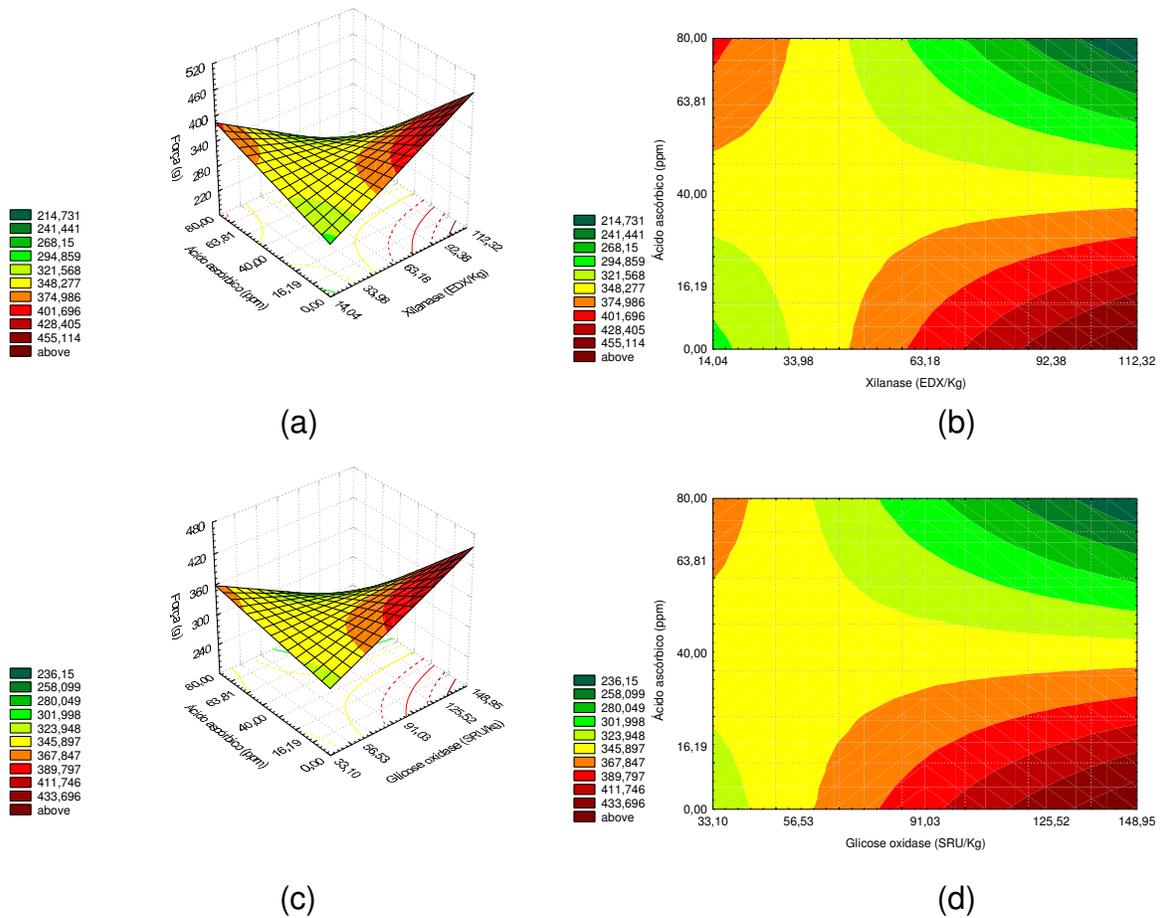


Figura 17: Superfícies de resposta e curvas de contorno para a força de compressão do pão no primeiro dia de armazenamento em função: (a) e (b) da xilanase e do ácido ascórbico, (c) e (d) da glicose oxidase e do ácido ascórbico, estando a 3ª variável fixada no nível 0.

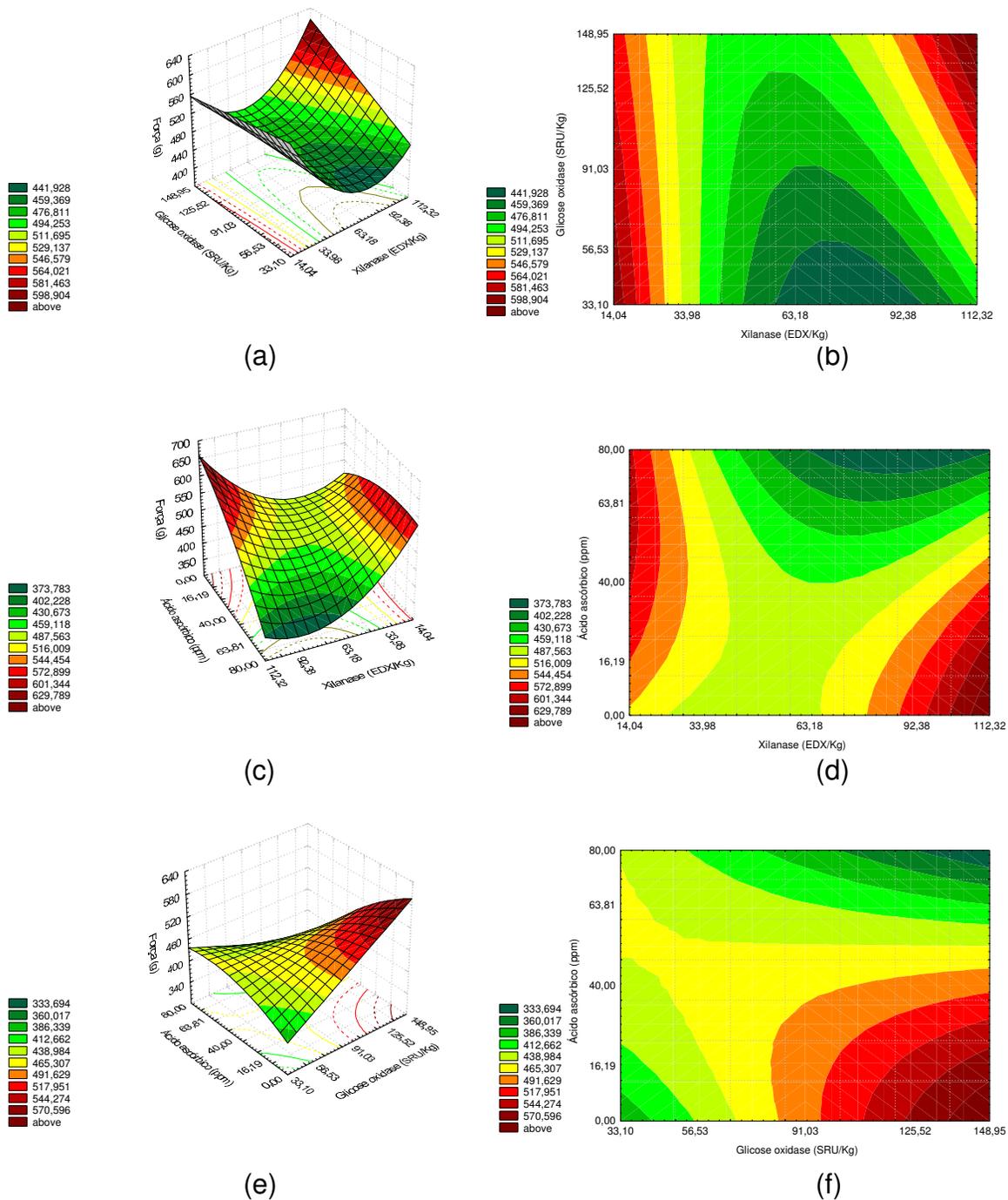


Figura 18: Superfícies de resposta e curvas de contorno para a força de compressão do pão no quarto dia de armazenamento em função: (a) e (b) da

xilanase e da glicose oxidase, (c) e (d) da xilanase e do ácido ascórbico, (e) e (f) da glicose oxidase e do ácido ascórbico, estando a 3ª variável fixada no nível 0.

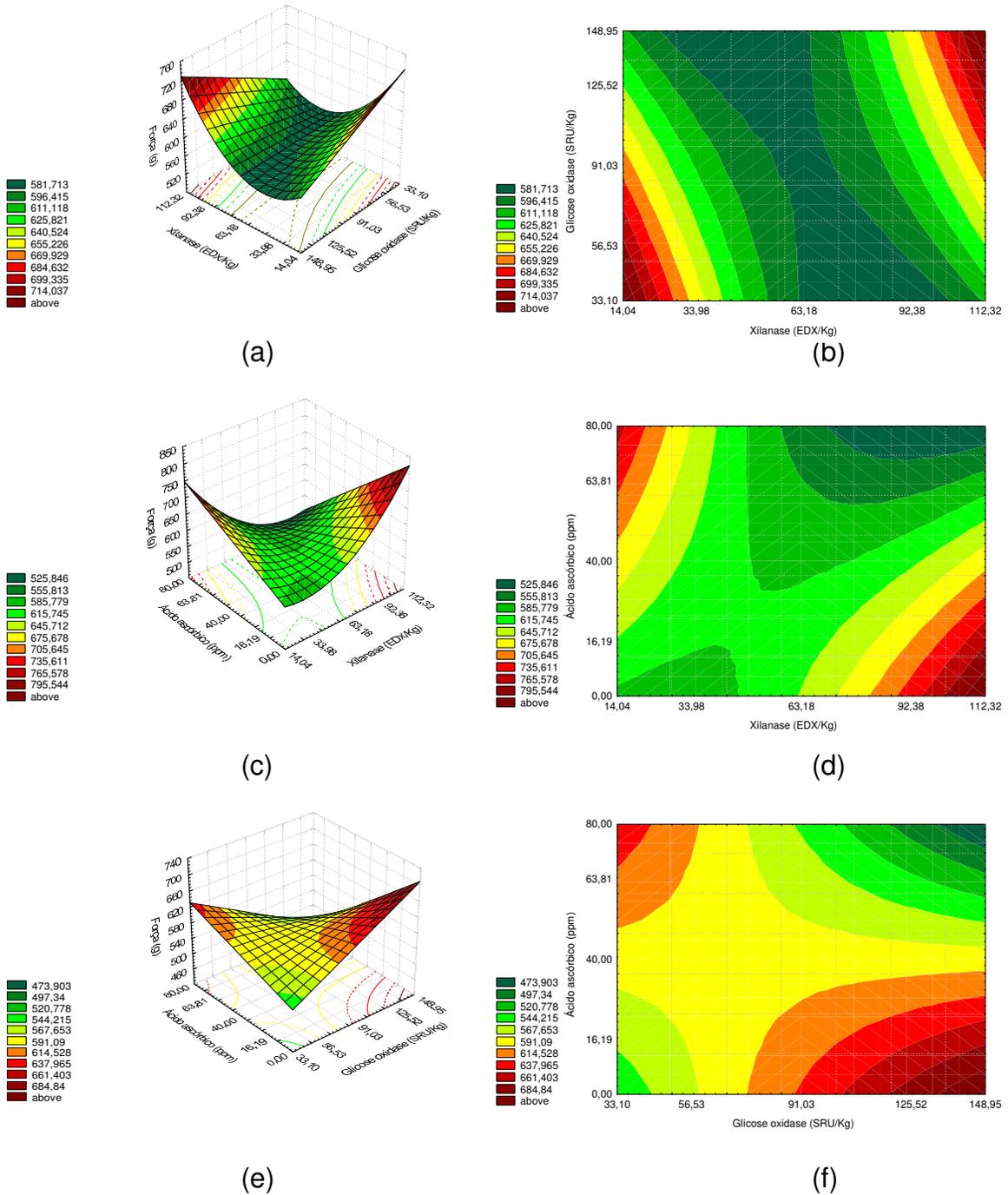


Figura 19: Superfícies de resposta e curvas de contorno para a força de compressão do pão no sétimo dia de armazenamento em função: (a) e (b) da

xilanase e da glicose oxidase, (c) e (d) da xilanase e do ácido ascórbico, (e) e (f) da glicose oxidase e do ácido ascórbico, estando a 3ª variável fixada no nível 0.

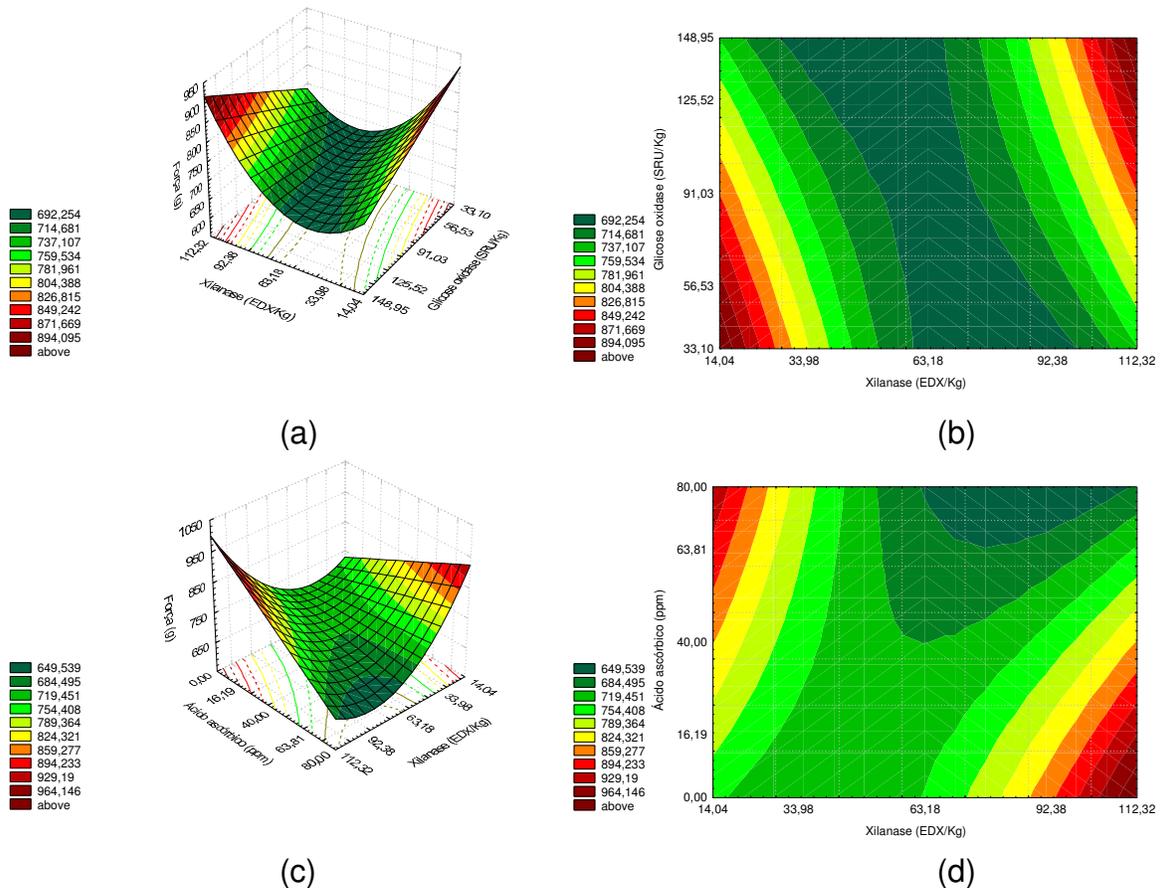


Figura 20: Superfícies de resposta e curvas de contorno para a força de compressão do pão no décimo dia de armazenamento em função: (a) e (b) da xilanase e da glicose oxidase, (c) e (d) da xilanase e do ácido ascórbico, estando a 3ª variável fixada no nível 0.

Haros, Rosell & Benedito (2002) observaram que a adição de xilanase em pão de forma, comparado com o controle, reduz a firmeza das amostras em até 29% durante seis dias de armazenamento, melhora a coesividade e não altera a resistência à extensão das amostras durante o armazenamento.

Indrani et al. (2003), relataram que a adição de xilanase e glicose oxidase à

formulação levou a uma redução da firmeza do miolo dos pães. Segundo Jiang et al. (2005), a redução na firmeza do miolo pode ser explicada tanto pelo aumento no volume do pão quanto pela melhoria nas características do miolo.

Na Tabela 55 são apresentados os resultados do teste de comparação de médias através do Teste de Tukey para força de compressão dos pães de forma em função do período de armazenamento.

Durante os dias de armazenamento, observou-se uma tendência de aumento de firmeza dos pães de forma.

Tabela 55. Teste de comparação de médias para força de compressão do miolo dos pães de forma em função do período de armazenamento.

Ensaio	Dias			
	1	4	7	10
1	307,42 ^d	440,04 ^c	558,03 ^b	707,47 ^a
2	350,91 ^d	477,01 ^c	606,86 ^b	770,92 ^a
3	386,65 ^d	522,07 ^c	605,73 ^b	730,34 ^a
4	456,38 ^d	601,20 ^c	711,13 ^b	835,51 ^a
5	352,31 ^d	513,82 ^c	700,54 ^b	825,21 ^a
6	260,88 ^d	402,17 ^c	539,04 ^b	610,03 ^a
7	333,72 ^d	446,78 ^c	584,49 ^b	719,64 ^a
8	260,10 ^d	421,04 ^c	550,67 ^b	719,17 ^a
9	368,87 ^d	599,18 ^c	704,26 ^b	858,44 ^a
10	334,82 ^d	538,59 ^c	629,46 ^b	778,36 ^a
11	333,60 ^d	439,90 ^c	576,91 ^b	673,97 ^a
12	322,40 ^d	468,53 ^c	595,38 ^b	675,61 ^a
13	341,10 ^d	491,38 ^c	623,97 ^b	745,76 ^a
14	280,74 ^d	378,05 ^c	501,78 ^b	665,88 ^a
15	354,39 ^d	477,74 ^c	598,42 ^b	722,53 ^a
16	324,20 ^d	448,43 ^c	543,32 ^b	630,86 ^a
17	325,19 ^c	472,31 ^b	627,20 ^a	646,10 ^a
Padrão	324,32 ^d	457,75 ^c	605,43 ^b	711,04 ^a

* Médias seguidas pela mesma letra, na mesma linha, não diferem significativamente entre si ($p < 0,10$).

A Figura 21 mostra o gráfico da força de compressão dos pães em relação ao tempo de armazenamento. Os resultados estão de acordo com a literatura, indicando que, devido às transformações ocorridas entre os ingredientes e, principalmente, à retrogradação do amido, ocorreu um aumento da firmeza do miolo do pão com o passar dos dias (Esteller, 2004).

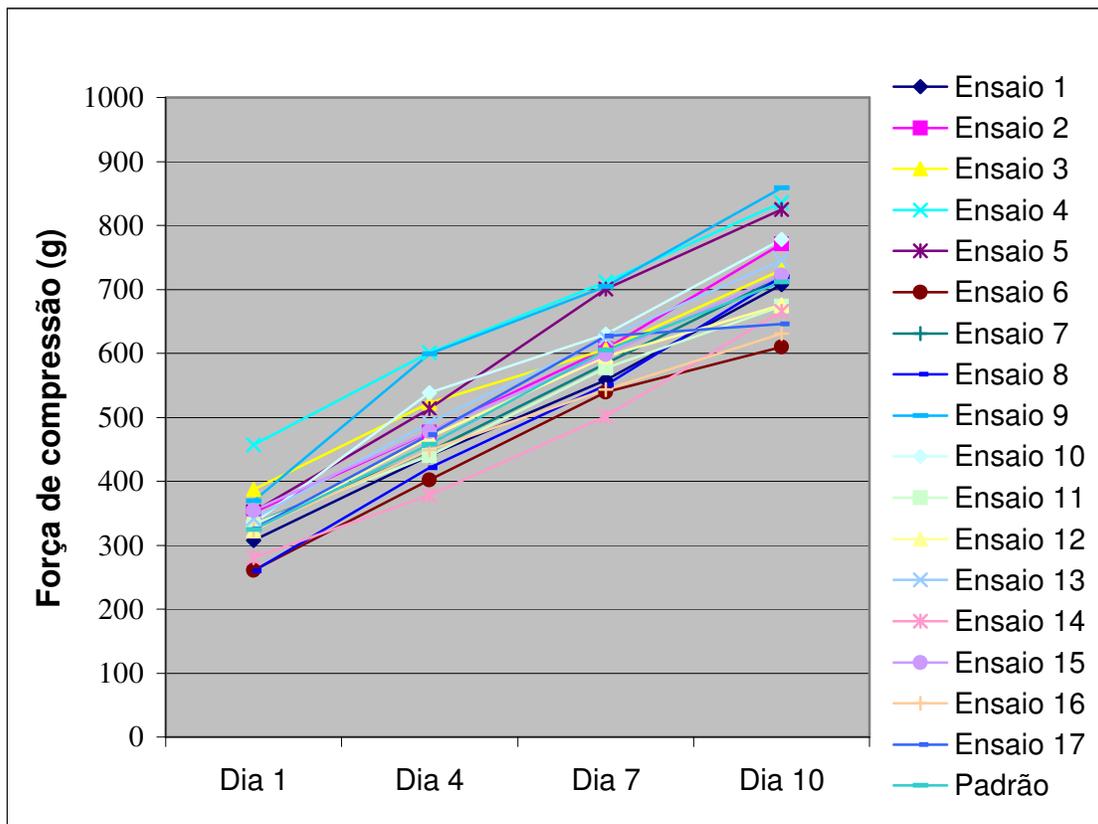


Figura 21: Força de compressão dos pães de forma durante o armazenamento.

5.4.6. Análise sensorial

5.4.6.1. Teste de aceitação

As quantidades de enzimas e ácido ascórbico utilizadas para a produção dos pães para a análise sensorial estão apresentadas na Tabela 56. As amostras 2 e 3 foram escolhidas dentro da faixa ótima encontrada.

A aceitação média dos pães de forma com relação aos atributos aparência, cor, aroma, textura e sabor encontra-se na Tabela 57.

Tabela 56. Quantidades de xilanase, glicose oxidase e ácido ascórbico.

	Xilanase (EDX/kg)	Glicose oxidase (SRU/kg)	Ácido ascórbico (ppm)
Amostra 1	-	-	80
Amostra 2	92,38	148,95	80
Amostra 3	92,38	137,37	70

Os pães de forma selecionados para a avaliação sensorial estão ilustrados na Figura 22.

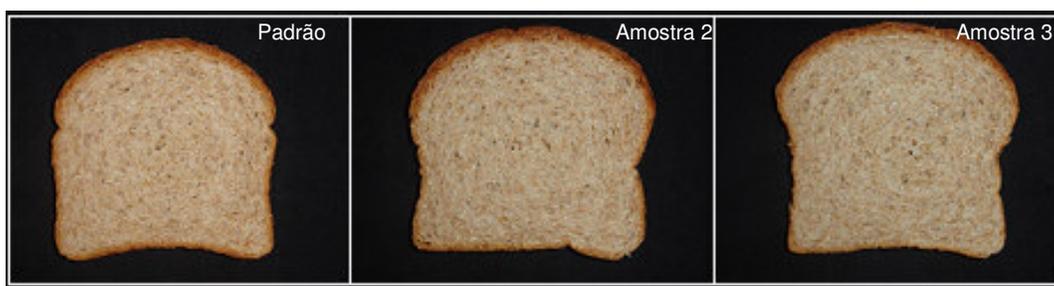


Figura 22. Pães de forma utilizados na análise sensorial.

Pode-se verificar que todas as formulações obtiveram médias localizadas entre os termos “gostei moderadamente” e “gostei muito”, localizando-se entre os pontos hedônicos 7 e 8.

Os resultados da avaliação sensorial mostraram que não houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre as amostras avaliadas em todos os parâmetros analisados.

Tabela 57. Escores do teste de aceitação das amostras de pão de forma.

	Aparência	Cor	Aroma	Textura	Sabor
Amostra 1	$7,9 \pm 1,1^a$	$8,0 \pm 1,1^a$	$7,4 \pm 1,5^a$	$7,4 \pm 1,2^a$	$7,4 \pm 1,5^a$
Amostra 2	$8,0 \pm 0,8^a$	$7,9 \pm 1,0^a$	$7,4 \pm 1,2^a$	$7,6 \pm 1,2^a$	$7,6 \pm 1,2^a$
Amostra 3	$7,8 \pm 1,0^a$	$7,8 \pm 1,0^a$	$7,2 \pm 1,2^a$	$7,4 \pm 1,5^a$	$7,4 \pm 1,5^a$

* Para cada atributo avaliado separadamente, médias seguidas de letras iguais não diferem significativamente entre si ($p < 0,05$).

5.4.6.2. Intenção de compra

A Figura 23 apresenta a intenção de compra dos provadores.

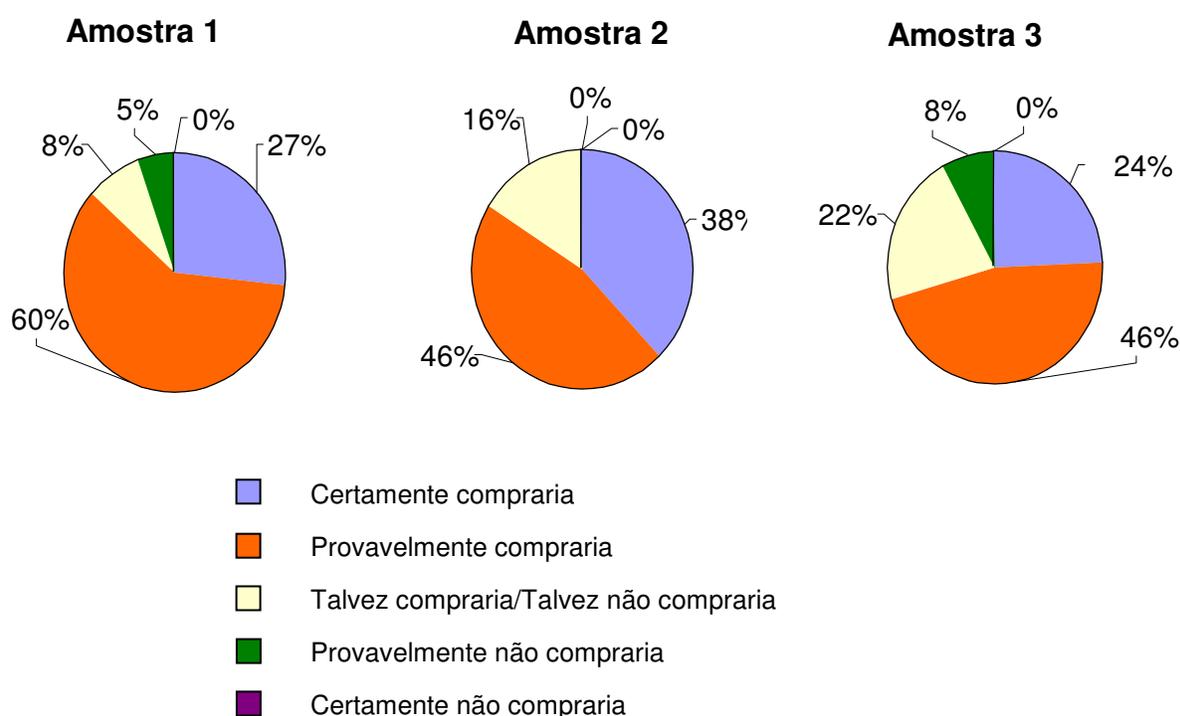


Figura 23: Resultados da intenção de compra das amostras de pão de forma.

Pode-se verificar que, em geral, os consumidores apresentaram uma grande intenção de compra para os pães de forma. Para as três amostras, a maioria indicou que provavelmente as compraria.

Dentre as três amostras avaliadas, a amostra 2 foi a que apresentou o maior índice de “certamente compraria”, compreendendo 38% dos provadores,

contra 27% da amostra 1 e 24% da amostra 3. Nenhuma amostra apresentou votação para a opção “certamente não compraria” e a amostra 2 também não apresentou votação para a opção “provavelmente não compraria”.

5.4.7. Teor de fibra alimentar

O teor de fibras encontrado na formulação do pão padrão foi 7,64%, correspondendo a 7,48% de fibra insolúvel e 0,16% de fibra solúvel.

Portanto, os pães produzidos podem ser classificadas como fontes de fibras, segundo a Portaria nº 27 de 13/01/98 (Brasil, 2007), que estabelece que para um alimento ser classificado como fonte de fibras, ele deve possuir uma quantidade mínima de três gramas de fibras em cem gramas do alimento.

6. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho permitiram concluir que a adição de xilanase, glicose oxidase e ácido ascórbico à farinha de trigo de grão inteiro interferiu nos parâmetros farinográficos. As várias combinações destas três variáveis causaram uma redução da absorção de água e da estabilidade e um aumento do índice de tolerância à mistura, quando comparadas à farinha de trigo de grão inteiro pura.

Com relação aos parâmetros extensográficos, verificou-se que a adição das enzimas e do ácido ascórbico na farinha de trigo de grão inteiro contribuiu para um aumento da resistência à extensão, resistência máxima à extensão e número proporcional, reduzindo apenas a extensibilidade da massa. Essas alterações se devem ao fortalecimento da rede de glúten.

Quanto ao volume específico dos pães de forma com farinha de trigo de grão inteiro, houve diferença significativa entre o pão padrão e apenas dois ensaios do planejamento experimental (Ensaio 2: xilanase: 92,38EDX/Kg, glicose oxidase: 56,53SRU/Kg e ácido ascórbico: 16,19ppm e Ensaio 12: xilanase: 63,18EDX/Kg, glicose oxidase: 148,95SRU/Kg e ácido ascórbico: 40ppm), sendo os volumes específicos destes ensaios (5,10mL/g e 5,09mL/g, respectivamente) superiores ao encontrado para os pães da formulação padrão (4,67mL/g).

Verificou-se que a adição das enzimas xilanase, glicose oxidase e do ácido ascórbico à formulação dos pães apresentou pequena influência nos parâmetros da cor do miolo. Para o parâmetro L^* da cor do miolo dos pães, os valores encontrados situaram-se entre 58,53 e 61,15, portanto, próximos ao centro da escala de 0 (preto) a 100 (branco), apresentando uma tendência à coloração clara. A saturação do miolo (C^*) apresentada pelos pães de forma foi entre 18,07 e 19,5. Os resultados obtidos para o parâmetro h situaram-se na faixa entre 73,53 e 74,68, mostrando uma tendência à coloração amarela, relacionada com a presença de pigmentos amarelos presentes no gérmen do trigo e nas camadas externas do grão, influenciando na coloração do miolo dos pães.

Para o parâmetro atividade de água dos pães de forma durante o período de armazenamento, verificou-se que apenas a adição de ácido ascórbico apresentou efeito significativo, contribuindo para o aumento desta resposta. Os valores encontrados para atividade de água dos pães de forma durante a vida de prateleira variaram entre 0,960 e 0,971.

Em relação à umidade dos pães, verificou-se que maiores valores dessa resposta foram encontrados nos pães onde menores níveis de xilanase e maiores quantidades de glicose oxidase e ácido ascórbico foram adicionados. O teor de umidade foi reduzido ao longo do período de armazenamento, tanto para o pão padrão, quanto para os pães dos ensaios, causado pela perda de água dos pães para o ambiente.

Verificou-se que a textura dos pães de forma foi afetada pela adição das enzimas e do ácido ascórbico, ao longo da vida de prateleira. Menores valores de firmeza dos miolos dos pães de forma foram obtidos quando formulações com maiores concentrações de ácido ascórbico e glicose oxidase e níveis intermediários de xilanase foram utilizadas. Para a enzima xilanase, a faixa ótima encontra-se entre 92,38 e 101,09EDX/Kg e para a enzima glicose oxidase, os melhores resultados de textura ocorreram quando níveis superiores a 132,40SRU/Kg foram utilizados. Para o ácido ascórbico, quantidades acima de 70ppm resultaram em menores valores de firmeza. Os resultados obtidos permitiram concluir que a adição de algumas combinações de xilanase, glicose oxidase e ácido ascórbico melhoraram a textura dos pães, tornando-os mais macios, diminuindo a força de compressão.

Os modelos ajustados apresentaram uma boa reprodutibilidade dos valores experimentais, o que pode ser confirmado pelas tabelas que permitem a visualização das respostas experimentais, preditas e dos desvios ocorridos.

A análise sensorial mostrou que pães produzidos com farinha de trigo de grão inteiro apresentaram uma boa aceitação entre os consumidores, tanto para os pães-padrão quanto para as duas formulações selecionadas do planejamento experimental com utilização de xilanase, glicose oxidase e ácido ascórbico, não

havendo diferença significativa ($p < 0,05$) entre as amostras avaliadas para os atributos aparência, cor, aroma, textura e sabor. Portanto, a utilização das enzimas e do ácido ascórbico seria adequada, pois além de fornecer benefícios, não interfere nas características sensoriais do produto final, como observado no teste de aceitação.

Pode-se verificar que, em geral, os consumidores apresentaram uma grande intenção de compra para os pães de forma. Mais de 70% dos provadores certamente ou provavelmente comprariam as três amostras avaliadas. Dentre as três amostras avaliadas sensorialmente, a amostra 2 foi a que apresentou o maior índice de “certamente compraria”, compreendendo 38% dos provadores, contra 27% da amostra 1 e 24% da amostra 3.

O trabalho mostrou que é possível obter pães de forma de boa qualidade e alto valor agregado, sendo considerado alimento funcional, a partir de farinha de trigo de grão inteiro, com adição de xilanase, glicose oxidase e ácido ascórbico. Estes produtos, além de atenderem às qualidades tecnológicas e sensoriais para serem considerados produtos de boa qualidade, ainda atendem à legislação brasileira para fins de rotulagem nutricional sendo considerado fonte de fibras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIP. **Associação Brasileira da Indústria de Panificação e Confeitaria**. Disponível em: <<http://www.abip.org.br/>>. Acesso em out. 2006.

Adams, J.F.; Engstrom, A. Dietary intake of whole grain vs. recommendations. **Cereal Foods World**, v. 45, n. 2, p. 75-78, 2000.

Al-Hooti, S.N.; Sidhu, J.S.; Al-Saqer, J.M.; Al-Othman A. Effect of raw wheat germ addition on the physical texture and objective color of a designer food (pan bread). **Nahrung/Food**, v. 46, n. 2, p. 68-72, 2002.

Almeida, E.L.. **Efeito da adição de fibra alimentar sobre a qualidade de pão pré-assado congelado**. 2006. Dissertação (Mestre em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo.

American Association of Cereal Chemists. **Approved Methods of American Association of Cereal Chemists**, 9ed. St Paul, v.1 e 2, 1995.

Anderson, J.W. & Hanna, T.J. Whole grains and protection against coronary heart disease: what are the active components and mechanisms? **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 70, p. 307-308, 1999.

Association of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 16 ed, Washington, 1997.

Autio, K. Effects of cell wall components on the functionality of wheat gluten. **Biotechnology Advances**, v. 24, p. 633-635, 2006.

Barbosa, M.C.A. **Avaliação tecnológica de massas alimentícias de farinha mista de trigo e soja sem lipoxigenases**. 2002. 100 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais.

Beuchat, L.R. Microbial stability as affected by water activity. **Cereal Foods World**, v. 26, n. 7, p 345-349, 1981.

Bloksma, A.H. & Bushuk, W. **Rheology and chemistry of dough**. Y. Pomeranz, ed. *Wheat: chemistry and technology*, v. 2, 180p. St Paul, MN, USA, AACC, 1988.

Bonet, A.; Rosell, C.M.; Caballero, P.A.; Gómez, M.; Pérez-Munuera, I.; Lluch, M.A. Glucose oxidase effect on dough rheology and bread quality: A study from macroscopic to molecular level. **Food Chemistry**, v. 99, p 408-415, 2006.

Brasil. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Instrução Normativa nº 8, de 02/06/2005. **Aprovar o regulamento técnico de identidade e qualidade da farinha de trigo**. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br>>. Acesso em set. 2006.

Brasil. Ministério da Saúde. Portaria nº 27, de 13/01/1998. **Aprova o Regulamento Técnico referente à Informação Nutricional Complementar (declarações relacionadas ao conteúdo de nutrientes)**. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br>>. Acesso em jan. 2007.

Brasil. Ministério da Saúde. Resolução RDC nº 263, de 22/09/2005. **Aprovar o Regulamento Técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos**. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br>>. Acesso em dez. 2005.

Brasil. Ministério da Saúde. Resolução RDC nº 18, de 30/04/1999. **Aprovar o Regulamento Técnico que estabelece as diretrizes básicas para análise e comprovação de propriedades funcionais e ou de saúde alegadas em rotulagem de alimentos.** Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br>>. Acesso em set. 2006.

Brasil. Ministério da Saúde. Resolução RDC nº 19, de 30/04/1999. **Aprova o Regulamento Técnico de procedimentos para registro de alimento com alegação de propriedades funcionais e ou de saúde em sua rotulagem.** Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br>>. Acesso em set. 2006.

Brasil. Ministério da Saúde. Resolução RDC nº 205, de 14/11/2006. **Aprova o Regulamento técnico sobre enzimas e preparações enzimáticas para uso na produção de alimentos destinados ao consumo humano.** Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br>>. Acesso em dez. 2006.

Buri, R.C.; von Reding, W; Gavin, M.H. Description and characterization of wheat aleurone. **Cereal Foods World**, v. 49, n. 5, p 274-281, 2004.

Cândido, L. M. B. Soja e os Alimentos Funcionais. In: Encontro Franco Brasileiro de Biotecnologia e Biotecnologia – alimentos funcionais e nutracêuticos, 2002, Brasília. **Resumos das Palestras**. Brasília: Embrapa, 2002.

Carneiro, L.M.T.A.; Biagi, J.D.; Freitas, J.G. Carneiro, M.C., Felício, J.C. Diferentes épocas de colheita, secagem e armazenamento na qualidade de grãos de trigo comum e duro. **Bragantia**, Campinas, v.64, n.1, p.127-137, 2005.

Castro, I.A. Curso: Desenvolvimento de Alimentos Funcionais, VII Encontro Regional Sul de Ciência e Tecnologia de Alimentos - Universidade Federal do Paraná. Curitiba/PR. 2001.

Cecchi, H. M. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**. 2a Edição. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2003. 207p.

Ciacco, C.F. & Chang, Y.K. **Massas: tecnologia e qualidade**. São Paulo: Ícone/ Campinas: Editora da Unicamp. 1986. 127p.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/1safragraos2006_07.pdf>. Acesso em out. 2006.

Courtin, C.M. & Delcour, J.A. Relative activity of endoxylanases towards water-extractable and water-unextractable arabinoxylan. **Journal of Cereal Science**, v.33, p301-312, 2001.

Courtin, C.M.; Gelders, G. G.; Delcour, J.A. Use of two endoxylanases with different substrate selectivity for understanding arabinoxylan functionality in wheat flour breadmaking. **Journal of Cereal Chemistry**, v.78, p564-571, 2001.

Decker, E.; Beecher, G.; Slavin, J.; Miller, H.E.; Marquart, L. Whole grains as a source of antioxidants. **Cereal Foods World**, v. 47, n. 8, p 370-373, 2002.

Dunnewind, B.; Van Vliet, T.; Orsel, R. Effect of oxidative enzymes on bulk rheological properties of wheat flour doughs. **Journal of Cereal Science**, v. 36, p 357-366, 2002.

El Dash, A.A.; Camargo C.O. & Diaz N **Fundamentos da Tecnologia de Panificação**. São Paulo: Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia, 1982. 349p.

Embrapa. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: http://www.cnpt.embrapa.br/noticias/2006/clippagem/clipp_09_3.pdf. Acesso em: nov. 2006.

Embrapa. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/culturas/trigo/index.htm>. Acesso em: jan. 2006.

Esteller, M.S. **Fabricação de pães com reduzido teor calórico e modificações reológicas ocorridas durante o armazenamento**. 2004. Dissertação (Mestre em Ciências Farmacêuticas) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Esteller, M.S. & Lannes, S.C.S. Parâmetros complementares para fixação de identidade e qualidade de produtos panificados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, 25(4): 802-806, 2005.

Figueroa-Espinoza, M.C. & Rouau, X. Oxidative cross-linking of pentosans by a fungal laccase and horseradish peroxidase: mechanism of linkage between feruloylated arabinoxylans. **Cereal Chemistry**, v. 75, n. 2, p 259-265, 1998.

Food and Drug Administration. Disponível em: <http://www.fda.gov/oc/speeches/2005/wholegrains0520.html>. Acesso em: nov. 2006.

Goesaert, H.; Brijs, K.; Veraverbeke, W.S.; Courtin, C.M.; Gebruers, K.; Delcour, J.A. 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.

Granotec do Brasil. Disponível em: http://www.granotec.com.br/granonews_numeros_anteriores_66.asp. Acesso em: nov. 2006.

Gujral, H.S.; Gaur, S.; Rosell, C. M. Note: Effect of Barley Flour, Wet Gluten and Ascorbic Acid on Bread Crumb Texture. **Food Science and Technology International**, v. 9, n. 17, 2003.

Haros M., Rosell C.M., & Benedito C. Effect of different carbohydrases on fresh bread texture and bread staling. **European Food Research Technology**, p 425-430, 2002. a

Haros M., Rosell C.M., & Benedito C. Improvement of flour quality through carbohydrases treatment during wheat tempering. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, p 4126-4130, 2002. b

Hilhorst, R.; Dunnewind, B.; Orsel, R.; Stegeman, P.; Van Vliet, T.; Gruppen, H. & Schols, H.A. Baking performance, rheology, and chemical composition of wheat dough and gluten affected by xylanase and oxidative enzymes. **Journal of Food Science**, v. 64, n. 5, p 808-813, 1999.

Hilhorst, R.; Gruppen, H.; Orsel, R.; Laane, C., Schols, H.A. & Voragen, A.G.J. Effects of xylanase and peroxidase on soluble and insoluble arabinoxylans in wheat bread dough. **Journal of Food Science**, v. 67, n. 2, p 497-506, 2002.

Hille, J.D.R. & Schooneveld-Bergmans, M.E.F. Hemicellulases and their synergism in breadmaking. **Cereal Foods World**, v. 49, n. 5. 2004.

Hoseney, R.C. **Principles of Cereal - Science and Technology**. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA, 1994.

Indrani, D.; Prabhasankar, P.; Rajiv, J. & Venkateswara, G. R. Scanning electron microscopy, rheological characteristics, and bread-baking performance of wheat-flour dough as affected by enzymes. **Journal of Food Science**, v. 68, n.9, 2003.

Internation Life Sciences Institute. Disponível em: http://brasil.ilsa.org/events/Seminar_Functional_Foods.htm. Acesso em dez. 2006.

Instituto Adolfo Lutz. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz: Métodos Químicos e Físicos para Alimentos e Bebidas**, v.1, pg 36, 1976.

Jensen, M.K.; Koh-Banerjee, P.; Hu, F.B.; Franz, M.; Sampson, L.; Grønbaek, M; Rimm, E.B. Intakes of whole grains, bran, and germ and the risk of coronary heart disease in men. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 80, n.6, p 1492-1499, 2004.

Jiang, Z.; Li, X.; Yang, S.; Li, L.; Tan, S. Improvement of the breadmaking quality of wheat flour by the hyperthermophilic xylanase B from *Thermotoga maritima*. **Food Research International**, v. 38, p 37-43, 2005.

Kent, N.L. **Technology of cereals: a introduction for students of food science and agriculture**. 3^a ed. Oxford: Pergamon Press Ltd., 1983. 221p.

Krishnarau, L. & Hosney, R.C. Enzymes increase loaf volume of bread supplemented with starch tailings and insoluble pentosans. **Journal of Food Science**, v. 59, n. 6, p 1251-1254, 1994.

Laurikainen, T.; Härkönen, H.; Autio, K.; Poutanen, K. Effects of enzymes in fiber-enriched baking. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. v.76, p 239-249, 1998.

Marquart, L.; Slavin, J.L. & Fulcher, R.G. **Whole-grain foods in health and disease**. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA, 2002.

Martínez-Anaya, M.A. & Jiménez, T. Functionality of enzymes that hydrolyse starch and non-starch polysaccharide in breadmaking. **Z Lebensm Unters Forsch A.**, v. 205, p209 – 214, 1997.

Martínez-Anaya, M.A. & Jiménez, T. Physical properties of enzyme-supplemented doughs and relationship with bread quality parameters. **Z Lebensm Unters Forsch A**, v. 206, p 134-142, 1998.

Matuda, T.G. **Análise térmica da massa de pão francês durante os processos de congelamento e descongelamento: otimização do uso de aditivos**. 2004. Dissertação (Mestre em Engenharia) - Escola Politécnica - Universidade de São Paulo, São Paulo.

Miller, H.E.; Rigelhof, F.; Marquart, L.; Prakash, A.; Kanter, M. Whole-grain products and antioxidants. **Cereal Foods World**, v. 45, n. 2, p 59-63, 2000.

Monfort, A; Blasco, A.; Prieto, J.A. & Sanz, P. Construction os baker's yeast strains that secrete different xylanolytic enzymes and their use in bread making. **Journal of Cereal Science**, v.26, p 195-199, 1997.

Ordaz-Ortiz, J.J. & Saulnier, L. Structural variability of arabinoxylans from wheat flour. Comparison of water-extractable and xylanase-extractable arabinoxylans. **Journal of Cereal Science**, v. 42, p 119-125, 2005.

Pizzinatto, A. **Qualidade da farinha de trigo: conceito, fatores determinantes e parâmetros de avaliação e controle**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 72p., 1999

Pomeranz, Y. **Wheat: chemistry and technology**. 3 ed. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, v. 1, 514p. e v. 2, 562p. 1988.

Poutanen, K. Enzymes: an important tool in the improvement of the quality of cereal foods. **Trends in Food Science & Technology**, v. 8, p 300-306, 1997.

Primo-Martín, C. & Martínez-Anaya, M.A. Influence of pentosanase and oxidases on water-extractable pentosans during a straight breadmaking process. **Journal of Food Science**, v. 68, n. 1, p 31-34, 2003.

Primo-Martín, C.; Wang, M.; Lichtendonk, W.J.; Plijter, J.J.; Hamer, R.J. An explanation for the combined effect of xylanase - glucose oxidase in dough systems. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 85, Iss 7, p 1186-1196, 2005.

Propan. Programa de apoio ao panificador. Disponível em <http://www.propan.com.br/matsemana.asp>. Acesso em nov 2006

Rasiah, I. A., Sutton, K. H., Low, F. L.; Lin, H. M.; Gerrard, J. A. Crosslinking of wheat dough proteins by glucose oxidase and the resulting effects on bread and croissants. **Food Chemistry**. v.89, p 325-332, 2005.

Rodrigues, M.I.; lemma, A.F. **Planejamento de experimentos e otimização de processos**: uma estratégia seqüencial de planejamentos. Campinas: Casa do Pão, 326p. 2005.

Rouau, X.; El Hayek, M.L, Moreau, D. Effect of an enzyme preparation containing pentosanases on the bread-making quality of flours in relation to changes in pentosan properties. **Journal of Cereal Science**, v.19, p 259-272, 1994.

Sahlstrøm, S.; Bævre, A.B.; Bråthen, E. Impact of Starch Properties on Hearth Bread Characteristics. I. Starch in Wheat Flour. **Journal of Cereal Science**, v. 37, p 275-284, 2003.

Selinheimo, E.; Kruus, K.; Buchert, J.; Hopia, A.; Autio, K. Effects of laccase, xylanase and their combination on the rheological properties of wheat doughs. **Journal of Cereal Science**, v.43, p. 152-159, 2006.

Shah, A. R.; Shah, R. K.; Madamwar, D. Improvement of the quality of whole wheat bread by supplementation of xylanase from *Aspergillus foetidus*. **Bioresource Technology**, v. 97, p. 2047-2053, 2006.

Shalini, K.G. & Laxmi, A. Influence of additives on rheological characteristics of whole-wheat dough and quality of Chapatti (Indian unleavened Flat bread) Part I – hydrocolloids. **Food Hydrocolloids**, v. 21, p. 110-117, 2007.

Simha, M. R. **Evaluating knowledge, attitudes, and behaviors associated with whole grain consumption**. Thesis submitted to the Faculty of the Graduate School of the University of Maryland, College Park, in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science, 2005.

SINDIPAN – **Sindicato da Indústria de Panificação e Confeitaria**. Disponível em: <http://sindipan.org.br/index2.htm>. Acesso em set. 2005.

SINDIPAN – **Sindicato da Indústria de Panificação e Confeitaria**. Disponível em: <http://www.sindipan.org.br/imprensa/200610031.htm>. Acesso em nov. 2006.

Slavin, J.; Marquart, L.; Jacobs, D.Jr. Consumption of whole-grain foods and decreased risk of cancer: proposed mechanisms. **Cereal Foods World**, v. 45, n. 2, p 54-58, 2000.

Sluimer, P. Principles of breadmaking: functionality of raw material and process steps. **American Association of Cereal Chemists**. St Paul, MN, USA, 2005. 212p.

Tedru, G.A.S.; Ormenese, R.C.S.C.; Speranza, S.M.; Chang, Y.K.; Bustos, F.M. Estudo da adição de vital glúten à farinha de arroz, farinha de aveia e amido de trigo na qualidade de pães. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, 21(1): 20-25, 2001.

USDA – United States Department of Agriculture. Disponível em: <<http://www.mypyramid.gov/>>. Acesso em out. 2006

van der Kamp, J.W.; Asp, N.G.; Miller Jones, J.; Schaafsma, G. **Dietary fibre bio-active carbohydrates for food and feed**. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, 2004. 357p.

Vardakou, M.; Katapodis, P.; Samiotaki, M.; Kekos, D.; Panayotou, G.; Christakopoulos, P. Mode of action of family 10 and 11 endoxylanases on water-unextractable arabinoxylan. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.33, p 129-134, 2003.

Vemulapalli, V.; Miller, K.A.; Hosney, R.C. Glucose oxidase in breadmaking systems. **Cereal Chemistry**, v. 75, n. 4, p 439-442, 1998.

Vieira, A.C.P. & Cornélio, A.R. Alimentos funcionais: aspectos relevantes para o consumidor. **Jus Navigandi**. Teresina, ano 10, n. 1123, Disponível em: <<http://jus2.uol.com.br/doutrina/texto.asp?id=8702>>. Acesso em nov. 2006.

Wang, M.; Hamer, R.J.; Vliet, T.Van; Gruppen, H.; Marseille, H.; Weegels, P.L. Effect of water unextractable solids on gluten formation and properties: mechanistic considerations. **Journal of Cereal Science**, v. 37, p 55-64, 2003.

Wang, M.; Oudgenoeg, G.; Van Vliet, T.; Hamer, R.J. Interaction of water unextractable solids with gluten protein: effect on dough properties and gluten quality. **Journal of Cereal Science**, v. 38, p 95-104, 2003.

Wang, M.; Van Vliet, T.; Hamer, R.J. Evidence that pentosans and xylanase affect the re-agglomeration of the gluten network. **Journal of Cereal Science**, v. 39, p 341-349, 2004.

ANEXOS

Anexo I

Ficha de avaliação sensorial

Nome: _____ Data: _____

Por favor, prove as amostras codificadas e avalie cada uma usando a escala abaixo para indicar o quanto você gostou ou desgostou do produto.

9- gostei muitíssimo

8- gostei muito

7- gostei moderadamente

6- gostei ligeiramente

5- nem gostei/ nem desgostei

4- desgostei ligeiramente

3- desgostei moderadamente

2- desgostei muito

1- desgostei muitíssimo

Amostra	Aparência	Cor	Aroma	Textura	Sabor

Comentários:

Com relação às mesmas amostras, avalie quanto à intenção de compra.

5- certamente compraria

4- provavelmente compraria

3- talvez compraria/talvez não compraria

2- provavelmente não compraria

1- certamente não compraria

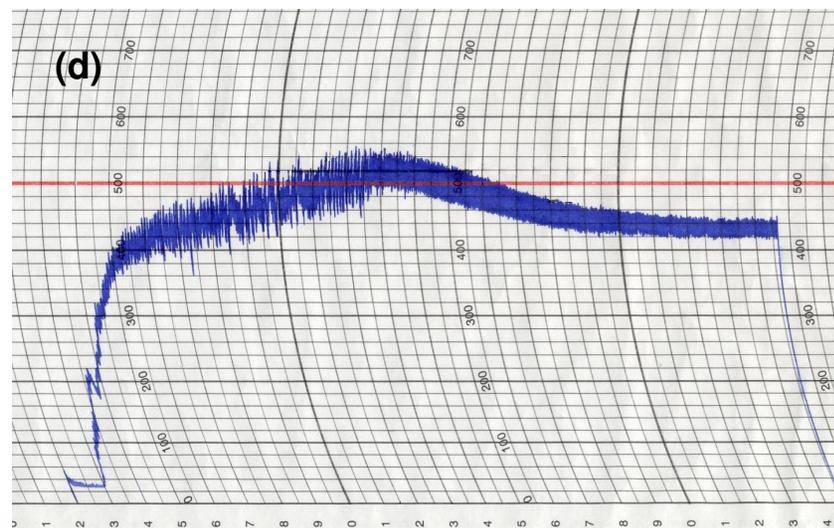
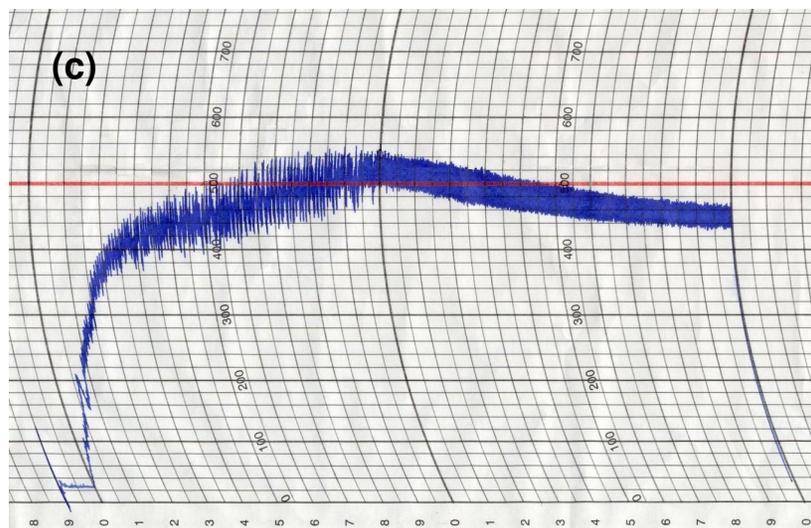
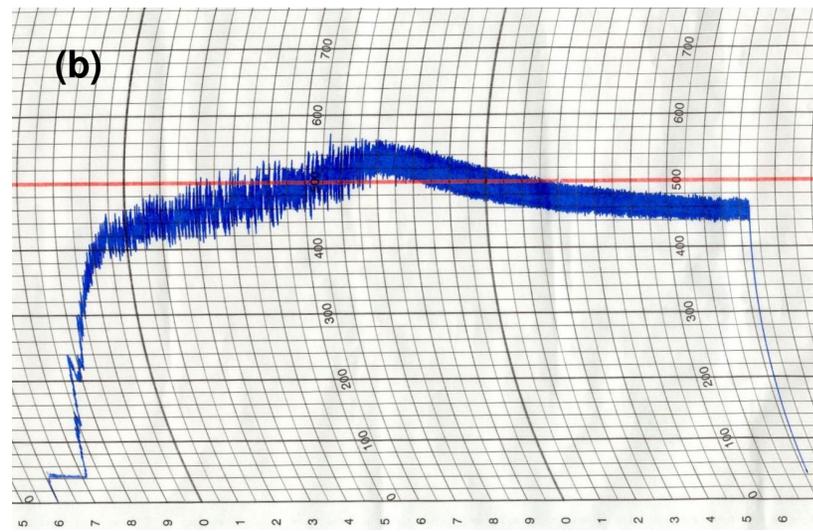
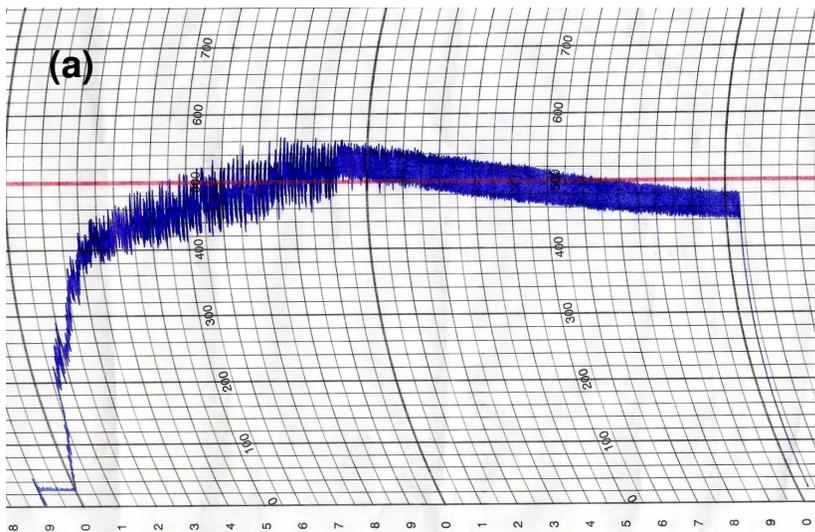
Amostra Valor

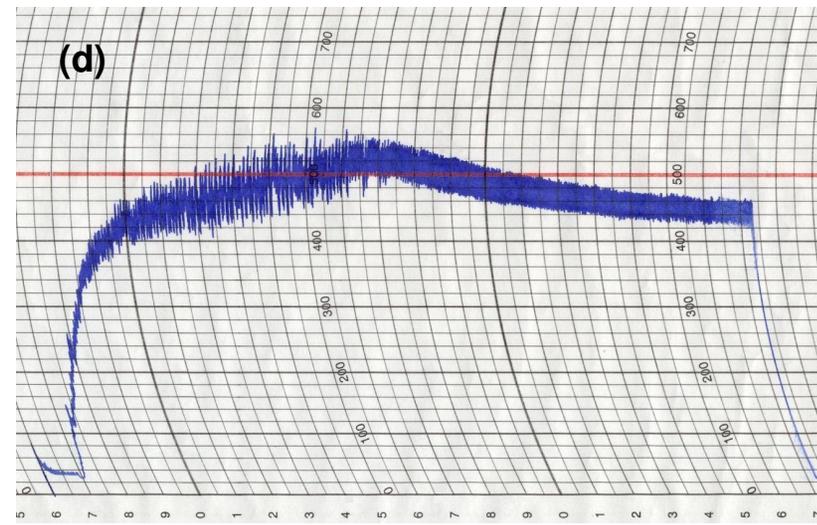
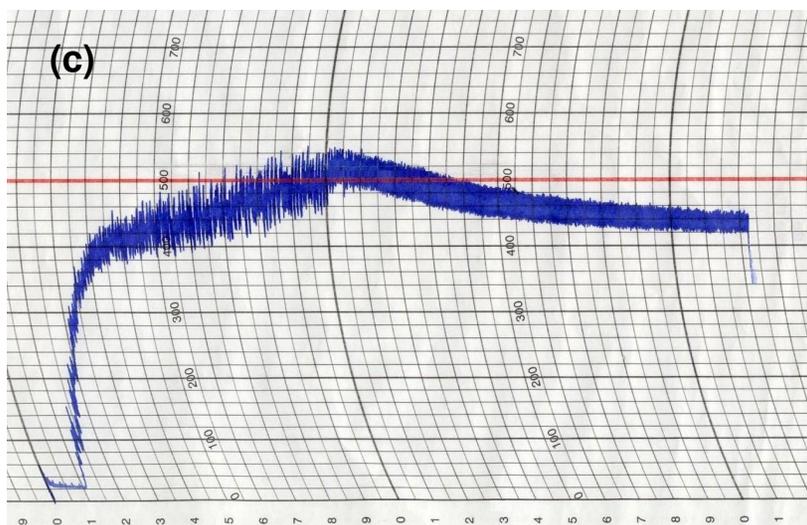
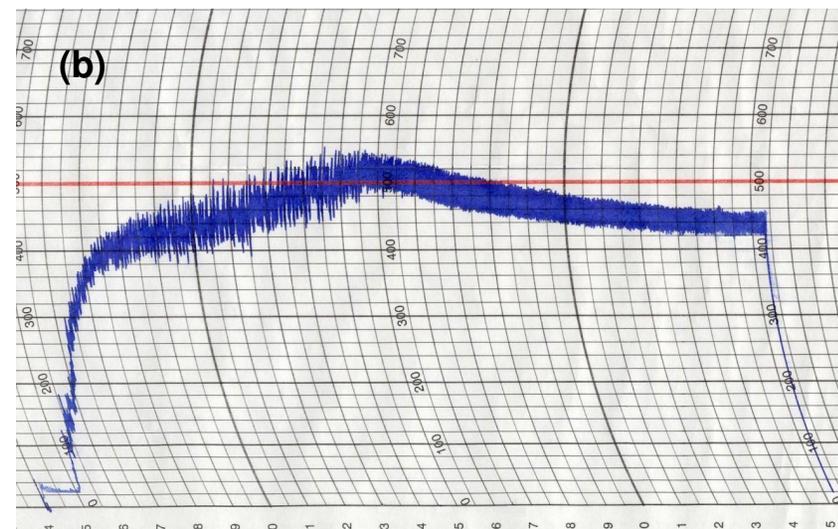
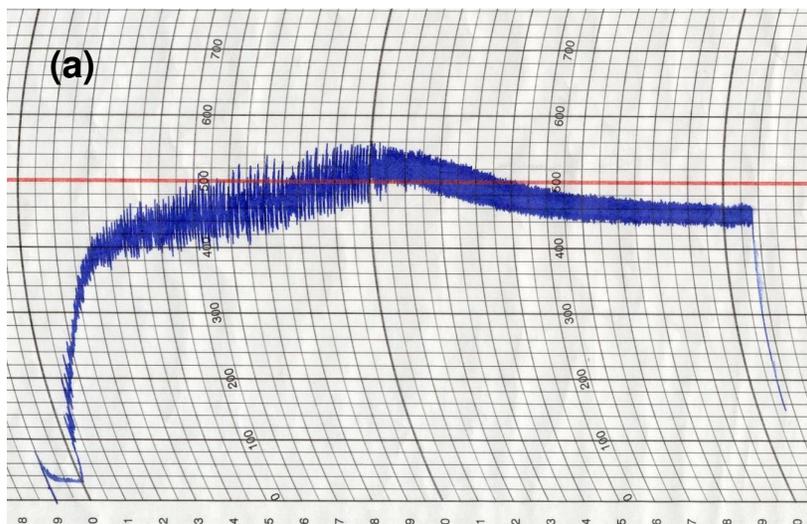
Comentários:

Anexo II

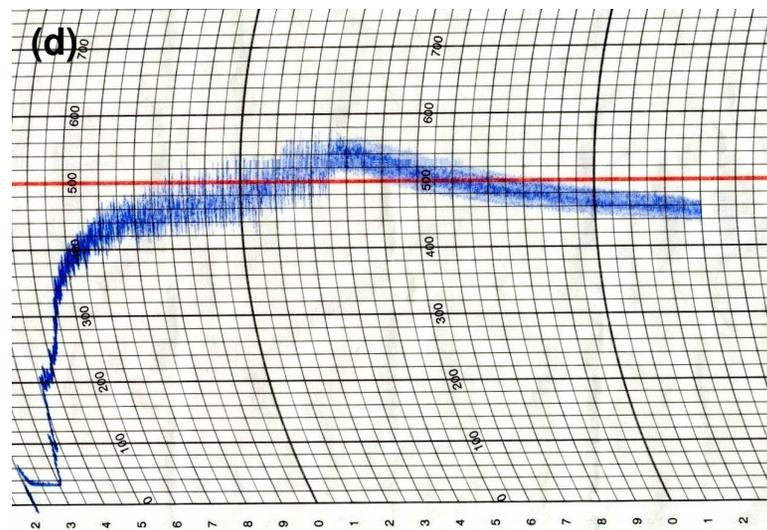
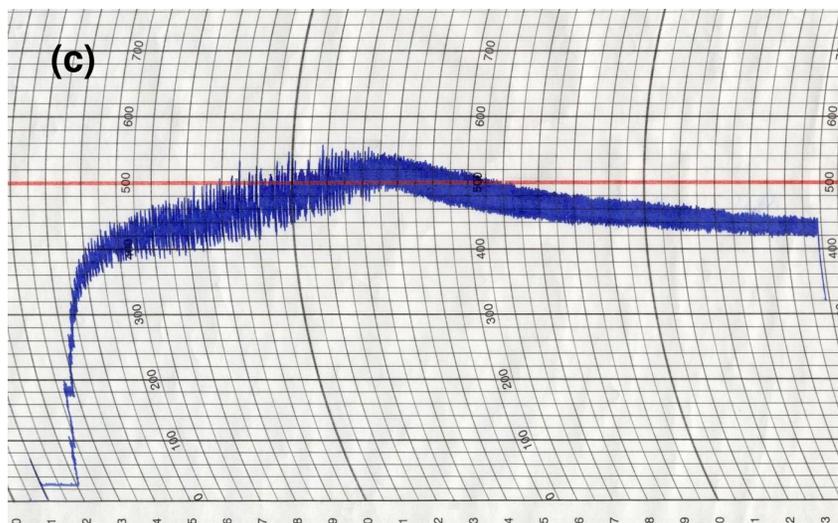
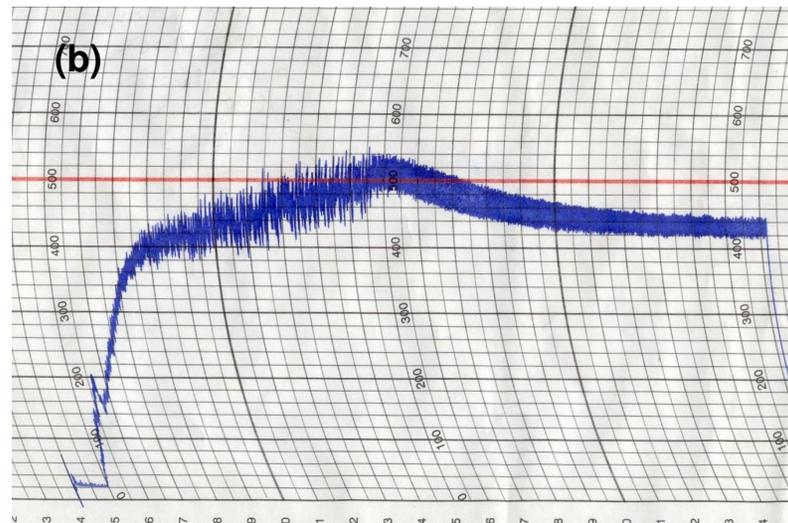
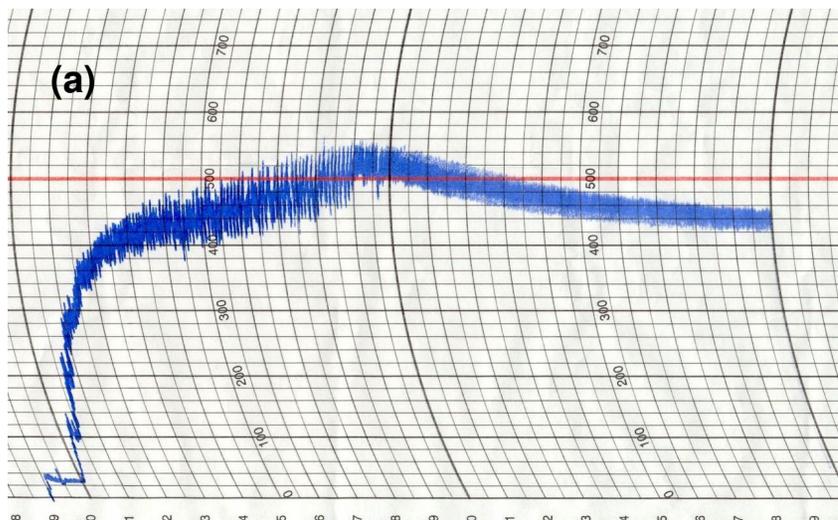
Farinogramas

Anexo II a: Farinogramas da farinha pura (a) e dos ensaios (b) padrão, (c) 1 e (d) 2.

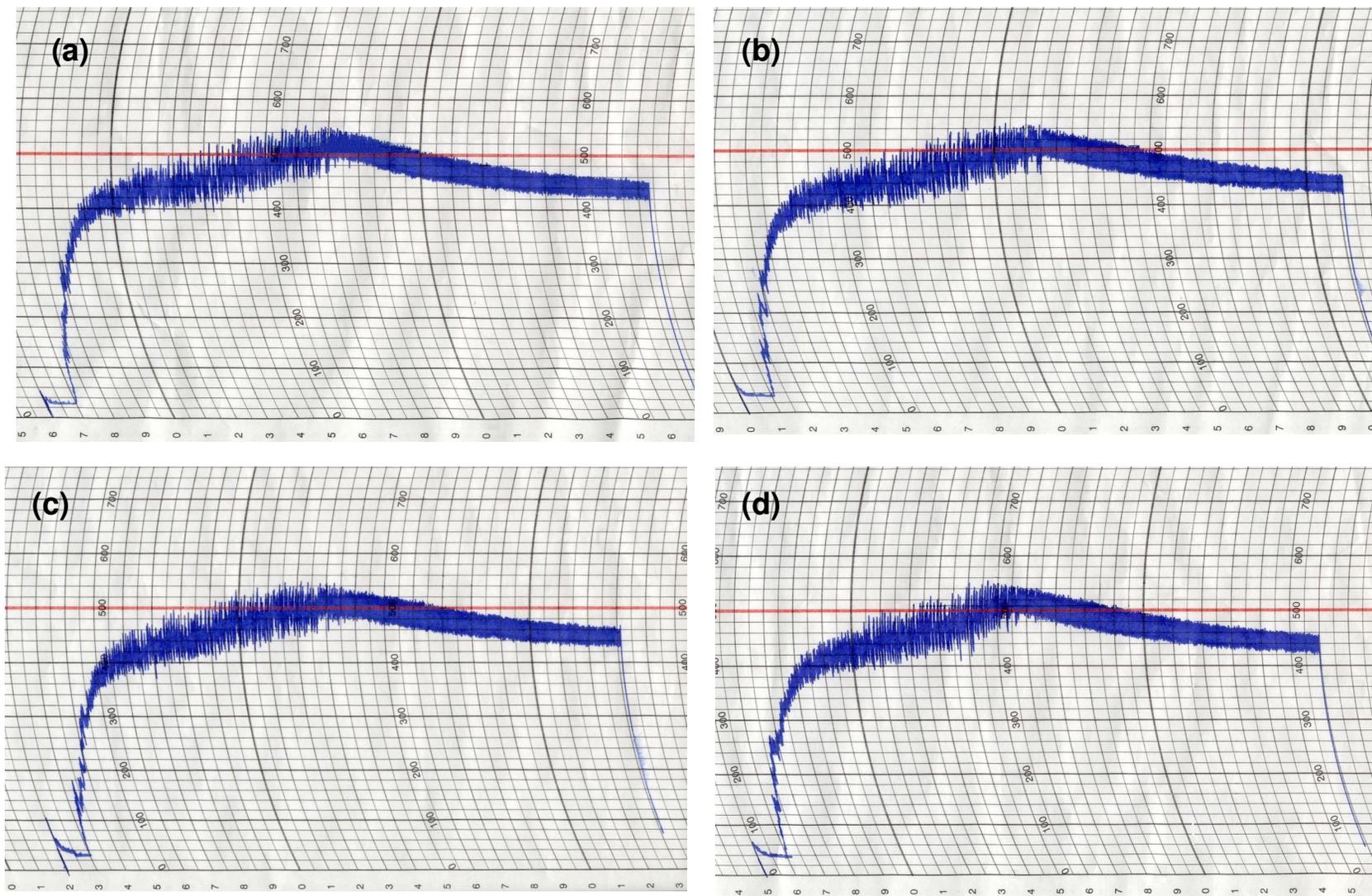


Anexo II b: Farinogramas dos ensaios (a) 3, (b) 4, (c) 5 e (d) 6.

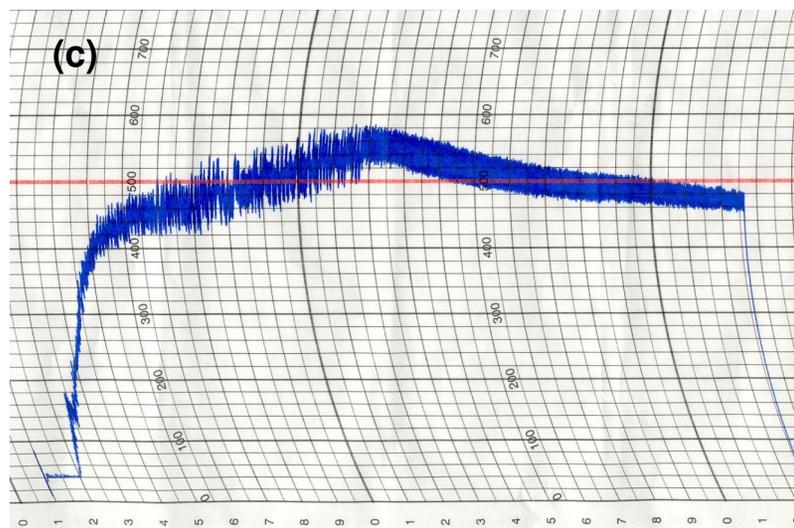
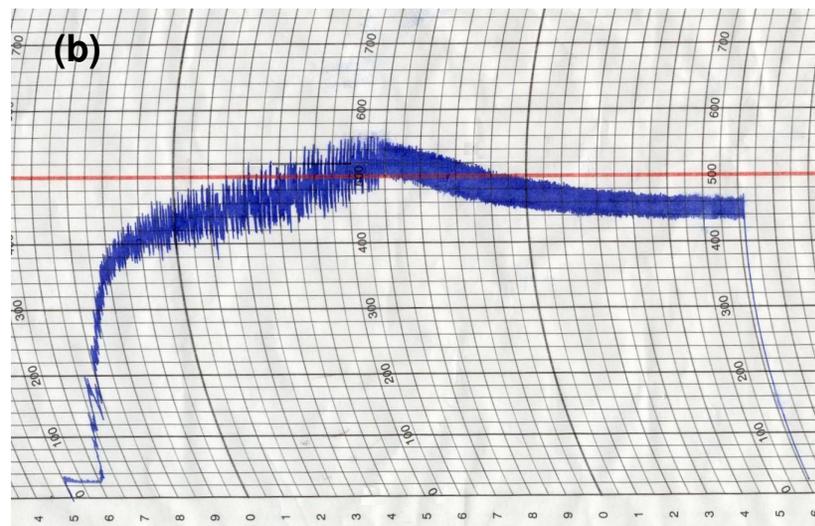
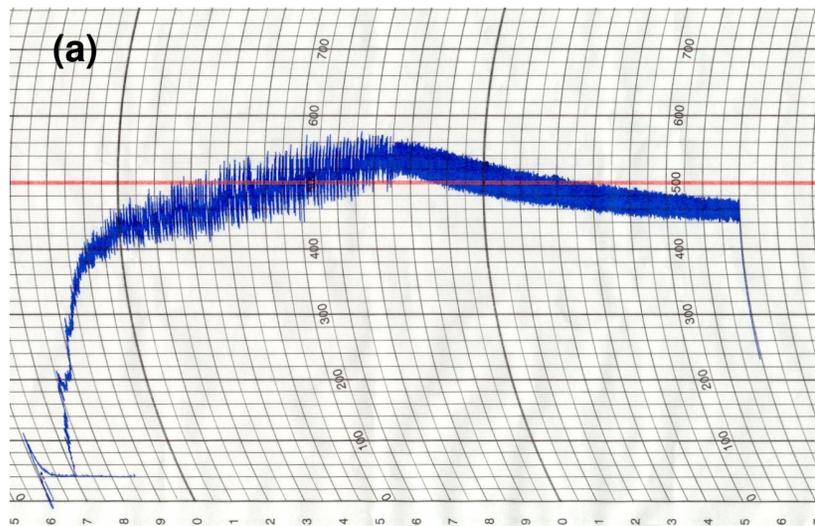
Anexo II c: Farinogramas dos ensaios (a) 7, (b) 8, (c) 9 e (d) 10.



Anexo II d: Farinogramas dos ensaios (a) 11, (b) 12, (c) 13 e (d) 14.



Anexo II e: Farinogramas dos ensaios (a) 15, (b) 16 e (c) 17.



Anexo III

**Coeficientes de regressão, erro padrão,
valores de t e valores de p.**

Tabela 58. Coeficientes de regressão para a resposta absorção de água.

$$R^2 = 0,49047.$$

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (7)	p-valor
Média *	66,90355	0,201333	332,3033	0,000000
Xilanase(L)	0,11345	0,094603	1,1992	0,269456
Xilanase(Q)	0,14756	0,104222	1,4158	0,199742
Glicose oxidase(L)	0,11286	0,094603	1,1930	0,271724
Glicose oxidase(Q)	0,04127	0,104222	0,3960	0,703916
Ácido ascórbico(L)	-0,06889	0,094603	-0,7282	0,490122
Ácido ascórbico(Q)	0,04127	0,104222	0,3960	0,703916
XIL X GOX	-0,11250	0,123550	-0,9106	0,392801
XIL X Ác. Asc.	-0,06250	0,123550	-0,5059	0,628487
GOX X Ác. Asc.	0,06250	0,123550	0,5059	0,628487

* termos estatisticamente significativos ao nível de 10% de significância.

Tabela 59. Coeficientes de regressão para a resposta tempo de chegada.

$$R^2 = 0,66827.$$

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (7)	p-valor
Média *	7,49409	0,286973	26,1143	0,000000
Xilanase(L) *	0,28143	0,134844	2,0871	0,075297
Xilanase(Q)	0,10834	0,148554	0,7293	0,489496
Glicose oxidase(L) *	0,28143	0,134844	2,0871	0,075297
Glicose oxidase(Q)	-0,06881	0,148554	-0,4632	0,657263
Ácido ascórbico(L)	-0,01173	0,134844	-0,0870	0,933138
Ácido ascórbico(Q)	-0,06881	0,148554	-0,4632	0,657263
XIL X GOX	-0,25000	0,176104	-1,4196	0,198684
XIL X Ác. Asc.	-0,25000	0,176104	-1,4196	0,198684
GOX X Ác. Asc.	0,00000	0,176104	0,0000	1,000000

* termos estatisticamente significativos ao nível de 10% de significância.

Tabela 60. Coeficientes de regressão para a resposta tempo de desenvolvimento da massa. $R^2 = 0,83713$.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (7)	p-valor
Média *	9,83298	0,140578	69,946810	3,209727E-11
Xilanase(L)	-0,06156	0,066055	-0,931976	3,823686E-01
Xilanase(Q) *	0,14880	0,072772	2,044734	8,015098E-02
Glicose oxidase(L)	0,00000	0,066055	0,000000	1,000000E+00
Glicose oxidase(Q)	0,06022	0,072772	0,827540	4,352314E-01
Ácido ascórbico(L)	-0,07329	0,066055	-1,109495	3,038721E-01
Ácido ascórbico(Q) *	-0,29409	0,072772	-4,041234	4,925162E-03
XIL X GOX	0,00000	0,086267	0,000000	1,000000E+00
XIL X Ác. Asc.	0,12500	0,086267	1,448986	1,906141E-01
GOX X Ác. Asc.	0,12500	0,086267	1,448986	1,906141E-01

* termos estatisticamente significativos ao nível de 10% de significância.

Tabela 61. Coeficientes de regressão para a resposta tempo de saída.

$R^2 = 0,42459$

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (7)	p-valor
Média *	12,89411	0,396601899	32,5115	6,739089E-09
Xilanase(L)	-0,23306	0,186356564	-1,2506	2,512648E-01
Xilanase(Q)	-0,14434	0,205304835	-0,7030	5,047314E-01
Glicose oxidase(L)	0,02492	0,186356564	0,1337	8,973941E-01
Glicose oxidase(Q)	-0,05576	0,205304835	-0,2716	7,937636E-01
Ácido ascórbico(L)	-0,23306	0,186356564	-1,2506	2,512648E-01
Ácido ascórbico(Q)	-0,14434	0,205304835	-0,7030	5,047314E-01
XIL X GOX	-0,18750	0,243379104	-0,7704	4,662614E-01
XIL X Ác. Asc.	0,18750	0,243379104	0,7704	4,662614E-01
GOX X Ác. Asc.	0,06250	0,243379104	0,2568	8,047167E-01

* termos estatisticamente significativos ao nível de 10% de significância.

Tabela 62. Coeficientes de regressão para a resposta estabilidade.

R² = 0,61291.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (7)	p-valor
Média *	5,40001	0,476746	11,3268	9,358507E-06
Xilanase(L) *	-0,51448	0,224015	-2,2966	5,526414E-02
Xilanase(Q)	-0,25268	0,246792	-1,0239	3,399790E-01
Glicose oxidase(L)	-0,25651	0,224015	-1,1450	2,898253E-01
Glicose oxidase(Q)	0,01305	0,246792	0,0529	9,592988E-01
Ácido ascórbico(L)	-0,22133	0,224015	-0,9880	3,560596E-01
Ácido ascórbico(Q)	-0,07552	0,246792	-0,3060	7,684862E-01
XIL X GOX	0,06250	0,292561	0,2136	8,369239E-01
XIL X Ác. Asc.	0,43750	0,292561	1,4954	1,784593E-01
GOX X Ác. Asc.	0,06250	0,292561	0,2136	8,369239E-01

* termos estatisticamente significativos ao nível de 10% de significância.

Tabela 63. Coeficientes de regressão para a resposta índice de tolerância à mistura. R² = 0,46222

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (7)	p-valor
Média *	62,75670	6,334559	9,9070	2,275214E-05
Xilanase(L)	4,41194	2,976503	1,4823	1,818314E-01
Xilanase(Q)	1,63461	3,279146	0,4985	6,334212E-01
Glicose oxidase(L)	-0,13192	2,976503	-0,0443	9,658872E-01
Glicose oxidase(Q)	-1,02271	3,279146	-0,3119	7,642145E-01
Ácido ascórbico(L)	1,48042	2,976503	0,4974	6,341696E-01
Ácido ascórbico(Q)	-3,68002	3,279146	-1,1222	2,987703E-01
XIL X GOX	-4,37500	3,887272	-1,1255	2,974940E-01
XIL X Ác. Asc.	-1,87500	3,887272	-0,4823	6,442791E-01
GOX X Ác. Asc.	0,62500	3,887272	0,1608	8,768075E-01

* termos estatisticamente significativos ao nível de 10% de significância.

Tabela 64. Coeficientes de regressão para a resposta resistência à extensão. $R^2 = 0,64872$.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (7)	p-valor
Média *	949,72836	107,7338	8,8155	0,000049
Xilanase(L)	79,41487	50,6223	1,5688	0,160689
Xilanase(Q)	-19,04067	55,7694	-0,3414	0,742809
Glicose oxidase(L)	-53,26571	50,6223	-1,0522	0,327660
Glicose oxidase(Q)	-42,07071	55,7694	-0,7544	0,475235
Ácido ascórbico(L)	61,00492	50,6223	1,2051	0,267319
Ácido ascórbico(Q)	-36,75609	55,7694	-0,6591	0,530924
XIL X GOX	103,75000	66,1120	1,5693	0,160566
XIL X Ác. Asc.	-71,25000	66,1120	-1,0777	0,316892
GOX X Ác. Asc. *	123,75000	66,1120	1,8718	0,103401

* termos estatisticamente significativos ao nível de 10% de significância.

Tabela 65. Coeficientes de regressão para a resposta resistência máxima. $R^2 = 0,45925$.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (7)	p-valor
Média *	676,44581	212,7978	3,1788	0,015516
Xilanase(L)	147,07434	99,9901	1,4709	0,184790
Xilanase(Q)	56,56669	110,1568	0,5135	0,623401
Glicose oxidase(L)	12,69348	99,9901	0,1269	0,902552
Glicose oxidase(Q)	35,30818	110,1568	0,3205	0,757926
Ácido ascórbico(L)	118,81449	99,9901	1,1883	0,273477
Ácido ascórbico(Q)	45,93743	110,1568	0,4170	0,689156
XIL X GOX	-13,75000	130,5857	-0,1053	0,919096
XIL X Ác. Asc.	-183,75000	130,5857	-1,4071	0,202207
GOX X Ác. Asc.	11,25000	130,5857	0,0862	0,933759

* termos estatisticamente significativos ao nível de 10% de significância.

Tabela 66. Coeficientes de regressão para a resposta extensibilidade.

$$R^2 = 0,62546$$

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (7)	p-valor
Média *	82,74999	4,6003	17,9881	4,054601E-07
Xilanase(L)	-0,57604	2,1616	-0,2665	7,975401E-01
Xilanase(Q)	-0,86938	2,3814	-0,3651	7,258342E-01
Glicose oxidase(L)	1,28254	2,1616	0,5933	5,716225E-01
Glicose oxidase(Q)	-1,22369	2,3814	-0,5139	6,231674E-01
Ácido ascórbico(L) *	-3,99713	2,1616	-1,8492	1,068976E-01
Ácido ascórbico(Q)	0,90216	2,3814	0,3788	7,160355E-01
XIL X GOX *	-6,68750	2,8230	-2,3689	4,968386E-02
XIL X Ác. Asc.	1,43750	2,8230	0,5092	6,262596E-01
GOX X Ác. Asc.	3,18750	2,8230	1,1291	2,960514E-01

* termos estatisticamente significativos ao nível de 10% de significância.

Tabela 67. Coeficientes de regressão para a resposta número proporcional.

$$R^2 = 0,61923.$$

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (7)	p-valor
Média *	10,66630	11,5730	0,9217	0,387371
Xilanase(L)	-6,24372	5,4380	-1,1482	0,288616
Xilanase(Q)	2,63649	5,9909	0,4401	0,673144
Glicose oxidase(L)	6,46683	5,4380	1,1892	0,273130
Glicose oxidase(Q)	2,39938	5,9909	0,4005	0,700726
Ácido ascórbico(L)	-5,97700	5,4380	-1,0991	0,308072
Ácido ascórbico(Q)	2,35066	5,9909	0,3924	0,706455
XIL X GOX	-10,21367	7,1019	-1,4382	0,193553
XIL X Ác. Asc.	11,26939	7,1019	1,5868	0,156576
GOX X Ác. Asc.	-11,31015	7,1019	-1,5926	0,155288

* termos estatisticamente significativos ao nível de 10% de significância.

Tabela 68. Coeficientes de regressão para a resposta volume específico dos pães. $R^2 = 0,67515$.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (7)	p-valor
Média *	4,874026	0,10757	45,31035	0,000000
Xilanase(L)	0,057792	0,050545	1,14337	0,290476
Xilanase(Q)	-0,075241	0,055685	-1,3512	0,218672
Glicose oxidase(L)	0,013674	0,050545	0,27053	0,794559
Glicose oxidase(Q)	0,045877	0,055685	0,82388	0,437177
Ácido ascórbico(L)	-0,019462	0,050545	-0,38504	0,71164
Ácido ascórbico(Q)	-0,065598	0,055685	-1,17802	0,277279
XIL X GOX	-0,023892	0,066011	-0,36194	0,728077
XIL X Ác. Asc.	0,004588	0,066011	0,06951	0,946531
GOX X Ác. Asc. *	0,188241	0,066011	2,85164	0,024631

* termos estatisticamente significativos ao nível de 10% de significância.

Tabela 69. Coeficientes de regressão para a resposta L * da cor do miolo dos pães. $R^2 = 0,76977$.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (7)	p-valor
Média *	59,750445	0,307571	194,265	0,000000
Xilanase (L)	0,110225	0,144523	0,763	0,470567
Xilanase (Q) *	0,308452	0,159217	1,937	0,093907
Glicose oxidase (L)	-0,116147	0,144523	-0,804	0,448021
Glicose oxidase (Q)	-0,176951	0,159217	-1,111	0,303115
Ácido ascórbico (L)	-0,007798	0,144523	-0,054	0,958478
Ácido ascórbico (Q)	-0,150377	0,159217	-0,944	0,376375
XIL X GOX *	0,552500	0,188745	2,927	0,022111
XIL X Ác. Asc. *	-0,375000	0,188745	-1,987	0,087301
GOX X Ác. Asc.	-0,217500	0,188745	-1,152	0,287007

* termos estatisticamente significativos ao nível de 10% de significância.

Tabela 70. Coeficientes de regressão para a resposta C * do miolo dos pães.

$$R^2 = 0,85869.$$

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t ()	p-valor
Média *	18,629833	0,115984	160,624	0,000000
Xilanase (L) *	-0,169706	0,054499	-3,114	0,016988
Xilanase (Q) *	0,123642	0,060040	2,059	0,078444
Glicose oxidase (L)	0,095362	0,054499	1,750	0,123629
Glicose oxidase (Q)	-0,046426	0,060040	-0,773	0,464681
Ácido ascórbico (L)	0,055670	0,054499	1,021	0,341026
Ácido ascórbico (Q)	0,022664	0,060040	0,377	0,717000
XIL X GOX *	0,193750	0,071175	2,722	0,029672
XIL X Ác. Asc. *	-0,246250	0,071175	-3,460	0,010551
GOX X Ác. Asc.	-0,123750	0,071175	-1,739	0,125651

* termos estatisticamente significativos ao nível de 10% de significância.

Tabela 71. Coeficientes de regressão para a resposta h do miolo dos pães.

$$R^2 = 0,93989.$$

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t ()	p-valor
Média *	74,389864	0,066371	1120,818	0,000000
Xilanase (L) *	0,194301	0,031187	6,230	0,000432
Xilanase (Q)	-0,011291	0,034358	-0,329	0,752055
Glicose oxidase (L) *	-0,119489	0,031187	-3,831	0,006446
Glicose oxidase (Q) *	-0,078609	0,034358	-2,288	0,055975
Ácido ascórbico (L)	-0,008912	0,031187	-0,286	0,783335
Ácido ascórbico (Q) *	-0,103411	0,034358	-3,010	0,019667
XIL X GOX *	-0,147500	0,040729	-3,621	0,008494
XIL X Ác. Asc. *	0,182500	0,040729	4,481	0,002864
GOX X Ác. Asc. *	0,132500	0,040729	3,253	0,013996

* termos estatisticamente significativos ao nível de 10% de significância.

Tabela 72. Coeficientes de regressão para a resposta atividade de água dos pães no primeiro dia de armazenamento. $R^2 = 0,86887$.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (7)	p-valor
Média *	0,966991	0,000466	2076,285	0,000000
Xilanase(L)	-0,000035	0,000219	-0,161	0,876832
Xilanase(Q)	-0,000057	0,000241	-0,237	0,819324
Glicose oxidase(L)	0,000173	0,000219	0,790	0,455260
Glicose oxidase(Q)	0,000386	0,000241	1,600	0,153665
Ácido ascórbico(L) *	0,001275	0,000219	5,827	0,000645
Ácido ascórbico(Q) *	-0,000500	0,000241	-2,074	0,076743
XIL X GOX	-0,000375	0,000286	-1,312	0,230873
XIL X Ác. Asc.	-0,000125	0,000286	-0,437	0,675021
GOX X Ác. Asc.	0,000125	0,000286	0,437	0,675021

* termos estatisticamente significativos ao nível de 10% de significância.

Tabela 73. Coeficientes de regressão para a resposta atividade de água dos pães no quarto dia de armazenamento. $R^2 = 0,74236$.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (7)	p-valor
Média *	0,966971	0,000789	1225,732	0,000000
Xilanase (L)	-0,000281	0,000371	-0,759	0,472519
Xilanase (Q)	0,000008	0,000408	0,019	0,985225
Glicose oxidase (L)	0,000542	0,000371	1,463	0,186858
Glicose oxidase (Q)	0,000274	0,000408	0,670	0,524403
Ácido ascórbico (L) *	0,001445	0,000371	3,899	0,005908
Ácido ascórbico (Q)	0,000451	0,000408	1,104	0,306218
XIL X GOX	-0,000375	0,000484	-0,775	0,463924
XIL X Ác. Asc.	-0,000125	0,000484	-0,258	0,803676
GOX X Ác. Asc.	0,000125	0,000484	0,258	0,803676

* termos estatisticamente significativos ao nível de 10% de significância.

Tabela 74. Coeficientes de regressão para a resposta atividade de água dos pães no sétimo dia de armazenamento. $R^2 = 0,82358$.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (7)	p-valor
Média *	0,966666	0,000796	1214,220	0,000000
Xilanase (L)	-0,000119	0,000374	-0,317	0,760213
Xilanase (Q)	-0,000457	0,000412	-1,109	0,304050
Glicose oxidase (L)	0,000173	0,000374	0,462	0,657854
Glicose oxidase (Q)	0,000119	0,000412	0,288	0,781692
Ácido ascórbico (L) *	0,001961	0,000374	5,243	0,001196
Ácido ascórbico (Q)	0,000296	0,000412	0,718	0,496100
XIL X GOX	0,000625	0,000489	1,279	0,241562
XIL X Ác. Asc.	-0,000375	0,000489	-0,768	0,467833
GOX X Ác. Asc.	0,000125	0,000489	0,256	0,805415

* termos estatisticamente significativos ao nível de 10% de significância.

Tabela 75. Coeficientes de regressão para a resposta atividade de água dos pães no décimo dia de armazenamento. $R^2 = 0,65498$.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (7)	p-valor
Média *	0,966901	0,001241	779,164	0,000000
Xilanase (L)	-0,000797	0,000583	-1,367	0,213763
Xilanase (Q) *	-0,001439	0,000642	-2,240	0,060087
Glicose oxidase (L)	-0,000073	0,000583	-0,126	0,903514
Glicose oxidase (Q)	-0,000730	0,000642	-1,137	0,293036
Ácido ascórbico (L) *	0,001082	0,000583	1,855	0,105965
Ácido ascórbico (Q)	-0,000199	0,000642	-0,309	0,765968
XIL X GOX	0,001125	0,000762	1,477	0,183114
XIL X Ác. Asc.	0,000125	0,000762	0,164	0,874256
GOX X Ác. Asc.	-0,000375	0,000762	-0,492	0,637479

* termos estatisticamente significativos ao nível de 10% de significância.

Tabela 76. Coeficientes de regressão para a resposta umidade dos pães no primeiro dia de armazenamento. $R^2 = 0,79996$.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (7)	p-valor
Média *	43,826190	0,200040	219,088	0,000000
Xilanase (L)	0,050979	0,093995	0,542	0,604400
Xilanase (Q)	-0,087191	0,103552	-0,842	0,427618
Glicose oxidase (L)	-0,146078	0,093995	-1,554	0,164109
Glicose oxidase (Q)	-0,012786	0,103552	-0,123	0,905204
Ácido ascórbico (L) *	0,344542	0,093995	3,666	0,008012
Ácido ascórbico (Q)	0,001387	0,103552	0,013	0,989690
XIL X GOX *	0,258750	0,122757	2,108	0,073022
XIL X Ác. Asc. *	-0,251250	0,122757	-2,047	0,079915
GOX X Ác. Asc.	0,191250	0,122757	1,558	0,163202

* termos estatisticamente significativos ao nível de 10% de significância.

Tabela 77. Coeficientes de regressão para a resposta umidade dos pães no quarto dia de armazenamento. $R^2 = 0,65255$.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (7)	p-valor
Média *	43,575032	0,201638	216,106	0,000000
Xilanase (L)	-0,105355	0,094746	-1,112	0,302875
Xilanase (Q) *	-0,224371	0,104380	-2,150	0,068657
Glicose oxidase (L)	0,085073	0,094746	0,898	0,399067
Glicose oxidase (Q)	-0,150361	0,104380	-1,441	0,192909
Ácido ascórbico (L)	0,091170	0,094746	0,962	0,367974
Ácido ascórbico (Q)	0,049823	0,104380	0,477	0,647672
XIL X GOX	-0,107500	0,123737	-0,869	0,413762
XIL X Ác. Asc.	0,150000	0,123737	1,212	0,264741
GOX X Ác. Asc.	0,102500	0,123737	0,828	0,434792

* termos estatisticamente significativos ao nível de 10% de significância.

Tabela 78. Coeficientes de regressão para a resposta umidade dos pães no sétimo dia de armazenamento. $R^2 = 0,79876$.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (7)	p-valor
Média *	41,854643	0,134366	311,498	0,000000
Xilanase (L) *	-0,158537	0,063136	-2,511	0,040336
Xilanase (Q)	-0,033760	0,069556	-0,485	0,642241
Glicose oxidase (L)	0,070738	0,063136	1,120	0,299507
Glicose oxidase (Q)	0,017464	0,069556	0,251	0,808961
Ácido ascórbico (L) *	0,218486	0,063136	3,461	0,010540
Ácido ascórbico (Q)	0,058210	0,069556	0,837	0,430300
XIL X GOX *	-0,196250	0,082455	-2,380	0,048876
XIL X Ác. Asc.	0,016250	0,082455	0,197	0,849367
GOX X Ác. Asc.	0,091250	0,082455	1,107	0,305014

* termos estatisticamente significativos ao nível de 10% de significância.

Tabela 79. Coeficientes de regressão para a resposta umidade dos pães no décimo dia de armazenamento. $R^2 = 0,92945$.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (7)	p-valor
Média *	40,437290	0,107946	374,607	0,000000
Xilanase (L) *	-0,237512	0,050722	-4,683	0,002254
Xilanase (Q)	-0,017310	0,055879	-0,310	0,765744
Glicose oxidase (L) *	0,207200	0,050722	4,085	0,004660
Glicose oxidase (Q) *	0,197046	0,055879	3,526	0,009646
Ácido ascórbico (L) *	0,123124	0,050722	2,427	0,045592
Ácido ascórbico (Q) *	0,186417	0,055879	3,336	0,012487
XIL X GOX *	-0,310000	0,066242	-4,680	0,002261
XIL X Ác. Asc.	0,100000	0,066242	1,510	0,174886
GOX X Ác. Asc.	0,075000	0,066242	1,132	0,294835

* termos estatisticamente significativos ao nível de 10% de significância.

Tabela 80. Coeficientes de regressão para a resposta força de compressão dos pães no primeiro dia de armazenamento. $R^2 = 0,88603$

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (7)	p-valor
Média *	334,023979	13,693703	24,393	0,000000
Xilanase (L)	-7,991622	6,434441	-1,242	0,254230
Xilanase (Q)	8,022843	7,088679	1,132	0,295003
Glicose oxidase (L)	10,737717	6,434441	1,669	0,139091
Glicose oxidase (Q)	-0,425782	7,088679	-0,060	0,953783
Ácido ascórbico (L) *	-29,004075	6,434441	-4,508	0,002773
Ácido ascórbico (Q)	-6,477370	7,088679	-0,914	0,391228
XIL X GOX	5,506250	8,403291	0,655	0,533241
XIL X Ác. Asc. *	-34,783750	8,403291	-4,139	0,004353
GOX X Ác. Asc. *	-25,508750	8,403291	-3,036	0,018965

* termos estatisticamente significativos ao nível de 10% de significância.

Tabela 81. Coeficientes de regressão para a resposta força de compressão dos pães no quarto dia de armazenamento. $R^2 = 0,96378$.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (7)	p-valor
Média *	466,771155	10,217373	45,684	0,000000
Xilanase (L) *	-9,020103	4,800972	-1,879	0,102345
Xilanase (Q) *	34,351486	5,289123	6,495	0,000336
Glicose oxidase (L) *	15,108202	4,800972	3,147	0,016222
Glicose oxidase (Q)	-6,277613	5,289123	-1,187	0,273984
Ácido ascórbico (L) *	-32,752726	4,800972	-6,822	0,000248
Ácido ascórbico (Q) *	-13,186626	5,289123	-2,493	0,041405
XIL X GOX *	16,008750	6,270003	2,553	0,037924
XIL X Ác. Asc. *	-31,686250	6,270003	-5,054	0,001474
GOX X Ác. Asc. *	-31,798750	6,270003	-5,072	0,001445

* termos estatisticamente significativos ao nível de 10% de significância.

Tabela 82. Coeficientes de regressão para a resposta força de compressão dos pães no sétimo dia de armazenamento. $R^2 = 0,87733$.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (7)	p-valor
Média *	589,594432	18,203287	32,389	0,000000
Xilanase (L)	-12,220623	8,553419	-1,429	0,196144
Xilanase (Q) *	27,532397	9,423109	2,922	0,022283
Glicose oxidase (L)	5,759454	8,553419	0,673	0,522327
Glicose oxidase (Q)	-1,065853	9,423109	-0,113	0,913118
Ácido ascórbico (L) *	-22,886606	8,553419	-2,676	0,031735
Ácido ascórbico (Q)	-9,311140	9,423109	-0,988	0,356012
XIL X GOX *	23,030375	11,170647	2,062	0,078170
XIL X Ác. Asc. *	-43,693875	11,170647	-3,911	0,005812
GOX X Ác. Asc. *	-32,049625	11,170647	-2,869	0,024023

* termos estatisticamente significativos ao nível de 10% de significância.

Tabela 83. Coeficientes de regressão para a resposta força de compressão dos pães no décimo dia de armazenamento. $R^2 = 0,87825$.

	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t (7)	p-valor
Média *	666,322019	21,849482	30,496	0,000000
Xilanase (L)	-13,306729	10,266704	-1,296	0,236033
Xilanase (Q) *	54,401073	11,310597	4,810	0,001944
Glicose oxidase (L)	6,873256	10,266704	0,669	0,524655
Glicose oxidase (Q)	3,518515	11,310597	0,311	0,764798
Ácido ascórbico (L) *	-22,308088	10,266704	-2,173	0,066337
Ácido ascórbico (Q)	14,512704	11,310597	1,283	0,240300
XIL X GOX *	32,053625	13,408174	2,391	0,048126
XIL X Ác. Asc. *	-48,033875	13,408174	-3,582	0,008947
GOX X Ác. Asc.	-10,486125	13,408174	-0,782	0,459805

* termos estatisticamente significativos ao nível de 10% de significância.

Anexo IV

**Valores experimentais, previstos pelo modelo,
desvios e desvios relativos**

Tabela 84. Valores experimentais, previstos pelo modelo, desvios e desvios relativos da resposta C* da cor do miolo dos pães.

ENSAIOS	CODIFICADA			NÃO CODIFICADA			Resposta C*			
	Xilanase	Glicose oxidase	Ácido ascórbico	Xilanase	Glicose oxidase	Ácido ascórbico	Exp	Codif	Erro	Desvio relativo
1	-1	-1	-1	2,42	17,08	16,19	18,41	18,85	-0,44	-2,40
2	1	-1	-1	6,58	17,08	16,19	18,26	18,62	-0,36	-1,96
3	-1	1	-1	2,42	37,92	16,19	18,60	18,47	0,13	0,72
4	1	1	-1	6,58	37,92	16,19	18,93	19,01	-0,08	-0,40
5	-1	-1	1	2,42	17,08	63,81	19,50	19,35	0,15	0,79
6	1	-1	1	6,58	17,08	63,81	18,07	18,13	-0,06	-0,31
7	-1	1	1	2,42	37,92	63,81	18,90	18,96	-0,06	-0,31
8	1	1	1	6,58	37,92	63,81	18,54	18,51	0,03	0,14
9	-1,68	0	0	1,00	27,50	40,00	19,30	19,26	0,04	0,23
10	1,68	0	0	8,00	27,50	40,00	18,88	18,69	0,19	1,03
11	0	-1,68	0	4,50	10,00	40,00	18,44	18,61	-0,17	-0,90
12	0	1,68	0	4,50	45,00	40,00	18,78	18,61	0,17	0,92
13	0	0	-1,68	4,50	27,50	0,00	18,82	18,61	0,21	1,13
14	0	0	1,68	4,50	27,50	80,00	18,79	18,61	0,18	0,98
15	0	0	0	4,50	27,50	40,00	18,80	18,61	0,19	1,03
16	0	0	0	4,50	27,50	40,00	18,47	18,61	-0,14	-0,74
17	0	0	0	4,50	27,50	40,00	18,58	18,61	-0,03	-0,14

Tabela 85. Valores experimentais, previstos pelo modelo, desvios e desvios relativos da resposta h da cor do miolo dos pães.

ENSAIOS	CODIFICADA			NÃO CODIFICADA			Resposta h			
	Xilanase	Glicose oxidase	Ácido ascórbico	Xilanase	Glicose oxidase	Ácido ascórbico	Exp	Codif	Erro	Desvio relativo
1	-1	-1	-1	2,42	17,08	16,19	74,30	74,29	0,01	0,01
2	1	-1	-1	6,58	17,08	16,19	74,59	74,61	-0,02	-0,03
3	-1	1	-1	2,42	37,92	16,19	74,09	74,08	0,01	0,01
4	1	1	-1	6,58	37,92	16,19	73,90	73,81	0,09	0,12
5	-1	-1	1	2,42	17,08	63,81	73,53	73,66	-0,13	-0,18
6	1	-1	1	6,58	17,08	63,81	74,66	74,71	-0,05	-0,07
7	-1	1	1	2,42	37,92	63,81	73,96	73,98	-0,02	-0,03
8	1	1	1	6,58	37,92	63,81	74,39	74,44	-0,05	-0,07
9	-1,68	0	0	1,00	27,50	40,00	74,09	74,05	0,04	0,06
10	1,68	0	0	8,00	27,50	40,00	74,68	74,70	-0,02	-0,03
11	0	-1,68	0	4,50	10,00	40,00	74,46	74,36	0,10	0,13
12	0	1,68	0	4,50	45,00	40,00	73,93	73,96	-0,03	-0,04
13	0	0	-1,68	4,50	27,50	0,00	74,06	74,09	-0,03	-0,04
14	0	0	1,68	4,50	27,50	80,00	74,19	74,09	0,10	0,13
15	0	0	0	4,50	27,50	40,00	74,54	74,38	0,16	0,22
16	0	0	0	4,50	27,50	40,00	74,36	74,38	-0,02	-0,02
17	0	0	0	4,50	27,50	40,00	74,26	74,38	-0,12	-0,16

Tabela 86. Valores experimentais, previstos pelo modelo, desvios e desvios relativos da resposta atividade de água no primeiro dia de armazenamento.

ENSAIOS	CODIFICADA			NÃO CODIFICADA			Resposta Aw - Dia 1			
	Xilanase	Glicose oxidase	Ácido ascórbico	Xilanase	Glicose oxidase	Ácido ascórbico	Exp	Codif	Erro	Desvio relativo
1	-1	-1	-1	2,42	17,08	16,19	0,966	0,965	0,00	0,06
2	1	-1	-1	6,58	17,08	16,19	0,966	0,965	0,00	0,06
3	-1	1	-1	2,42	37,92	16,19	0,966	0,965	0,00	0,06
4	1	1	-1	6,58	37,92	16,19	0,965	0,965	0,00	-0,05
5	-1	-1	1	2,42	17,08	63,81	0,968	0,968	0,00	0,00
6	1	-1	1	6,58	17,08	63,81	0,968	0,968	0,00	0,00
7	-1	1	1	2,42	37,92	63,81	0,969	0,968	0,00	0,10
8	1	1	1	6,58	37,92	63,81	0,967	0,968	0,00	-0,10
9	-1,68	0	0	1,00	27,50	40,00	0,966	0,967	0,00	-0,19
10	1,68	0	0	8,00	27,50	40,00	0,968	0,967	0,00	0,02
11	0	-1,68	0	4,50	10,00	40,00	0,967	0,967	0,00	-0,03
12	0	1,68	0	4,50	45,00	40,00	0,969	0,967	0,00	0,17
13	0	0	-1,68	4,50	27,50	0,00	0,963	0,964	0,00	-0,06
14	0	0	1,68	4,50	27,50	80,00	0,968	0,968	0,00	0,02
15	0	0	0	4,50	27,50	40,00	0,967	0,967	0,00	-0,03
16	0	0	0	4,50	27,50	40,00	0,967	0,967	0,00	-0,03
17	0	0	0	4,50	27,50	40,00	0,967	0,967	0,00	-0,03

Tabela 87. Valores experimentais, previstos pelo modelo, desvios e desvios relativos da resposta atividade de água no sétimo dia de armazenamento.

ENSAIOS	CODIFICADA			NÃO CODIFICADA			Resposta Aw - Dia 7			
	Xilanase	Glicose oxidase	Ácido ascórbico	Xilanase	Glicose oxidase	Ácido ascórbico	Exp	Codif	Erro	Desvio relativo
1	-1	-1	-1	2,42	17,08	16,19	0,964	0,965	0,00	-0,07
2	1	-1	-1	6,58	17,08	16,19	0,966	0,965	0,00	0,14
3	-1	1	-1	2,42	37,92	16,19	0,964	0,965	0,00	-0,07
4	1	1	-1	6,58	37,92	16,19	0,965	0,965	0,00	0,03
5	-1	-1	1	2,42	17,08	63,81	0,970	0,969	0,00	0,15
6	1	-1	1	6,58	17,08	63,81	0,967	0,969	0,00	-0,16
7	-1	1	1	2,42	37,92	63,81	0,967	0,969	0,00	-0,16
8	1	1	1	6,58	37,92	63,81	0,970	0,969	0,00	0,15
9	-1,68	0	0	1,00	27,50	40,00	0,967	0,967	0,00	0,01
10	1,68	0	0	8,00	27,50	40,00	0,964	0,967	0,00	-0,27
11	0	-1,68	0	4,50	10,00	40,00	0,966	0,967	0,00	-0,07
12	0	1,68	0	4,50	45,00	40,00	0,968	0,967	0,00	0,14
13	0	0	-1,68	4,50	27,50	0,00	0,964	0,963	0,00	0,07
14	0	0	1,68	4,50	27,50	80,00	0,971	0,970	0,00	0,11
15	0	0	0	4,50	27,50	40,00	0,966	0,967	0,00	-0,07
16	0	0	0	4,50	27,50	40,00	0,967	0,967	0,00	0,04
17	0	0	0	4,50	27,50	40,00	0,967	0,967	0,00	0,04

Tabela 88. Valores experimentais, previstos pelo modelo, desvios e desvios relativos da resposta umidade no sétimo dia de armazenamento.

ENSAIOS	CODIFICADA			NÃO CODIFICADA			Resposta Umidade - Dia 7			
	Xilanase	Glicose oxidase	Ácido ascórbico	Xilanase	Glicose oxidase	Ácido ascórbico	Exp	Codif	Erro	Desvio relativo
1	-1	-1	-1	2,42	17,08	16,19	41,81	41,63	0,18	0,43
2	1	-1	-1	6,58	17,08	16,19	41,89	41,71	0,18	0,44
3	-1	1	-1	2,42	37,92	16,19	41,89	42,02	-0,13	-0,32
4	1	1	-1	6,58	37,92	16,19	41,18	41,32	-0,14	-0,33
5	-1	-1	1	2,42	17,08	63,81	41,99	42,07	-0,08	-0,19
6	1	-1	1	6,58	17,08	63,81	42,13	42,14	-0,01	-0,03
7	-1	1	1	2,42	37,92	63,81	42,43	42,46	-0,03	-0,07
8	1	1	1	6,58	37,92	63,81	41,79	41,75	0,04	0,09
9	-1,68	0	0	1,00	27,50	40,00	42,08	42,15	-0,08	-0,18
10	1,68	0	0	8,00	27,50	40,00	41,46	41,62	-0,16	-0,38
11	0	-1,68	0	4,50	10,00	40,00	41,47	41,89	-0,42	-1,01
12	0	1,68	0	4,50	45,00	40,00	42,36	41,89	0,47	1,11
13	0	0	-1,68	4,50	27,50	0,00	41,61	41,52	0,09	0,21
14	0	0	1,68	4,50	27,50	80,00	42,45	42,26	0,19	0,46
15	0	0	0	4,50	27,50	40,00	41,85	41,89	-0,04	-0,09
16	0	0	0	4,50	27,50	40,00	41,88	41,89	-0,01	-0,02
17	0	0	0	4,50	27,50	40,00	41,83	41,89	-0,06	-0,14

Tabela 89. Valores experimentais, previstos pelo modelo, desvios e desvios relativos da resposta umidade no décimo dia de armazenamento.

ENSAIOS	CODIFICADA			NÃO CODIFICADA			Resposta Umidade - Dia 10			
	Xilanase	Glicose oxidase	Ácido ascórbico	Xilanase	Glicose oxidase	Ácido ascórbico	Exp	Codif	Erro	Desvio relativo
1	-1	-1	-1	2,42	17,08	16,19	40,75	40,41	0,34	0,84
2	1	-1	-1	6,58	17,08	16,19	40,44	40,55	-0,11	-0,27
3	-1	1	-1	2,42	37,92	16,19	41,44	41,44	0,00	0,00
4	1	1	-1	6,58	37,92	16,19	40,20	40,35	-0,15	-0,36
5	-1	-1	1	2,42	17,08	63,81	40,35	40,65	-0,30	-0,75
6	1	-1	1	6,58	17,08	63,81	40,75	40,80	-0,05	-0,12
7	-1	1	1	2,42	37,92	63,81	41,65	41,69	-0,04	-0,09
8	1	1	1	6,58	37,92	63,81	40,50	40,59	-0,09	-0,23
9	-1,68	0	0	1,00	27,50	40,00	40,73	40,81	-0,09	-0,22
10	1,68	0	0	8,00	27,50	40,00	40,17	40,02	0,15	0,38
11	0	-1,68	0	4,50	10,00	40,00	40,66	40,64	0,02	0,05
12	0	1,68	0	4,50	45,00	40,00	41,45	41,33	0,12	0,28
13	0	0	-1,68	4,50	27,50	0,00	40,65	40,75	-0,10	-0,24
14	0	0	1,68	4,50	27,50	80,00	41,40	41,16	0,24	0,57
15	0	0	0	4,50	27,50	40,00	40,50	40,42	0,08	0,21
16	0	0	0	4,50	27,50	40,00	40,40	40,42	-0,02	-0,04
17	0	0	0	4,50	27,50	40,00	40,39	40,42	-0,03	-0,06

Tabela 90. Valores experimentais, previstos pelo modelo, desvios e desvios relativos da resposta força de compressão no primeiro dia de armazenamento.

ENSAIOS	CODIFICADA			NÃO CODIFICADA			Resposta Textura - Dia 1			
	Xilanase	Glicose oxidase	Ácido ascórbico	Xilanase	Glicose oxidase	Ácido ascórbico	Exp	Codif	Erro	Desvio relativo
1	-1	-1	-1	2,42	17,08	16,19	307,42	303,63	3,79	1,23
2	1	-1	-1	6,58	17,08	16,19	350,91	373,20	-22,29	-6,35
3	-1	1	-1	2,42	37,92	16,19	386,65	354,65	32,00	8,28
4	1	1	-1	6,58	37,92	16,19	456,38	424,22	32,16	7,05
5	-1	-1	1	2,42	17,08	63,81	352,31	366,21	-13,90	-3,95
6	1	-1	1	6,58	17,08	63,81	260,88	296,64	-35,76	-13,71
7	-1	1	1	2,42	37,92	63,81	333,72	315,19	18,53	5,55
8	1	1	1	6,58	37,92	63,81	260,10	245,63	14,47	5,56
9	-1,68	0	0	1,00	27,50	40,00	368,87	334,92	33,95	9,20
10	1,68	0	0	8,00	27,50	40,00	334,82	334,92	-0,11	-0,03
11	0	-1,68	0	4,50	10,00	40,00	333,60	334,92	-1,32	-0,40
12	0	1,68	0	4,50	45,00	40,00	322,40	334,92	-12,52	-3,88
13	0	0	-1,68	4,50	27,50	0,00	341,10	383,65	-42,55	-12,47
14	0	0	1,68	4,50	27,50	80,00	280,74	286,20	-5,46	-1,94
15	0	0	0	4,50	27,50	40,00	354,39	334,92	19,47	5,49
16	0	0	0	4,50	27,50	40,00	324,20	334,92	-10,72	-3,31
17	0	0	0	4,50	27,50	40,00	325,19	334,92	-9,73	-2,99

Tabela 91. Valores experimentais, previstos pelo modelo, desvios e desvios relativos da resposta força de compressão no quarto dia de armazenamento.

ENSAIOS	CODIFICADA			NÃO CODIFICADA			Resposta Textura - Dia 4			
	Xilanase	Glicose oxidase	Ácido ascórbico	Xilanase	Glicose oxidase	Ácido ascórbico	Exp	Codif	Erro	Desvio relativo
1	-1	-1	-1	2,42	17,08	16,19	440,04	453,80	-13,75	-3,13
2	1	-1	-1	6,58	17,08	16,19	477,01	485,15	-8,14	-1,71
3	-1	1	-1	2,42	37,92	16,19	522,07	515,59	6,48	1,24
4	1	1	-1	6,58	37,92	16,19	601,20	610,98	-9,78	-1,63
5	-1	-1	1	2,42	17,08	63,81	513,82	515,26	-1,44	-0,28
6	1	-1	1	6,58	17,08	63,81	402,17	419,87	-17,70	-4,40
7	-1	1	1	2,42	37,92	63,81	446,78	449,86	-3,08	-0,69
8	1	1	1	6,58	37,92	63,81	421,04	418,51	2,53	0,60
9	-1,68	0	0	1,00	27,50	40,00	599,18	560,94	38,25	6,38
10	1,68	0	0	8,00	27,50	40,00	538,59	560,94	-22,34	-4,15
11	0	-1,68	0	4,50	10,00	40,00	439,90	433,38	6,52	1,48
12	0	1,68	0	4,50	45,00	40,00	468,53	484,15	-15,62	-3,33
13	0	0	-1,68	4,50	27,50	0,00	491,38	481,79	9,59	1,95
14	0	0	1,68	4,50	27,50	80,00	378,05	371,74	6,31	1,67
15	0	0	0	4,50	27,50	40,00	477,74	458,77	18,97	3,97
16	0	0	0	4,50	27,50	40,00	448,43	458,77	-10,34	-2,30
17	0	0	0	4,50	27,50	40,00	472,31	458,77	13,54	2,87

Tabela 92. Valores experimentais, previstos pelo modelo, desvios e desvios relativos da resposta força de compressão no sétimo dia de armazenamento.

ENSAIOS	CODIFICADA			NÃO CODIFICADA			Resposta Textura - Dia 7			
	Xilanase	Glicose oxidase	Ácido ascórbico	Xilanase	Glicose oxidase	Ácido ascórbico	Exp	Codif	Erro	Desvio relativo
1	-1	-1	-1	2,42	17,08	16,19	558,03	579,44	-21,41	-3,84
2	1	-1	-1	6,58	17,08	16,19	606,86	620,76	-13,90	-2,29
3	-1	1	-1	2,42	37,92	16,19	605,73	597,48	8,26	1,36
4	1	1	-1	6,58	37,92	16,19	711,13	730,92	-19,79	-2,78
5	-1	-1	1	2,42	17,08	63,81	700,54	685,15	15,39	2,20
6	1	-1	1	6,58	17,08	63,81	539,04	551,70	-12,66	-2,35
7	-1	1	1	2,42	37,92	63,81	584,49	574,99	9,50	1,63
8	1	1	1	6,58	37,92	63,81	550,67	533,66	17,01	3,09
9	-1,68	0	0	1,00	27,50	40,00	704,26	663,74	40,52	5,75
10	1,68	0	0	8,00	27,50	40,00	629,46	663,74	-34,28	-5,45
11	0	-1,68	0	4,50	10,00	40,00	576,91	579,37	-2,46	-0,43
12	0	1,68	0	4,50	45,00	40,00	595,38	579,37	16,01	2,69
13	0	0	-1,68	4,50	27,50	0,00	623,97	617,82	6,15	0,99
14	0	0	1,68	4,50	27,50	80,00	501,78	540,92	-39,14	-7,80
15	0	0	0	4,50	27,50	40,00	598,42	579,37	19,05	3,18
16	0	0	0	4,50	27,50	40,00	543,32	579,37	-36,05	-6,64
17	0	0	0	4,50	27,50	40,00	627,20	579,37	47,83	7,63

Tabela 93. Valores experimentais, previstos pelo modelo, desvios e desvios relativos da resposta força de compressão no décimo dia de armazenamento.

ENSAIOS	CODIFICADA			NÃO CODIFICADA			Resposta Textura - Dia 10			
	Xilanase	Glicose oxidase	Ácido ascórbico	Xilanase	Glicose oxidase	Ácido ascórbico	Exp	Codif	Erro	Desvio relativo
1	-1	-1	-1	2,42	17,08	16,19	707,47	740,71	-33,24	-4,70
2	1	-1	-1	6,58	17,08	16,19	770,92	772,67	-1,75	-0,23
3	-1	1	-1	2,42	37,92	16,19	730,34	676,61	53,73	7,36
4	1	1	-1	6,58	37,92	16,19	835,51	836,78	-1,27	-0,15
5	-1	-1	1	2,42	17,08	63,81	825,21	792,17	33,04	4,00
6	1	-1	1	6,58	17,08	63,81	610,03	631,99	-21,96	-3,60
7	-1	1	1	2,42	37,92	63,81	719,64	728,06	-8,42	-1,17
8	1	1	1	6,58	37,92	63,81	719,17	696,10	23,07	3,21
9	-1,68	0	0	1,00	27,50	40,00	858,44	826,05	32,39	3,77
10	1,68	0	0	8,00	27,50	40,00	778,36	826,05	-47,69	-6,13
11	0	-1,68	0	4,50	10,00	40,00	673,97	684,09	-10,12	-1,50
12	0	1,68	0	4,50	45,00	40,00	674,28	684,09	-9,81	-1,45
13	0	0	-1,68	4,50	27,50	0,00	745,76	721,56	24,20	3,24
14	0	0	1,68	4,50	27,50	80,00	665,88	646,61	19,27	2,89
15	0	0	0	4,50	27,50	40,00	722,53	684,09	38,44	5,32
16	0	0	0	4,50	27,50	40,00	630,86	684,09	-53,23	-8,44
17	0	0	0	4,50	27,50	40,00	646,10	684,09	-37,99	-5,88

