



UNICAMP

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

Efeito de diferentes fontes de fibras brancas na qualidade de pão de forma

PATRICIA MELLO GARRIDO ISHIDA

**CAMPINAS
2012**



UNICAMP

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

Efeito de diferentes fontes de fibras brancas na qualidade de pão de forma

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

PATRICIA MELLO GARRIDO ISHIDA

Engenheira de Alimentos

Profa. Dra. Caroline Joy Steel

Orientadora

Este exemplar corresponde à versão final da dissertação defendida por
PATRICIA MELLO GARRIDO ISHIDA, aprovada pela comissão julgadora em
___/___/___ e orientada pela Profa. Dra. Caroline Joy Steel.

Assinatura do Orientador

CAMPINAS

2012

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA POR
LUCIANA P. MILLA – CRB8/8129- BIBLIOTECA DA FACULDADE DE
ENGENHARIA DE ALIMENTOS – UNICAMP

Is3e Ishida, Patricia Mello Garrido, 1976-
Efeito de diferentes fontes de fibras brancas na
qualidade de pão de forma / Patricia Mello Garrido Ishida.
-- Campinas, SP: [s.n], 2012.

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

1. Pão. 2. Análise sensorial . 3. Fibra de trigo. 4.
Fibra de aveia. 5. Goma acácia. I. Steel, Caroline Joy.
II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de
Engenharia de Alimentos. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em inglês: Effects of different sources of white fibers in bread

Palavras-chave em inglês (Keywords):

Bread

Sensory analysis

Wheat fiber

Oat fiber

Acacia gum

Área de concentração: Tecnologia de Alimentos

Titulação: Mestra em Tecnologia de Alimentos

Banca examinadora:

Caroline Joy Steel [Orientador]

Eveline Lopes Almeida

Myriam de las Mercedes Salas-Mellado

Elizabeth Harumi Nabeshima

Yoon Kil Chang

Data da defesa: 04/09/12

Programa de Pós Graduação: Tecnologia de Alimentos

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Caroline Joy Steel
Universidade Estadual de Campinas - Unicamp
(Orientadora)

Profa. Dra. Eveline Lopes Almeida
Universidade Estadual de Campinas - Unicamp
(Membro)

Profa. Dra. Myriam de las Mercedes Salas-Mellado
Universidade Federal do Rio Grande - FURG
(Membro)

Profa. Dra. Elizabeth Harumi Nabeshima
Instituto de Tecnologia de Alimentos - ITAL
(Suplente)

Prof. Dr. Yoon Kil Chang
Universidade Estadual de Campinas - Unicamp
(Suplente)

Campinas, _____ de _____ de 2012.

Dedicatória

Ao meu esposo André,
aos meus filhos Bruna (*in memoriam*)
e Paulo, meus pais Celso e Lucia e
meu irmão Celso Junior.

Agradecimentos

A Deus em primeiro lugar pelo sustento a cada dia e pelo amor.

À minha família pelo carinho e incentivo.

À professora Caroline pela orientação deste trabalho, amizade e confiança.

Aos membros da banca examinadora: Eveline, Myriam, Elizabeth e Yoon pelo auxílio e atenção no decorrer deste trabalho.

Ao Departamento de Tecnologia de Alimentos – FEA pela oportunidade de estudo, e aos amigos deste departamento: funcionários, professores e alunos.

Ao CNPq pela bolsa de estudos.

À Bunge pela doação da farinha de trigo.

À Clariant pela doação das fibras de trigo e aveia.

À CNI pela doação da goma acácia.

Ao professor Yoon pelo incentivo e orientação.

Aos funcionários e amigos da Padaria da FEA: Nilo, Luciano, Edna, Simone e Lucilene pela grande ajuda e incentivo.

À Izilda pelo carinho, ajuda e atenção.

À técnica Alessandra pela ajuda, amizade, ajuda com análises e sensorial.

Aos alunos, estagiários e bolsistas do Laboratório de Cereais e que ajudaram com as análises sensoriais: Simone, André, Leandra, Juliana, Cinthia, Ludmila e Edna.

À Simone pela amizade, ajuda, incentivo e tantos quebra-galhos.

Ao Marcio e a Leandra pela ajuda com a análise de fibras e tantas outras ajudas.

Ao André, pela ajuda com a farinha de trigo e tantos outros problemas.

À Maria Gabriela pela orientação nas análises de índice glicêmico e microscopia.

À Eveline pela ajuda com Análise dos Componentes Principais.

À Raquel e à Ingrid com a ajuda nas análises

À técnica Joice pelo carinho no uso do Laboratório de Frutas-DEA

À professora Helena Boline pela orientação com a análise sensorial.

Ao professor Pedro Felício pelo incentivo e oportunidade.

À Elizabeth – ITAL pela orientação e ajuda com metodologia.

À técnica Ana Koon com ajuda e uso do Laboratório de Frutas-DTA.

À técnica Renata pela amizade, orientação com análises de textura e cor e pelo uso do Laboratório de Instrumentação-DTA

Ao técnico José Roberto – Laboratório de Carnes pela amizade e ajuda com livros durante a preparação para a prova do mestrado.

Resumo Geral

O uso de fibras brancas se mostra como uma alternativa de enriquecimento de fibras ao pão diminuindo os efeitos sensoriais negativos das fibras comuns, como coloração mais escura em relação aos pães sem fibras. Dentre as fibras brancas disponíveis temos as fibra de trigo-TR e aveia-AV (insolúveis) e a goma acácia-GA (solúvel). O objetivo deste trabalho foi verificar os efeitos de fibras brancas aplicadas em pães de forma, avaliando possíveis alterações na qualidade tecnológica e a aceitação sensorial dos pães. Este trabalho foi dividido em duas etapas: 1 - Estudo das características físico-químicas e sensoriais de pães de forma comerciais (brancos e integrais) do mercado brasileiro e; 2 - Estudo do efeito de fibras brancas na qualidade de pão de forma. Na Etapa 1, foram adquiridas 12 amostras de pães brancos e integrais consumidos no Brasil. Foram obtidos volumes específicos entre 3,88 e 5,37 mL/g para pães brancos e integrais. Os miolos no primeiro dia apresentaram: umidade 37,03 e 41,23%, a_w 0,954 e 0,966, firmeza 267,8 e 276,3 gf; e média de cor: L^* 74,73 e 64,45, a^* 0,37 e 3,85 e b^* 15,51 e 18,98 para pães brancos e integrais respectivamente. No período analisado, todos mostraram aumento da firmeza, diminuição de umidade e a_w e a cor praticamente não foi alterada. Na análise sensorial (6 pães $n=121$), 67,8% eram mulheres e 72,7% consumiam pão de forma de 2 a 7 vezes semanalmente. Os três fatores mais importantes no ato da compra foram sabor (19,6%), maciez (16,8%) e validade (14,3%). 67,8% disseram preferir pão com fibras, 82,6% disseram que provavelmente ou certamente comprariam um pão branco com fibras. No teste de aceitação, apenas em relação à textura os pães brancos foram mais aceitos do que os integrais. O Mapa de Preferência Interno mostrou que um pão branco foi o mais aceito. Na Etapa 2, foram produzidos pães, utilizando um planejamento completo central 2^3 , tendo como variáveis independentes TR (0 a 10%), AV (0 a 10%) e GA (0 a 5%). Foram obtidos volumes específicos de 3,30-4,97 mL/g para os ensaios e 5,00 mL/g para o controle (FC). Os miolos no primeiro dia apresentaram: umidade 36,98-42,58%, a_w 0,948-0,965, firmeza 193,9-404,4 gf e para FC: 37,53%, 0,954, 227,5 gf. A cor dos miolos no primeiro dia foi de: L^* 73,46-78,08, a^* 0,36-1,10 e b^* 15,95-18,93 e FC: L^* 79,08, a^* 0,35,

b* 14,90. O valor de ΔE variou de 1,69 a 6,62 neste dia. As fibras de trigo e aveia aumentaram: absorvência (Abs) e tempos de chegada (TC), desenvolvimento (TD) e saída (TS), umidade, a_w e firmeza e; diminuíram a extensibilidade (E). A goma acácia aumentou E, diminuiu Abs, TC, TD, TS. As três fibras diminuíram o volume específico e L^* e aumentaram a^* e b^* . As três formulações da validação dos modelos foram: FF (2,5% GA); FR1 (6% AV e 2,5% GA) e FR2 (2% TR, 4% AV e 2,5% GA). Abs, umidade, a_w , L^* e b^* apresentaram alta correlação entre valores preditos e experimentais. No teste de aceitação (n=121) não foram encontradas diferenças significativas para aparência, aroma, sabor, textura e impressão global. FR2 apresentou a maior redução nos índices de hidrólise (-24,9%) e glicêmico (-14,4%), 6,7% de fibras totais e boa aceitação pelos consumidores.

Palavras-chave: pão de forma, qualidade tecnológica, análise sensorial, fibra de trigo, fibra de aveia, goma acácia.

Abstract

The use of white fibers is shown as an alternative enrichment fiber bread minimize their negative sensory fibers common as darker compared to bread without fiber. Among the white fibers available have the fiber wheat-TR and oats-AV (insoluble) and gum acacia-GA (soluble). The objective of this study was to assess the effects of white fibers applied to pan bread, assessing possible changes in the technological quality and sensory acceptance of the loaves. This work was divided into two steps: 1 - Study the physical-chemical characteristics and sensory analysis of commercial pan bread (white and whole grain) and; 2 - Study the effect of white fibers on the quality of bread. In Step 1, 12 samples were acquired white and whole breads consumed in Brazil. Specific volumes were obtained between 3.88 and 5.37 mL/g for white and whole grain breads. The breads were on the first day: moisture 37.03 and 41.23%, a_w 0.954 and 0.966, firmness 267.8 and 276.3 gf and color average: L^* 74.73 and 64.45, a^* 0.37 and 3.85 and b^* 15.51 and 18.98 for white bread and whole bread respectively. In the period analyzed, all showed increased strength, reduced moisture and a_w and the color was practically not changed. In the sensory analysis (6 breads, $n = 121$), 67.8% were women and 72.7% ate bread 2-7 times a week. The three most important factors in the purchase were flavor (19.6%), tenderness (16.8%) and validity (14.3%). 67.8% said they preferred bread with fiber, 82.6% said they probably or definitely buy a white bread with fiber. In acceptance testing, only in relation to the texture white breads were more acceptable than the whole. The internal preference mapping showed that a white bread was more accepted. In Step 2, buns were produced using a central composite 2^3 , having as independent variables TR (0-10%), AV (0-10%) and GA (0-5%). We obtained specific volumes from 3.30 to 4.97 mL/g for the trials and 5.00 mL/g for the control (FC). The breads were on the first day: moisture 36.98-42.58%, a_w 0.948-0.965, firmness 193.9-404.4 gf and FC: 37.53%, 0.954, 227.5 gf. The color of the breads on the first day was: L^* 73.46-78.08, a^* 0.36-1.10 and b^* 15.95-18.93 and FC: L^* 79.08, a^* 0.35, b^* 14.90. The value of ΔE ranged from 1.69 to 6.62 on this day. The wheat and oat fibers have increased: Absorbance (Abs), arrival (TC), development (TD), output (TS) times, moisture,

firmness and a_w , and decreased extensibility (E). Acacia gum increased E and decreased Abs, TC, TD, TS. The three fibers decreased the specific volume and L^* and increased a^* and b^* . The three formulations of the validation of the models were: FF (GA 2.5%), FR1 (AV 6% and GA 2.5%) and FR2 (TR 2%, AV 4% and GA 2.5%). Abs, moisture, a_w , L^* and b^* values showed a high correlation between predicted and experimental values. In the acceptance test ($n = 121$) were not significant differences for appearance, aroma, flavor, texture and overall impression. FR2 showed the greatest reduction in hydrolysis index (-24.9%) and glycemic index (-14.4%), 6.7% of total fiber and good consumer acceptance.

Keywords: Bread, technological quality, sensory analysis, wheat fiber, oat fiber, acacia gum.

Lista de Tabelas

Tabela 1.1. Identificação, local de produção, lista de ingredientes, teor de fibras, validade e preço das amostras de pão de forma do mercado brasileiro	27
Tabela 1.2. Atividade de água – a_w dos pães comerciais nos Dias 1, 4, 7 e 10 após a compra.....	39
Tabela 1.3. Firmeza (gf) dos pães comerciais nos Dias 1, 4, 7 e 10 após a compra	41
Tabela 1.4. Médias do teste de aceitação dos pães de forma comerciais	49
Tabela 2.1. Formulação para a produção dos pães de forma	71
Tabela 2.2. Variáveis e níveis do planejamento experimental 2^3	71
Tabela 2.3. Matriz do planejamento experimental para a adição das diferentes fontes de fibra alimentar na formulação dos pães	72
Tabela 2.4. Composição centesimal, fibras alimentares, granulometria e cor das matérias primas	79
Tabela 2.5. Parâmetros farinográficos da farinha de trigo e das pré-misturas (farinha de trigo + fibras)	81
Tabela 2.6. Modelos codificados para os parâmetros farinográficos.....	82
Tabela 2.7. Parâmetros extensográficos da farinha de trigo e das pré-misturas (farinha de trigo + fibras)	88
Tabela 2.8. Modelos codificados para os parâmetros extensográficos	89
Tabela 2.9. Tempo de mistura rápida da massa (min) e perda de peso dos pães no forno (%).....	92
Tabela 2.10. Valores de volume específico, umidade e atividade de água dos pães armazenados nos Dias 1, 4, 7 e 10	94
Tabela 2.11. Modelos codificados para volume específico (mL/g) dos pães.....	95
Tabela 2.12. Modelos codificados para umidade (%) do miolo dos pães nos Dias 1, 4 e 7	96
Tabela 2.13. Modelos codificados para atividade de água do miolo dos pães nos Dias 1, 4, 7 e 10	100
Tabela 2.14. Firmeza (gf) do miolo dos pães armazenados nos Dias 1, 4, 7 e 10	103
Tabela 2.15. Modelo codificado para Firmeza do miolo dos pães no Dia 1	104
Tabela 2.16. Parâmetros de cor: L^* , a^* e b^* dos pães armazenados nos Dias 1, 4, 7 e 10	107
Tabela 2.17. Modelos codificados para o parâmetro de cor L^* dos pães armazenados no Dia 10	108

Tabela 2.18. Modelos codificados para o valor a^* dos pães armazenados no Dias 7 e 10	109
Tabela 2.19. Modelos codificados para o parâmetro de cor b^* dos pães armazenados nos Dias 4 e 7	111
Tabela 2.20. Diferença de cor – ΔE dos pães armazenados nos Dias 1, 4, 7 e 10	113
Tabela 2.21. Modelos codificados para ΔE dos pães armazenados no Dia 4 ...	114
Tabela 2.22. Concentração de fibras para as formulações dos pães.....	117
Tabela 2.23. Parâmetros farinográficos da farinha de trigo e das pré-misturas de FF, FR1, FR2 e FC.....	119
Tabela 2.24. Parâmetros extensográficos da farinha de trigo e das pré-misturas de FF, FR1, FR2 e FC.....	119
Tabela 2.25. Volume específico (mL/g) dos pães das formulações FF, FR1, FR2 e FC	120
Tabela 2.26. Umidade (%) dos pães das formulações FF, FR1, FR2 e FC armazenados nos Dias 1, 4, 7 e 10	122
Tabela 2.27. Índice de hidrólise e índice glicêmico dos pães das formulações FF, FR1, FR2 e FC	127
Tabela 2.28. Fibra alimentar solúvel, insolúvel e total dos pães das formulações FF, FR1, FR2 e FC.....	131
Tabela 2.29. Composição centesimal dos pães das formulações FF, FR1, FR2 e FC	131
Tabela 2.30. Médias do teste de aceitação dos pães das formulações FF, FR1, FR2, F13, F15 e FC	133
Tabela 2.31. Resultados médios das análises de FR2 e dos pães comerciais	138

Lista de Figuras

Figura 1.1. Pesquisa de frequência de consumo e preferência do consumidor de pão de forma	30
Figura 1.2. Ficha do teste de aceitação e de intenção de compra para as amostras de pão de forma	31
Figura 1.3. Frequência de aparecimento dos emulsificantes (%) nos pães comerciais	33
Figura 1.4. Frequência de aparecimento das fontes de fibras (%) nos pães comerciais	34
Figura 1.5. Volume específico dos pães comerciais (mL/g)	36
Figura 1.6. Umidade dos pães comerciais (%) nos Dias 1, 4, 7 e 10 após a compra	38
Figura 1.7. Parâmetro de cor L^* dos pães comerciais nos Dias 1, 4, 7 e 10 após a compra	42
Figura 1.8. Parâmetro de cor a^* dos pães comerciais nos Dias 1, 4, 7 e 10 após a compra	43
Figura 1.9. Parâmetro de cor b^* dos pães comerciais nos Dias 1, 4, 7 e 10 após a compra	44
Figura 1.10. Amostras de (a) pães brancos (BR1 a BR7) e (b) integrais (IN1 a IN5)	45
Figura 1.11. Distribuição por faixa etária dos consumidores de pão de forma comerciais (%).....	46
Figura 1.12. Frequência de consumo de pão de forma (%) de “raramente” a “todos os dias”	46
Figura 1.13. Importância de 10 fatores no ato da compra de pão de forma (%)	47
Figura 1.14. Intenção de compra (%) de um pão branco com fibras de “certamente não compraria” a “certamente compraria”	48
Figura 1.15. Mapa de Preferência Interno para as amostras de pão de forma comerciais em relação à impressão global.....	50
Figura 1.16. Intenção de compra (%) das amostras de pão de forma comerciais	51
Figura 2.1. Fontes de fibra branca: Fibra de trigo, fibras de aveia e goma acácia	78
Figura 2.2. Superfícies de resposta da análise farinográfica: Abs, TC, TD e TS	85
Figura 2.3. Superfícies de resposta da análise extensográfica: D - 45min, E (45, 90 e 135 min)	90
Figura 2.4. Imagem do ponto ótimo da massa	91
Figura 2.5. Superfícies de resposta do volume específico (mL/g).....	95

Figura 2.6. Superfícies de resposta da umidade (%) do miolo dos pães armazenados nos Dias 1, 4 e 7.....	97
Figura 2.7. Perda de umidade (%) do miolo dos pães armazenados nos Dias 4, 7 e 10 em relação ao Dia 1	98
Figura 2.8. Superfícies de resposta da Atividade de água - a_w	101
Figura 2.9. Atividade de água - a_w x umidade (%) do miolo dos pães armazenados nos Dias 1, 4, 7 e 10	102
Figura 2.10. Superfícies de resposta da Firmeza (gf)	105
Figura 2.11. Aumento de firmeza (%) do miolo dos pães nos Dias 4, 7 e 10 em relação ao Dia 1	105
Figura 2.12. Representação gráfica de $L^*a^*b^*$	106
Figura 2.13. Superfícies de resposta do parâmetro de cor L^*	108
Figura 2.14. Superfícies de resposta do parâmetro de cor a^*	110
Figura 2.15. Superfícies de resposta do parâmetro de cor b^* dos pães armazenados nos Dias 4 e 7.....	112
Figura 2.16. Superfícies de resposta de ΔE dos pães armazenados no Dia 4...114	
Figura 2.17. Fatias dos pães da formulação controle (FC) e dos ensaios (F1 a F18) do planejamento.....	115
Figura 2.18. Análise da desejabilidade para o máximo volume do pão e mínima firmeza do miolo	116
Figura 2.19. Imagens digitalizadas dos pães das formulações FF, FR1, FR2 e FC	121
Figura 2.20. Atividade de água dos pães das formulações FF, FR1, FR2 e FC armazenados nos Dias 1, 4, 7 e 10	123
Figura 2.21. Firmeza (gf) dos pães das formulações FF, FR1, FR2 e FC armazenados nos Dias 1, 4, 7 e 10	124
Figura 2.22. Parâmetros de cor: L^* , a^* , b^* e ΔE dos pães das formulações FF, FR1, FR2 e FC armazenados nos Dias 1, 4, 7 e 10.....	125
Figura 2.23. Hidrólise do amido (%) x tempo (min) dos pães das formulações FF, FR1, FR2 e FC	127
Figura 2.24. Imagens microscópicas da formulação controle e da farinha de trigo	128
Figura 2.25. Distribuição por faixa etária dos consumidores de pão de forma (%)	132
Figura 2.26. Firmeza (gf) x textura sensorial dos pães das formulações FF, FR1, FR2, F13, F15 e FC	134

Figura 2.27. Mapa de Preferência Interno para as amostras de pão de forma em relação à impressão global.....	135
Figura 2.28. Intenção de compra (%) das amostras de pão de forma.....	136

Sumário

Introdução Geral.....	1
Revisão bibliográfica	3
1. Pão	3
2. Fibras alimentares	5
2.1. Fibra de trigo.....	6
2.2. Fibra de aveia	8
2.3. Goma acácia.....	8
3. Índice glicêmico	10
4. Análise sensorial.....	11
Referências bibliográficas.....	13
Capítulo 1. Estudo das características físico-químicas e análise sensorial de pães de forma do mercado brasileiro.....	21
Resumo	21
Abstract.....	22
1.1. Introdução.....	23
1.2. Material e métodos	25
1.2.1. Pães de forma.....	25
1.2.2. Avaliação das propriedades físicas dos pães de forma	28
1.2.3. Avaliação sensorial dos pães de forma	28
1.2.4. Análise dos resultados.....	32
1.3. Resultados e Discussão	32
1.3.1. Ingredientes e aditivos listados nos rótulos dos pães.....	32
1.3.2. Análises físico-químicas dos pães	35
1.3.2.1. Volume específico.....	35
1.3.2.2. Umidade	36
1.3.2.3. Atividade de água	39
1.3.2.4. Firmeza instrumental	39
1.3.2.5. Cor L*a*b*	41
1.3.3. Análise sensorial dos pães	45
1.3.3.1. Frequência de consumo e preferências.....	45
1.3.3.2. Teste afetivo	48

1.3.3.3. Intenção de compra	51
1.4. Conclusões	52
1.5. Referências Bibliograficas	55
Capítulo 2. Efeito de diferentes fontes de fibras brancas (fibra de trigo, fibra de aveia e goma acácia) na qualidade tecnológica, sensorial e nutricional de pão de forma	63
Resumo	63
Abstract.....	65
2.1. Introdução	67
2.2. Material e Métodos	68
2.2.1. Matérias-primas	68
2.2.2. Caracterização das matérias-primas	69
2.2.2.1. Farinha de trigo.....	69
2.2.2.2. Fontes de fibras brancas	69
2.2.2.3. Avaliação das pré-misturas.....	70
2.2.3. Elaboração e avaliação dos pães de forma com adição de fibras.....	70
2.2.3.1. Elaboração dos pães de forma	70
2.2.3.2. Avaliação do processo de fabricação	73
2.2.3.3. Avaliação dos pães de forma.....	73
2.2.3.4. Escolha das formulações de interesse	74
2.2.3.5. Validação	74
2.2.3.6. Índice glicêmico <i>in vitro</i>	75
2.2.3.7. Composição centesimal e fibra alimentar	75
2.2.3.8. Análise sensorial – teste de aceitação	75
2.2.3.9. Análise dos resultados.....	75
2.3. Resultados e Discussão	77
2.3.1. Caracterização das matérias-primas	77
2.3.1.1. Análises físico-químicas	77
2.3.1.2. Análises farinográficas.....	80
2.3.1.3. Análises extensográficas	86
2.3.2. Avaliação do processo de fabricação	91
2.3.3. Avaliação dos pães de forma com adição de fibras.....	93
2.3.3.1. Volume específico.....	93

2.3.3.2. Umidade	95
2.3.3.3. Atividade de água	99
2.3.3.4. Firmeza instrumental	102
2.3.3.5. Cor L*a*b* e ΔE	106
2.3.4. Escolha das formulações de interesse	115
2.3.5. Validação	118
2.3.6. Índice glicêmico <i>in vitro</i>	126
2.3.7. Composição centesimal e fibra alimentar	130
2.3.8. Análise sensorial – teste de aceitação	132
2.3.9. Comparação da formulação FR2 com os pães de mercado ..	137
2.4. Conclusões	139
2.5. Referências bibliográficas	141
ANEXOS	149
ANEXO A.1. Termo de Consentimento Livre e Esclarecido – pães de mercado	149
ANEXO A.2. Termo de Consentimento Livre e Esclarecido – pães com fibra de trigo, aveia e goma acácia	150
ANEXO A.3. Aprovação do projeto pelo Comitê de Ética – página 1	151
ANEXO A.4. Aprovação do projeto pelo Comitê de Ética – página 2	152
ANEXO B.1. Farinograma da farinha de trigo	153
ANEXO B.2. Farinogramas das pré-misturas dos ensaios F1 a F6	154
ANEXO B.3. Farinogramas das pré-misturas dos ensaios F7 a F12	155
ANEXO B.4. Farinogramas das pré-misturas dos ensaios F13 a F18	156
ANEXO B.5. Farinogramas da repetição da farinha de trigo (FC) e das pré-misturas do ponto ótimo (FF, FR1 e FR2)	157
ANEXO C.1. Extensograma da farinha de trigo em 45, 90 e 135 minutos	158
ANEXO C.2. Extensogramas das pré-misturas dos ensaios F1, F2 e F3 em 45, 90 e 135 minutos	159
ANEXO C.3. Extensogramas das pré-misturas dos ensaios F4, F5 e F6 em 45, 90 e 135 minutos	160
ANEXO C.4. Extensogramas das pré-misturas dos ensaios F7, F8 e F9 em 45, 90 e 135 minutos	161
ANEXO C.5. Extensogramas das pré-misturas dos ensaios F10, F11 e F12 em 45, 90 e 135 minutos	162

ANEXO C.6. Extensogramas das pré-misturas dos ensaios F13, F14 e F15 em 45, 90 e 135 minutos	163
ANEXO C.7. Extensogramas das pré-misturas dos ensaios F16, F17 e F18 em 45, 90 e 135 minutos	164
ANEXO C.8. Extensogramas da repetição da farinha de trigo em 45, 90 e 135 minutos	165
ANEXO C.9. Extensogramas das pré-misturas do ponto ótimo (FF, FR1 e FR2) em 45, 90 e 135 minutos	166
ANEXO D.1. Coeficientes de regressão e ANOVA para Abs (Absorção de água)	167
ANEXO D.2. Coeficientes de regressão e ANOVA para TC (Tempo de chegada)	167
ANEXO D.3. Coeficientes de regressão e ANOVA para TD (Tempo de desenvolvimento).....	168
ANEXO D.4. Coeficientes de regressão e ANOVA para TS (Tempo de saída)	168
ANEXO D.5. Coeficientes de regressão e ANOVA para TE (Tempo de estabilidade)	169
ANEXO D.6. Coeficientes de regressão e ANOVA para ITM (Índice de tolerância à mistura)	169
ANEXO D.7. Parâmetros farinográficos experimentais, preditos pelo modelo, erros relativos e variáveis codificadas	170
ANEXO E.1. Coeficientes de regressão e ANOVA para R- 45 min (Resistência)	171
ANEXO E.2. Coeficientes de regressão e ANOVA para Rm - 45min (Resistência máxima)	171
ANEXO E.3. Coeficientes de regressão e ANOVA para D – 45 min (Número proporcional).....	172
ANEXO E.4. Coeficientes de regressão e ANOVA para E – 45 min (Extensibilidade)	172
ANEXO E.5. Coeficientes de regressão e ANOVA para E – 90 min (Extensibilidade)	173
ANEXO E.6. Coeficientes de regressão e ANOVA para E – 135 min (Extensibilidade)	173
ANEXO E.7. Parâmetros extensográficos experimentais, preditos pelo modelo, erros relativos e variáveis codificadas	174
ANEXO F.1. Coeficientes de regressão e ANOVA para Tempo de mistura rápida.....	175

ANEXO F.2. Coeficientes de regressão e ANOVA para Perda no forno	175
ANEXO G.1. Coeficientes de regressão e ANOVA para Volume específico ...	176
ANEXO G.2. Volume específico: valores experimentais, preditos pelo modelo, erros relativos e variáveis codificadas	177
ANEXO G.3. Coeficientes de regressão e ANOVA para Umidade – Dia 1	178
ANEXO G.4. Coeficientes de regressão e ANOVA para Umidade – Dia 4.....	178
ANEXO G.5. Coeficientes de regressão e ANOVA para Umidade – Dia 7.....	179
ANEXO G.6. Coeficientes de regressão e ANOVA para Umidade – Dia 10....	179
ANEXO G.7. Umidade: valores experimentais, preditos pelo modelo, erros relativos e variáveis codificadas	180
ANEXO G.8. Coeficientes de regressão e ANOVA para a_w - Dia 1	181
ANEXO G.9. Coeficientes de regressão e ANOVA para a_w – Dia 4	181
ANEXO G.10. Coeficientes de regressão e ANOVA para a_w – Dia 7	182
ANEXO G.11. Coeficientes de regressão e ANOVA para a_w – Dia 10	182
ANEXO G.12. a_w : valores experimentais, preditos pelo modelo, erros relativos e variáveis codificadas.....	183
ANEXO G.13. Coeficientes de regressão e ANOVA para Firmeza – Dia 1	184
ANEXO G.14. Coeficientes de regressão para Firmeza – Dia 4.....	184
ANEXO G.15. Coeficientes de regressão e ANOVA para Firmeza – Dia 7	184
ANEXO G.16. Coeficientes de regressão e ANOVA para Firmeza – Dia 10 ...	185
ANEXO G.17. Firmeza: valores experimentais, preditos pelo modelo, erros relativos e variáveis codificadas	186
ANEXO G.18. Coeficientes de regressão e ANOVA para valor L^* – Dia 1	187
ANEXO G.19. Coeficientes de regressão e ANOVA para valor L^* – Dia 4.....	187
ANEXO G.20. Coeficientes de regressão e ANOVA para valor L^* – Dia 7.....	188
ANEXO G.21. Coeficientes de regressão e ANOVA para valor L^* – Dia 10....	188
ANEXO G.22. L^* : valores experimentais, preditos pelo modelo, erros relativos e variáveis codificadas.....	189
ANEXO G.23. Coeficientes de regressão e ANOVA para valor a^* – Dia 1	190
ANEXO G.24. Coeficientes de regressão e ANOVA para valor a^* – Dia 4.....	190
ANEXO G.25. Coeficientes de regressão e ANOVA para valor a^* – Dia 7.....	191
ANEXO G.26. Coeficientes de regressão e ANOVA para valor a^* – Dia 10....	191
ANEXO G.27. a^* : valores experimentais, preditos pelo modelo, erros relativos e variáveis codificadas.....	192

ANEXO G.28. Coeficientes de regressão e ANOVA para valor b^* – Dia 1	193
ANEXO G.29. Coeficientes de regressão e ANOVA para valor b^* – Dia 4	193
ANEXO G.30. Coeficientes de regressão e ANOVA para valor b^* – Dia 7	194
ANEXO G.31. Coeficientes de regressão e ANOVA para valor b^* – Dia 10	194
ANEXO G.32. b^* : valores experimentais, preditos pelo modelo, erros relativos e variáveis codificadas.....	195
ANEXO G.33. Coeficientes de regressão e ANOVA para ΔE – Dia 1	196
ANEXO G.34. Coeficientes de regressão e ANOVA para ΔE – Dia 4	196
ANEXO G.35. Coeficientes de regressão e ANOVA para ΔE – Dia 7	197
ANEXO G.36. Coeficientes de regressão e ANOVA para ΔE – Dia 10	197
ANEXO G.37. ΔE : valores experimentais, preditos pelo modelo, erros relativos e variáveis codificadas.....	198
ANEXO H.1. Parâmetros farinográficos de FF, FR1, FR2 e FC experimentais, preditos pelo modelo, erros relativos e variáveis codificadas	199
ANEXO H.2. Parâmetros extensográficos de FF, FR1, FR2 e FC experimentais, preditos pelo modelo, erros relativos e variáveis codificadas	199
ANEXO I.1. Volume específico de FF, FR1, FR2 e FC: valores experimentais, preditos pelo modelo, erros relativos e variáveis codificadas	200
ANEXO I.2. Umidade de FF, FR1, FR2 e FC: valores experimentais, preditos pelo modelo, erros relativos e variáveis codificadas	201
ANEXO I.3. a_w de FF, FR1, FR2 e FC: valores experimentais, preditos pelo modelo, erros relativos e variáveis codificadas.....	201
ANEXO I.4. Firmeza de FF, FR1, FR2 e FC: valores experimentais, preditos pelo modelo, erros relativos e variáveis codificadas	202
ANEXO I.5. Valor L^* de FF, FR1, FR2 e FC: valores experimentais, preditos pelo modelo, erros relativos e variáveis codificadas	202
ANEXO I.6. Valor a^* de FF, FR1, FR2 e FC: valores experimentais, preditos pelo modelo, erros relativos e variáveis codificadas	203
ANEXO I.7. Valor b^* de FF, FR1, FR2 e FC: valores experimentais, preditos pelo modelo, erros relativos e variáveis codificadas	203
ANEXO I.8. ΔE de FF, FR1, FR2 e FC: valores experimentais, preditos pelo modelo, erros relativos e variáveis codificadas.....	204

Introdução Geral

O levantamento de dados sobre as características físico-químicas de pães de forma disponíveis no mercado brasileiro e as preferências dos consumidores deste tipo de produto é importante para o desenvolvimento de produtos que atendam as necessidades deste público. A adição de fibras ao pão se mostra como uma importante opção para o aumento da ingestão de fibras. O uso de fibras brancas pode ser uma alternativa para melhorar a aceitação do produto com fibras pelos consumidores. As fibras insolúveis de trigo e aveia não conferem sabor e cor ao produto e possuem um valor comercial considerado mais baixo em relação às outras fontes de fibras brancas, porém aumentam a firmeza do produto. A goma acácia, além de contribuir com o teor de fibras e não conferir sabor e cor, interfere pouco na firmeza do miolo e no volume do pão.

O presente trabalho teve por objetivo estudar os efeitos de fibras brancas aplicadas em pães de forma, avaliando possíveis alterações na qualidade tecnológica e a aceitação sensorial dos pães. O trabalho foi dividido na forma de Capítulos, conforme descrito a seguir:

Revisão bibliográfica. Apresenta uma revisão sobre o pão, mercado de consumo de pão, propriedades das fibras alimentares (fibra de trigo, fibra de aveia e goma acácia), índice glicêmico e análise sensorial.

Capítulo 1. Estudo das características físico-químicas e análise sensorial de pães de forma do mercado brasileiro. Foram avaliadas as características físico-químicas de 12 pães brancos e integrais de marcas comerciais vendidos no Brasil, e foi avaliada a aceitação sensorial de 6 pães brancos e integrais de marcas comerciais por 121 consumidores.

Capítulo 2. Efeito de diferentes fontes de fibras brancas (fibra de trigo, fibra de aveia e goma acácia) na qualidade tecnológica, sensorial e nutricional de pão de forma. Foram avaliadas as características físico-químicas de 18 formulações de pães com fibras brancas obtidas através da Metodologia de Superfície de Resposta. Também foi avaliado o índice glicêmico e a aceitação sensorial dos pães brancos por 121 consumidores.

Revisão bibliográfica

1. Pão

A definição de pão muda muito nas diferentes partes do mundo (SLUIMER, 2005). No Brasil representa os produtos obtidos da massa fermentada ou não, assada e elaborada com farinha de trigo e/ou outras farinhas, adicionada de um líquido e os pães podem conter outros ingredientes (BRASIL, 2005).

O pão é um dos alimentos mais consumidos pela humanidade (CAUVAIN & YOUNG, 1999) e é um veículo para a adição de fibras alimentares objetivando o aumento do consumo de fibras pelos consumidores (McCLEARY & PROSKY, 2001).

Os pães brancos, aqueles fabricados com farinha de trigo refinada, ainda são os mais consumidos. Atualmente, muitos consumidores têm buscado os pães integrais, ricos em fibras, que são produzidos a partir de farinha de trigo comum adicionada de farelo de trigo e/ou farinha de grão inteiro e/ou outros ingredientes que tornam o pão mais escuro como soja, linhaça, cenoura e centeio.

O mercado brasileiro de produtos de panificação está em crescimento. O consumo médio de pães no Brasil no ano de 2009 foi de 33 kg *per capita* e dentro deste volume, 5,3 kg *per capita* se referem a pães industrializados. Comparando os dados de 2010 em relação a 2009, o consumo *per capita* aumentou 2,2%, o volume de produção 4,7% e as vendas 5,8%. Houve um aumento de 45,6% no faturamento em pães industrializados nos últimos 5 anos. O segmento com maior expansão é o de pães especiais (integrais, com fibras, light e/ou outros ingredientes) devido à procura pelo consumidor de alimentos mais saudáveis (ABIMA, 2010 e 2011; ABIP, 2009).

Na determinação de qualidade do pão, parâmetros de textura e sensoriais são usados por consumidores para avaliar se o pão é fresco ou envelhecido (ANGIOLONI & COLLAR, 2009). Durante o armazenamento do pão, a firmeza do miolo aumenta significativamente, a crocância da casca diminui e o pão perde o odor característico, assumindo um aroma envelhecido. Essas mudanças são explicadas, em grande parte, pelo processo de retrogradação da amilopectina, que

é um dos dois polímeros que compõem o grânulo de amido (PURHAGEN *et al.*, 2011a; SLUIMER, 2005; CHINACHOTI & VODOVOTZ, 2001). Purhagen *et al.* (2011b) estudaram a relação entre envelhecimento do pão, retrogradação da amilopectina e alterações no teor de umidade do miolo e da crosta usando como estratégia de anti-envelhecimento a adição de ingredientes como α -amilase, lipase e monoglicérido. Eles encontraram retrogradação da amilopectina e diminuição do conteúdo de umidade em todos os casos estudados. Beck *et al.* (2012) citam que outros mecanismos têm sido propostos para explicar as alterações durante o envelhecimento do pão como interações amido-amido, glúten-glúten e amido-glúten. Chin *et al.* (2011) dizem que durante o envelhecimento associações moleculares causam interações físicas da amilopectina e cadeias de amilose, também ocorrem interações de amido e proteína e alterações na distribuição de umidade entre eles.

A firmeza pode ser descrita como a força necessária para comprimir o miolo do pão até a sua deformação e ela tem grande correlação com a dureza sensorial e é muito utilizada para determinar o envelhecimento do pão (CHINACHOTI & VODOVOTZ, 2001). Outro fator importante no aspecto da firmeza é a migração de água que é deslocada do grânulo de amido mudando a natureza da rede de glúten (GRAY & BEMILLER, 2003). Na estocagem, a umidade do miolo diminui devido a redistribuição da água entre miolo e casca em pães embalados, assim este é um fator importante para a qualidade (SLUIMER, 2005).

Alguns ingredientes são utilizados para melhorar a formação e a qualidade da massa, o processo e prolongar a vida de prateleira do pão, tais como açúcar, gordura, leite em pó, aditivos (agentes oxidantes e emulsificantes) e coadjuvantes (enzimas). Com relação a diminuir o processo de envelhecimento: o açúcar retarda a retrogradação do amido, a gordura retarda o endurecimento do miolo, os emulsificantes e o ácido ascórbico fortalecem a rede de glúten (SLUIMER, 2005). Há emulsificantes, como os monoglicéridos, que retardam o envelhecimento, pois formam complexos com o amido e promovem a maciez do miolo (GANDRA *et al.*, 2008). Algumas enzimas também são usadas para hidrolisar moléculas de

amilopectina, criando estruturas menores que reduzem a retrogradação ou cristalização reduzindo a taxa de envelhecimento (HEFLICH, 1996).

2. Fibras alimentares

A fibra alimentar compreende as partes comestíveis de plantas ou carboidratos análogos que o nosso intestino delgado é incapaz de digerir e absorver, e no intestino grosso é fermentada completa ou parcialmente (AACC, 2001; BRASIL, 2003b). No primeiro grupo de partes comestíveis de plantas temos a lignina, celulose, hemicelulose, pectinas, gomas, mucilagens e outros polissacarídeos. As substâncias semelhantes às fibras, os carboidratos análogos, são a inulina, fruto-oligossacarídeos (FOS), amidos resistentes e açúcares não absorvidos (ADA, 2008).

As fibras podem ser classificadas quanto à solubilidade de seus componentes em água, sendo divididas em solúveis e insolúveis. As fibras solúveis contribuem, na dieta humana, com a diminuição do colesterol e glicose no sangue. São exemplos de fibras solúveis a β -glucana, polidextrose, gomas e inulina. As insolúveis, como a lignina, celulose e hemicelulose, por sua vez, aumentam o bolo fecal, diminuindo o trânsito intestinal e a incidência de câncer de cólon (FENNEMA, 1985; WANG *et al.*, 2002; BORDERIAS *et al.*, 2005).

Além da composição química das fibras alimentares, as propriedades nutricionais relevantes para seu uso incluem o tamanho de partícula, características de superfície, propriedades reológicas, de hidratação e adsorção de moléculas orgânicas e minerais. A viscosidade e a capacidade de retenção de água contribuem para os efeitos metabólicos (como metabolismo de glicose e lipídios), enquanto que o tamanho de partícula, efeitos de espessamento e hidratação são fortemente relacionados com as funções no cólon (GUILLON & CHAMP, 2000).

A legislação brasileira recomenda o consumo diário de 25 g de fibras alimentares para uma dieta de 2.000 kcal (BRASIL, 2003b). Alimentos sólidos são considerados “fontes de fibras” quando fornecerem 3 g de fibra alimentar por 100

g de produto, e de “alto teor de fibras” quando contiverem 6 g de fibra por 100 g de produto (BRASIL, 1998).

A seguinte alegação pode ser usada nos rótulos de alimentos no mercado brasileiro: “As fibras alimentares auxiliam o funcionamento do intestino. Seu consumo deve estar associado a uma alimentação equilibrada e hábitos de vida saudáveis”, quando a porção do produto pronto para consumo fornecer no mínimo 3 g de fibras se o alimento for sólido. No caso de pão de forma, nosso objeto de estudo, a porção equivale a 50 g de produto (ANVISA, 2008; BRASIL, 2003a), o que corresponde a aproximadamente duas fatias.

A adição de fibras tem impactos sobre a qualidade tecnológica e sensorial dos pães, como redução no volume, aumento da firmeza do miolo, escurecimento da casca e alteração da aparência do produto. Esses fenômenos têm incentivado a condução de pesquisas a fim de minimizar os efeitos negativos da adição de fibras aos pães (WANG *et al.*, 2002; ALMEIDA, 2006; FILIPOVIC *et al.*, 2010).

O problema de alteração na cor dos pães com a adição de fibras, que pode levar a uma rejeição de alguns consumidores de pães com fibras, pode ser minimizado ou eliminado com a utilização de fibras brancas. São exemplos de fibras brancas: β -glucana (fibra solúvel de aveia), fibra insolúvel de aveia, fibra purificada de trigo (insolúvel), inulina, fruto-oligossacarídeos (FOS), polidextrose, gomas e amidos resistentes. Muitos autores já estudaram a adição de fibras aos pães, por exemplo, diversas gomas (MANDALA, 2005; ASGHAR *et al.*, 2006; SHARADANANT & KHAN, 2003), β -glucana (SULLIVAN *et al.*, 2010; SYMONS & BRENNN, 2004), fibra purificada de trigo (PARK *et al.*, 1997).

2.1. Fibra de trigo

O trigo e seus derivados há muito são reconhecidamente considerados fontes de calorias, contribuindo significativamente com quantidades de outros nutrientes, como vitaminas, minerais e fibras alimentares, na dieta humana (SIDHU *et al.*, 1999).

A fibra branca (purificada) de trigo extraída do caule da planta de trigo é considerada uma fonte de fibras insolúveis (teor de até 97% em base seca). Além

das vantagens nutricionais como: (i) o enriquecimento de fibras na dieta, a adição de fibra branca de trigo nas formulações de produtos alimentícios promove (ii) redução de gordura, (iii) redução de valor calórico, tem benefícios tecnológicos como: (i) a melhora da textura, (ii) o controle da migração de umidade e (iii) a redução da perda de peso dos produtos (JRS, 2010).

Feldheim & Wisker (2000), estudando os efeitos fisiológicos da adição de fibra de trigo branca em pães, concluíram que houve melhora da qualidade sensorial dos pães, houve melhora da atividade intestinal dos pacientes e os valores de glicose no plasma diminuíram nos diabéticos. Weickert *et al.* (2005) estudaram o impacto das dietas com fibras brancas de trigo, aveia e amido resistente aplicados em pão (13 g de fibras por porção de 50 g de carboidratos) em 14 mulheres saudáveis. Eles concluíram que o consumo de fibras refinadas insolúveis foi associado a uma redução significativa da resposta de glicose pós prandial no dia seguinte após a ingestão do pão enriquecido com as fibras. Os indivíduos tenderam a necessitar de menos insulina para digerir mais glicose 24 h após a ingestão das fibras.

Weickert *et al.* (2006) estudaram o efeito de dietas com pães enriquecidos com fibras brancas insolúveis de trigo e de aveia. Concluíram que a fibra de trigo diminuiu a quantidade de polipeptídeo YY e aumentou a porcentagem de grelina sérica, que são derivados de hormônios comumente usados como biomarcadores na regulação da saciedade. A fibra de aveia não alterou estes dois fatores, porém as duas não diferiram do controle em relação à sensação de saciedade. Os autores informaram que foram servidas porções de pão com 10,5 g de fibra de trigo ou 10,6 g de fibra de aveia.

Park *et al.* (1997) estudaram a adição em pães de fibra de trigo (98% de fibras insolúveis) com 5% e 10% de substituição base farinha. Observaram que a adição de fibras aumentou a absorção de água, o tempo de mistura das massas e houve redução do volume específico dos pães. Também encontraram pouca variação na cor do miolo dos pães, apenas houve redução de luminosidade.

2.2. Fibra de aveia

A fibra de aveia é extraída principalmente dos tecidos externos do grão de aveia (SILVA *et al.*, 2006). Rosell *et al.* (2009) estudaram as propriedades físico-químicas de várias fibras comerciais (maçã, trigo, aveia, bambu, gomas e outras). A fibra branca de aveia (93% de fibras insolúveis e 3% de fibras solúveis) e a fibra branca de trigo (94,5% de fibras insolúveis e 2,5% de fibras solúveis) foram as que apresentaram os maiores valores de hidratação e retenção de água.

De Angelis *et al.* (2007) estudaram a adição de lactobacilos e fibras (aveia, dextrana e beterraba) em pães e mediram a resposta glicêmica de 15 voluntários (homens e mulheres) saudáveis. A fibra de aveia apresentava 40% de fibras insolúveis e 49% de fibras solúveis. Eles analisaram um pão controle (farinha branca de trigo) e várias formulações com mistura 1:1 de farinha de trigo e farinha de grão inteiro e 8% de substituição (base farinha) das fibras. Observou-se a redução do índice de hidrólise (IH) e do índice glicêmico (IG) comparando com o pão de farinha de trigo (IH = 100%; IG = 72%) e a formulação com fibra de aveia (IH = 90,80%; IG = 53,7%). Também analisaram as características tecnológicas dos pães produzidos, e comparando o pão feito com a mistura de farinhas (branca de trigo e de grão inteiro) com a mistura adicionada de fibra de aveia, o último apresentou maior volume específico, melhor estrutura das células do miolo, melhor aroma e sabor acidulados.

Wojciechowicz & Gil (2009) estudaram a aplicação de fibras de maçã, aveia e cacau em pães e as propriedades das massas nas concentrações de 0,5 a 15%. Eles observaram que as misturas de farinha de trigo e fibra de aveia foram caracterizadas pelos maiores valores dos parâmetros farinográficos das pré-misturas (farinha+ fibra) exceto pelo menor nível de absorção de água em relação às outras fibras. O pão contendo fibra de aveia mostrou a melhor qualidade sensorial. A aceitação sensorial da textura foi melhor com 5 e 10% de fibras.

2.3. Goma acácia

A goma acácia, também conhecida como goma arábica, é um exsudado seco de troncos ou ramos de árvores de *Acacia senegal* ou *Acacia seyal*, que

crecem em diversas regiões da África. Consiste de um hidrocolóide formado por um complexo sistema polissacarídeo de alto peso molecular ($\sim 4 \times 10^5$) composto por D-galactose, L-arabinose, L-ramnose, ácido D-glucurônico e ácido 4-O-metilglucurônico (PHILLIPS *et al.*, 2008; ELKHALIFA *et al.*, 2007; MAKRI & DOXASTAKIS, 2006; WILLIAMS *et al.*, 1996).

Randall *et al.* (1989) fracionaram e caracterizaram a goma acácia (*Acacia senegal*) e encontraram três grandes espécies moleculares: uma arabinogalactana (88,4%), um complexo arabinogalactana-proteína (10,4%) e uma glicoproteína (1,2%).

A goma acácia é usada em alimentos como emulsificante/estabilizante, pelas propriedades do complexo arabinogalactana-proteína (ARAGP), devido à simultânea presença de resíduos hidrofílicos de açúcar e aminoácidos hidrofóbicos, que favorecem a sua adsorção na interface ar/água ou óleo/água (SANCHEZ *et al.*, 2002; NAKAUMA *et al.*, 2008). A grande flexibilidade da molécula de ARAGP permite ser facilmente deformada, favorecendo também as ligações nas interfaces. O caráter polianiónico e a estrutura altamente ramificada conferem à goma uma grande solubilidade a frio. A viscosidade das soluções de goma acácia também é baixa, quando comparada a outros polissacarídeos com massa molecular similar (SANCHEZ *et al.*, 2002).

Hidrocolóides têm sido utilizados para fins diversos como espessantes, estabilizantes de emulsões, na formação de filmes, formadores de gel, melhoradores de textura, controladores da mobilidade da água e, em geral, para melhorar e manter a qualidade dos alimentos. As funções tecnológicas dos hidrocolóides em panificação incluem o aumento do volume do pão, textura mais suave e retardo do envelhecimento. Eles também diminuem os danos físicos provocados pelos cristais de gelo em massas de pães congeladas e pães pré-assados e congelados (BÁRCENAS *et al.*, 2004). Goma acácia, que é um hidrocolóide, também é usada em produtos de panificação para melhorar a fermentação e para aumentar a retenção de água (ELKHALIFA *et al.*, 2007). As gomas atuam no nosso organismo como fibras solúveis, mas em geral, são

utilizadas em quantidades muito baixas devido ao aumento da viscosidade que promovem.

Sharadanant & Khan (2003) estudaram a aplicação de 0, 1, 2 e 3% de gomas hidrofílicas (goma arábica, carboximetilcelulose (CMC), kappa carragena, e goma locusta), em pães feitos a partir de massas congeladas. Eles analisaram os pães produzidos no dia zero até 16 semanas de estocagem congelada. A firmeza do pão diminuiu em todos os níveis quando comparado ao controle sem goma, para todas as gomas testadas. O volume específico aumentou com a adição de gomas, sendo que com 3% de goma obteve-se o maior volume. Entre as gomas analisadas, a goma arábica apresentou o segundo maior valor de volume específico, depois da goma locusta.

3. Índice glicêmico

O índice glicêmico (IG) é um parâmetro utilizado para classificar os alimentos contendo carboidratos de acordo com a resposta glicêmica que os mesmos promovem, em relação à resposta observada após o consumo de um alimento de referência (pão branco ou glicose) (GUTTIERRES & ALFENAS, 2007).

Bornet *et al.* (1997) descrevem o índice glicêmico como o meio pelo qual pode-se medir a força hiperglicêmica dos alimentos. O índice glicêmico é definido como a área formada abaixo da curva de resposta glicêmica após o consumo de 50 g de carboidratos de um alimento-teste, dividida pela área abaixo da curva de resposta glicêmica após o consumo do alimento de referência contendo o mesmo teor de carboidratos (BORNET *et al.*, 1997; MOYAD, 2005; GUTTIERRES & ALFENAS, 2007; WIDANAGAMAGE *et al.*, 2009).

O consumo de alimentos com alto índice glicêmico envolve o aumento da demanda do organismo por insulina, podendo induzir doenças como diabetes tipo 2, obesidade e doenças cardiovasculares (WIDANAGAMAGE *et al.*, 2009; MARANGONI & POLI, 2008).

A proporção entre os tipos de carboidratos (amilose ou amilopectina) ingeridos, o teor de fibras e os macronutrientes que compõem os alimentos da

refeição, o grau de processamento do grânulo de amido, o método e o tempo de cocção são alguns dos fatores passíveis de exercer influência sobre o IG. Assim, a interação entre todos estes fatores pode afetar drasticamente os valores do IG previstos para os alimentos ingeridos em determinadas refeições (GUTTIERRES & ALFENAS, 2007; WIDANAGAMAGE *et al.*, 2009).

Os alimentos podem ser classificados em três categorias de IG: alto índice glicêmico ($IG \geq 70$), médio ($56 > IG > 69$) e baixo ($IG \leq 55$) índice glicêmico (YUSOF *et al.*, 2009; WIDANAGAMAGE *et al.*, 2009). O pão branco é considerado um produto de alto índice glicêmico (BORNET *et al.*, 1997; MENEZES *et al.*, 2009). Porém, a adição de fibras reduz o índice glicêmico, devido à liberação lenta de carboidratos no trato gastrointestinal superior, diminuição da demanda de insulina e, pelo aumento da atividade fermentativa do cólon, que por sua vez, aumenta a síntese de ácido propiônico, o qual é considerado moderador do metabolismo de glicose e lipídios no fígado (DE ANGELIS *et al.*, 2007).

4. Análise sensorial

Os testes afetivos (com consumidores não treinados) têm por objetivo conhecer a opinião pessoal de um determinado grupo de consumidores, em relação a um ou mais produtos. Essa opinião pode ser dada com relação ao produto de forma global, ou com relação a apenas algumas características específicas do produto. Testes afetivos têm sido muito utilizados por fabricantes ou prestadores de serviços, e constituem-se em uma ferramenta fundamental e valiosa no desenvolvimento, otimização e garantia da qualidade dos produtos. Os julgadores são normalmente consumidores atuais ou potenciais do produto (TOLEDO, 2004; CHAVES, 1993).

Os testes afetivos são classificados em: teste de preferência e teste de aceitação. Estes últimos utilizam um grande número de consumidores (mínimo de 50) para responder perguntas relativas à preferência ou valor hedônico de um produto de um modo geral ou com relação a determinados atributos, e também para responder perguntas relativas a atributos sensoriais específicos (respostas afetivas: preferência ou valor hedônico; respostas de intensidade; respostas de

intensidade em relação à intensidade ideal) (MEILGAARD *et al.*, 1999). Os testes de aceitação procuram uma medida da disposição do consumidor em comprar e utilizar efetivamente o produto. Nesses testes, a preferência pode estar implícita (CHAVES, 1993).

A intenção de compra do consumidor depende de quanto o consumidor espera que o produto possa satisfazer a sua expectativa quanto ao seu uso (KUPIEC & REVELL, 2001). No processo de compra, a primeira interação entre consumidor e produto é simplesmente visual, ou seja, os atributos da embalagem podem atraí-lo ou não, resultando da tomada de decisão da compra do produto. Desta interação define-se a escolha e compra, mas são os atributos sensoriais e nutritivos que irão confirmar se a escolha foi acertada, podendo, portanto serem determinantes na repetição da compra (REIS, 2007).

Referências bibliográficas

- AACC, American Association of Cereal Chemists. The definition of dietary fiber. **Cereal Foods World**, v. 46, n. 3, p. 112-125, 2001.
- ABIMA, **Associação Brasileira das Indústrias de Massas alimentícias**. “Vendas de pão e bolo industrial aumentam em 2009” (abril/2010). Disponível em: < <http://www.abima.com.br> >. Acesso em 18 de maio de 2010.
- ABIMA, **Associação Brasileira das Indústrias de Massas alimentícias**. “Cresce o setor de pães industrializados” (maio/2011). Disponível em: < <http://www.abima.com.br> >. Acesso em 16 de dezembro de 2011.
- ABIP, **Associação Brasileira da Indústria de Panificação e Confeitaria**. “Perfil do setor de panificação e confeitaria” (fevereiro/2009). Disponível em: < <http://www.abip.org.br> >. Acesso em 05 de novembro de 2010.
- ADA, Position of the American Dietetic Association: Health implications of dietary fiber. **Journal of the American Dietetic Association**, v.108, n.10, October, 2008.
- ALMEIDA, E.L. **Efeito da adição de fibra alimentar sobre a qualidade de pão pré-assado congelado**. 2006. 370p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade de Campinas, Campinas, 2006.
- ANGIOLONI, A.; COLLAR, C. Gel, dough and fibre enriched fresh breads: Relationships between quality features and staling kinetics. **Journal of Food Engineering**, v. 91, p. 526-532, 2009.
- ANVISA, **Agência Nacional de Vigilância Sanitária**. “Alimentos com alegações de propriedades funcionais e de saúde, novos alimentos/ ingredientes, substâncias bioativas e probióticos” (julho/ 2008). Disponível em: < http://www.anvisa.gov.br/alimentos/comissoes/tecno_lista_alega.htm>. Acesso em: 05 de setembro de 2009.

- ASGHAR, A.; ANJUM, F.M.; BUTT, M.S.; HUSSAI, S. Shelf life and stability study of frozen dough bread by the use of different hydrophilic gums. **Handbook of Environmental Chemistry volume 5: Water pollution**, v. 2, n. 3, 2006.
- BÁRCENAS, M.E.; BENEDITO, C. ROSELL, C.M. Use of hydrocolloids as Bread improvers in interrupted baking process with frozen storage. **Food Hydrocolloids**, v. 18, p. 769-774, 2004.
- BECK, M.; JEKLE, M.; BECKER, T. Impact of sodium chloride on wheat flour dough for yeast-leavened products. II. Baking quality parameters and their relationship. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 92, n. 2, p. 299-306, 2012.
- BORDERIAS, A.J., SANCHEZ-ALONSO, I. PEREZ-MATEOS, M. New applications of fibres in foods: Addition to fishery products. **Food Science & Technology**, v.16, n. 4, p. 458-465, 2005.
- BORNET, F.R.J; BILLAUX, M.S.; MESSING, B. Glycaemic index concept and metabolic diseases. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 21, p. 207-219, 1997.
- BRASIL, Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria SVS/MS nº 27, de 13 de janeiro de 1998. **Regulamento Técnico referente à Informação Nutricional Complementar**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 jan 1998. Disponível em: < <http://e-legis.anvisa.gov.br> >. Acesso em: 05 de setembro de 2009.
- BRASIL, Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC ANVISA/MS nº 359, de 23 de dezembro de 2003. **Regulamento técnico de porções de alimentos embalados para fins de rotulagem nutricional**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 26 dez. 2003a. Disponível em: < <http://e-legis.anvisa.gov.br> >. Acesso em: 05 de setembro de 2009.

- BRASIL, Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC ANVISA/MS nº 360, de 23 de dezembro de 2003. **Regulamento técnico sobre rotulagem nutricional de alimentos embalados**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 26 dez. 2003b. Disponível em: < <http://e-legis.anvisa.gov.br> >. Acesso em: 05 de setembro de 2009.
- BRASIL, Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005. **Regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, set. 2005. Disponível em:< <http://www.anvisa.gov.br> >. Acesso em 10 de maio de 2010.
- CAUVAIN, S.P.; YOUNG, L.S. (Ed.) **Technology of Breadmaking**. Aspen Publishers (Gaitersburg, Maryland), 354p., 1999.
- CHAVES, J. B. P. **Análise Sensorial – Histórico e Desenvolvimento**. Apostila nº 338. Universidade Federal de Viçosa, Imprensa Universitária. Viçosa. Minas Gerais, 1993.
- CHIN, N.L.; ABDULLAH, R.; YUSOF, Y.A. Glazing effects on bread crust and crumb staling during storage. **Journal of Texture Studies**, v.42, p. 459-467, 2011.
- CHINACHOTI, P.; VODOVOTZ, Y. **Bread Staling**, Edites by CRC Press LLC, New York, 177p. , 2001.
- DE ANGELIS, M.; RIZZELLO, C.G.; AFONSI, G.; ARNAULT, P.; CAPELLE, S.; DI CAGNO, R.; GOBETTI, M. Use of sourdough lactobacilli and oat fibre to decrease the glycemic index of white wheat bread. **British Journal of Nutrition**, v. 98, p. 1196-1205, 2007.
- ELKHALIFA, A.E.O.; MOHAMMED,A.M.; MUSTAFA, M.A.; EL TYNAI, A. H. Use of guar gum and arabic gum as bread improvers for the production of bakery products from sorghum flour. **Food Sci. Technol. Res.**, v. 13, n. 4, p. 327-331, 2007.

- FELDHEIM, W.; WISKER, F. Untersuchungen zur verbesserung der ballaststoffaufnahme. **Deutsche Lebensmittel-Rundschau**, v. 96, n. 9, p. 327-330, 2000.
- FENNEMA, O.R. **Food Chemistry**, New York: Marcel Dekker, 1985.
- FILIPOVIC, J.; FILIPOVIC, N.; FILIPOVIC, W. The effects of commercial fibres on frozen bread dough. **J.Serb. Chem. Soc.**, v. 75, n. 2, p. 195-207, 2010.
- GANDRA, K.M.; DEL BIANCHI, M.; GODOY, V.P.; QUEIROZ, F.P.C.; STEEL, C.J. Aplicação de lipase e monoglicérido em pão de forma enriquecido com fibras. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 1, p. 182-192, 2008.
- GRAY, J.A.; BEMILLER, J.N. Bread staling: molecular basis and control. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 2, n. 1, p. 1-21, 2003.
- GUILLON, F., CHAMP, M. Structural and physical properties of dietary fibres, and consequences of processing on human physiology. **Food Research International**, v. 33, p. 233-245, 2000.
- GUTTIERRES, A.P.M.; ALFENAS, R.C.G. Efeitos do índice glicêmico no balanço energético. **Arq. Bras. Endocrinol. Metab.**, v. 51, n. 3, p. 382-388, 2007.
- HEFLICH, L.W. A baker's perspective. In: HEBEDA, R.E; ZOBEL, H.F.(ED) **Baked goods freshness. Technology, evaluation and inhibition of staling**, chap.9, p. 239-256, 1996.
- JRS, **J.RETTENMAIER & SÖHNE**. "Wheat fiber". Disponível em: < <http://www.jrs.de/wEnglisch/anwend/food/weizen.shtml> >. Acesso em: 15 de novembro de 2010.
- KUPIEC, B.; REVELL, B. Measuring consumer quality judgments. **British Food Journal**, v. 103, n.1, p. 7-17, 2001.
- MAKRI, E. A.; DOXASTAKIS, G.I. Study of emulsions stabilized with *Phaseolus vulgaris* or *Phaseolus coccineus* with the addition of arabic gum, locust bean gum and xanthan gum. **Food Hydrocolloids**, v. 20, p. 1141- 1152, 2006.

- MANDALA, I.G. Physical properties of fresh and frozen stored, microwave-reheated breads, containing hydrocolloids. **Journal of Food Engineering**, v. 66, p. 291-300, 2005.
- MARANGONI, F.; POLI, A. The glycemic index of bread and biscuits is markedly reduced by the addition of a proprietary fiber mixture to the ingredients. **Nutrition, Metabolism & Cardiovascular Diseases**, v.18, p.602-605, 2008.
- McCLEARY, B.V., PROSKY, L. **Advanced Dietary Fibre Technology**, Oxford: Black Well Science, 2001.
- MEILGAARD, M.; CIVILLE, G.V.; CARR, B.T., **Sensory Evaluation Techniques**. 3rd Ed., CRC Press, Flórida, 389p., 1999.
- MENEZES, E.W.; GIUNTINI,E.B.; DAN, M.C.T.; LAJOLO,F.M. New information on carbohydrates in the Brazilian Food Composition Database. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 22, n. 5, p. 446-452, 2009.
- MOYAD, M.A. Understanding glycemic index, glycemic load, and some of the more popular low-carbohydrate diets for weight loss. In: **Seminars in preventive and alternative medicine- Elsevier**, p. 5-12, 2005.
- NAKAUMA, M.; FUNAMI, T.; NODA, S.; ISHIHARA, S.; AL-ASSAF, S.; NISHIHARI, K.; PHILLIPS, G.O. Comparison of sugar beet pectin, soybean soluble polysaccharide, and arabic gum as food emulsifiers. 1. Effect of concentration, pH, and salts on the emulsifying properties. **Food Hydrocolloids**, v. 22, p. 1254-1267, 2008.
- PARK, H.; SEIB, P.A.; CHUNG,O.K. Fortifying bread with a mixture of wheat fiber and psyllium husk fiber plus three antioxidants. **Cereal Chemistry**, v. 74, n. 3, p. 207-211, 1997.
- PHILLIPS, G.O.; OGASAWARA, T.; USHIDA, K. The regulatory and scientific approach to defining arabic gum (*Acacia senegal* and *Acacia seyal*) as a dietary fibre. **Food Hydrocolloids**, v. 22, p. 24-35, 2008.

- PURHAGEN, J.K.; SJÖÖ, M.E.; ELIASSON, A.C. Fibre-rich additives – the effect on staling and their function in free-standing and pan-baked bread. **J.Sci. Food Agric.**, Published on line in Wiley /online /library DOI 10.1002/jsfa.4684, 2011a.
- PURHAGEN, J.K.; SJÖÖ, M.E.; ELIASSON, A.C. Starch affecting anti-staling agents and their functions in freestanding and pan-baked bread. **Food Hydrocolloids**, v. 25, n. 7, p.1656-1666, 2011b.
- RANDALL, R.C.; PHILLIPS,G.O.; WILLIAMS, P.A. Fractionation and characterization of gum from *Acacia senegal*. **Food Hydrocolloids**, v. 3, n.1, p. 65-75, February, 1989.
- REIS, R.C. **logurte “light” sabor morango: equivalência de doçura, caracterização sensorial e impacto da embalagem na intenção de compra do consumidor**. 2007. 128p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.
- ROSELL, C.M.; SANTOS, E.; COLLAR, R.C. Physico-chemical properties of commercial fibres from different sources: a comparative approach. **Food Research International**, v. 42, p. 176-184, 2009.
- SANCHEZ, C.; RENARD, D.; ROBERT, P.; SCHMITT, C.; LEFEBVRE,J. Structure and rheological properties of acacia gum dispersions. **Food Hydrocolloids**, v. 16, p. 257-267, 2002.
- SIDHU, J.S., AL-HOOTI, S.N., AL-SAQER, J.M. Effect of adding wheat bran and germ fractions on the chemical composition of high-fiber toast bread. **Food Chemistry**, v.67, p.365-371, 1999.
- SILVA, C.F.L., MILACH, S.C.K., SILVA, S.D.A., FEDERIZZ, L.C., MONTERO, C.R, FONTANELI, R.S. Frações de fibras de aveia e sua aplicação em programas de melhoramento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.6, p. 975-980, 2006.

- SHARADANANT, R.; KHAN, K. Effect of hydrophilic gums on the quality of frozen dough: II. Bread characteristics. **Cereal Chemistry**, v. 80, n. 6, p. 773-780, 2003.
- SLUIMER, P. **Principles of breadmaking**: Functionality of raw materials and process steps, St Paul: AACCI Inc., 212p., 2005.
- SULLIVAN, P.; O'FLAHERTY, J.; BRUNTON, N. ARENDT, E.; GALLAGHER, E. Fundamental rheological and texture properties of doughs and breads produced from milled pearled barley flour. **Eur. Food Technol.**, v. 231, p. 441-453, 2010.
- SYMONS, L.J., BRENNAN, C.S. The physicochemical and nutritional evaluation of wheat breads supplemented with (1/3) (1/4)- β -D-glucan rich fractions from barley. **Journal of Food Science**, v. 69, p. 463-467, 2004.
- TOLEDO, P. F. **Propriedades reológicas de doce de banana**. 2004. 76p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.
- WANG, J., ROSELL, C.M.; BARBER, C.B. Effect of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality. **Food Chemistry**, v. 79, p. 221-226, 2002.
- WEICKERT, M.O.; MOHLIG, M.; KOEBNICK, C.; HOLST, J.J.; NAMSOLLECK, P.; RISTOW, M.; OSTERHOFF, M.; ROCHLITZ, H.; RUDOVICH, N.; SPRANGER, J.; PFEIFFER, A.F.H.; Impact of cereal fibre on glucose-regulating factors. **Diabetologia**, v. 48, p. 2343-2353, 2005.
- WEICKERT, M.O.; SPRANGER, J.; HOLST, J.J.; OTTO, B.; KOEBNICK, C.; MÖHLIG, M.; PFEIFFER, A.F.H.; Wheat-fibre-induced changes of postprandial peptide YY and ghrelin responses are not associated with acute alterations of satiety. **British Journal of Nutrition**, v. 96, p. 795-798, 2006.

- WIDANAGAMAGE, R.D.; EKANAYAKE,S.; WELIHINDA,J. Carbohydrate-rich foods: glycaemic indices and the effect of constituent macronutrients. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 60 (S4), p. 215-223, 2009.
- WILLIAMS, P.A.; PHILLIPS, G.O.; STEPHEN, A.M.; CHRUMS, S.C. Gums and mucilages. In: STEPHEN, A.M.; PHILLIPS, G.O.& WILLIAMS, P.A. (Ed.) **Food polysaccharides and their applications**, Second Edition, New York: Marcel Dekker, Inc., p. 455-495, 1996, eBook ISBN: 978-1-4200-1516-4.
- WOJCIECHOWICZ , A.; GIL, Z. Quality of wheat bread containing different types of dietary fibre [Jakość pieczywa pszennego z udziałem błonnika pokarmowego różnego pochodzenia] **Zywnosc. Nauka. Technologia. Jakosc/Food. Science Technology. Quality**, v. 16, n. 6, p. 102-111, 2009.
- YUSOF,B.N.M.; TALIB, R.A.; KARIM, N.A.; KAMARUDIN, N.A.; ARSHAD,F. Glycaemic index of four commercially available breads in Malaysia. **International Journal of Food Sciences and Nutritional**, v. 60, n. 6, p. 487-496, September, 2009.

Capítulo 1. Estudo das características físico-químicas e análise sensorial de pães de forma do mercado brasileiro

Resumo

Nos últimos anos houve um aumento de produção no Brasil de pães de forma brancos e principalmente dos especiais adicionados de fibras. O objetivo deste trabalho foi estudar os pães de forma existentes no mercado brasileiro, identificando suas características físico-químicas e sensoriais. Foram avaliados 12 pães, sendo 7 brancos e 5 integrais. Avaliou-se a umidade, atividade de água (a_w), firmeza e cor (L^* , a^* , b^*) do miolo dos pães no primeiro, quarto, sétimo e décimo dia após a compra dos mesmos. Também foi avaliado o volume específico no primeiro dia de análise cujas médias foram de 4,72 e 4,70 mL/g para pães brancos e integrais respectivamente. Os resultados médios no primeiro dia foram: umidade de 37,03% e 41,23%, a_w de 0,954 e 0,966, firmeza de 267,83 gf e 276,27 gf, L^* de 74,73 e 64,45, a^* de 0,37 e 3,85 e b^* de 15,51 e 18,98 para pães brancos e integrais respectivamente. No período analisado, os pães mostraram aumento da firmeza, a cor praticamente não foi alterada e houve diminuição de umidade e a_w . O teste de aceitação foi realizado com 3 pães brancos e 3 integrais (n=121). Dos provadores, 67,8% foram do sexo feminino, 72,7% consomem pão de forma de 2 a 7 vezes por semana. Os três fatores mais importantes no ato da compra foram sabor (19,6%), maciez (16,8%) e validade (14,3%). 37,2% disseram preferir pão branco e 62,8% preferiram pão com fibras. 82,6% disseram que provavelmente ou certamente comprariam um pão branco com fibras. Dois pães integrais receberam notas menores para textura e sabor. O Mapa de Preferência Interno mostrou que um pão branco foi o mais aceito. O desenvolvimento de um pão de forma branco com fibras se mostra uma alternativa para aumentar o consumo de fibras pela população.

Palavras-chave: pão de forma de trigo, mercado brasileiro, qualidade tecnológica, análise sensorial, fibras alimentares, mapa de preferência interno

Abstract

Recent years have seen an increase in production in Brazil of white pan bread and especially the special fiber added. The objective of this work was to study the pan bread in the Brazilian market, identifying their physico-chemical and sensory characteristics. We evaluated 12 pan breads, seven whites and five wholegrain. We evaluated moisture, water activity (a_w), firmness and color (L^* , a^* , b^*) of the crumb of bread in the first, fourth, seventh and tenth days after buying them. We also assessed the specific volume on first day of analysis with averages of 4.72 and 4.70 mL/g for white bread, wholegrain respectively. The average results on the first day were: moisture of 37.03% and 41.23%, a_w of 0.954 and 0.966, firmness of 267.83 gf and 276.27 gf, L^* of 74.73 and 64.45, a^* of 0.37 and 3.85 and b^* of 15.51 and 18.98 for white and wholegrain pan breads respectively. Over this period, breads showed increased firmness, color was hardly changed and decreased moisture and a_w . Acceptance testing was performed with three white and 3 wholegrain pan breads (n=121). Panelists, 67.8% were female, 72.7% consumed pan bread 2-7 times per week. The three most important factors in the purchase were flavor(19.6%), tenderness (16.8%) and validity (14.3%). 37.2% said they preferred white bread and 62.8% said preferred bread with fiber. 82.6% said they would probably or definitely buy a white bread with fiber. Two breads received lower scores for texture and flavor. The internal preference mapping showed that a white bread was more accepted. The development of a pan bread with white fibers shows a way to increase fiber intake by the population.

Keywords: Wheat bread, Brazilian market, technology quality, sensory analysis, dietary fiber, internal preference mapping

1.1. Introdução

Pão é um produto rico em calorias e muito consumido no Brasil, está inserido na cultura brasileira, no café da manhã e em outras refeições.

Segundo a legislação brasileira, pães são os produtos obtidos da farinha de trigo e ou outras farinhas, adicionados de líquido, resultantes do processo de fermentação ou não e cocção, podendo conter outros ingredientes, desde que não descaracterizem os produtos. Podem apresentar cobertura, recheio, formato e textura diversos (BRASIL, 2005). Pão de forma é o produto, no qual a massa foi assada em forma, para dar o formato característico. Pão branco é aquele que não foi enriquecido com fibras e pão integral é produzido a partir de farinha de trigo comum adicionada de farelo de trigo e/ou farinha de grão inteiro e/ou outros ingredientes com fibras que tornam o pão mais escuro.

O mercado brasileiro de produtos de panificação cresceu muito nos últimos 5 anos, resultado do aumento do poder aquisitivo e das opções de mercado, das melhorias tecnológicas e do apelo saudável dos alimentos. Os pães integrais, com fibras e light foram os produtos que mais cresceram pela busca dos consumidores por alimentos mais saudáveis (ABIMA, 2011).

Fibras alimentares são benéficas para a manutenção da saúde e prevenção de doenças. O uso regular de fibras na dieta ajuda no tratamento de obesidade, doenças cardiovasculares, diabetes tipo 2, síndrome metabólica e constipação (ADA, 2008; DE MELLO & LAAKSONEN, 2009; HOLMA *et al.*, 2010).

Ao introduzir ingredientes ricos em fibras na massa ocorrem alterações de absorção de água e na qualidade do pão (SLUIMER, 2005). Rosell & Santos (2010) observaram redução no volume específico e aumento da dureza em pães de farinha de trigo com 10% de substituição de uma mistura de fibras (inulina e fibra branca de aveia em proporção não informada). Hager *et al.* (2011) observaram aumento da umidade e diminuição do volume específico utilizando β -glucana em pães. Sivam *et al.* (2011) encontraram aumento da umidade e alterações na cor dos pães adicionados de pectina.

Apesar do aumento do consumo de produtos integrais no Brasil, a ingestão diária de fibras alimentares ainda é baixa. Madruga *et al.* (2009) pesquisando a

frequência de consumo de fibras alimentares no sul do Brasil, concluíram que 65,6% dos 3.993 indivíduos pesquisados apresentavam baixo consumo de alimentos com fontes de fibra alimentar, este índice é maior entre homens, adolescentes e pessoas de baixo poder aquisitivo. De Mattos & Martins (2000) estudaram o consumo de fibras alimentares em população adulta em um município do sudeste do Brasil (Cotia – SP). Eles encontraram consumo diário de 20 g de fibras alimentares por mulheres e 29 g por homens. Também concluíram que, de uma forma geral, as práticas alimentares da população adulta estudada é constituída por alimentos pobres em fibras alimentares.

Outros países também apresentam baixo consumo de fibras alimentares. Díez-Gañán *et al.* (2007) estudaram crianças de 5 a 12 anos de Madri, Espanha e concluíram que a dieta destes apresentava uma série de desequilíbrios, dentre estes, deficiência no consumo de fibras alimentares (13,6 g/dia). Wyka *et al.* (2012) encontraram baixa ingestão de fibras, cálcio, vitaminas C e D e folatos em um grupo de idosos poloneses. Kachan *et al.* (2011) e Chourdakis *et al.* (2011) também encontraram baixa ingestão de fibras pesquisando a dieta de trabalhadores americanos e estudantes universitários gregos, respectivamente.

O consumo de pães adicionados de fibras é uma alternativa para o aumento da ingestão deste nutriente, porém sabe-se que a aparência dos pães integrais causa certa rejeição por parte de alguns consumidores que preferem uma textura mais macia e branca como a dos pães convencionais, ou seja, produzidos sem adição de ingredientes para aumentar o teor de fibras. Por outro lado, Pohjanheimo *et al.* (2010) estudando as atitudes de compra de pães integrais de adolescentes finlandeses através de uma pesquisa de “focus groups”, encontraram que estes adolescentes preferem pães integrais já que estão familiarizados com estes pães desde a infância. Eles disseram que a cor do pão foi mencionada como o principal motivo para os consumidores escolherem pães escuros, mais saudáveis, ao invés de pães brancos. Não foi encontrado um estudo com consumidores brasileiros que mostre a preferência por pães brancos ou por integrais.

A análise sensorial é uma ferramenta que busca o conhecimento das preferências sensoriais dos consumidores e tem como principais usos o controle de qualidade, o desenvolvimento de produtos e pesquisas. Os testes de aceitação são usados principalmente para averiguar as preferências de um produto por um grupo de consumidores; e têm sido utilizados cada vez mais pelas instituições de pesquisa e pela indústria (MEILGAARD & CIVILLE, 1999).

A análise dos dados dos testes afetivos pode ser feita por análise de variância e por comparação de médias e também por Mapa de Preferência Interno (MPI). Na primeira forma os dados médios do grupo de consumidores são comparados e na segunda as respostas individuais dos consumidores são analisadas (SALES *et al.*, 2008; CARDELLO & FARIA, 2000).

O mapa de preferência é baseado na análise estatística multivariada de uma matriz vetorial e relativa posição geométrica bidimensional de produtos versus consumidores e é calculado através da Análise dos Componentes Principais. O Mapa de Preferência Externo é um método que reduz o número de atributos descritivos em poucos componentes fazendo uma regressão com os dados dos consumidores. O Mapa de Preferência Interno analisa apenas os dados de preferência dos consumidores (YENKET *et al.*, 2011; NUNES *et al.*, 2011; ARES *et al.*, 2011).

O presente trabalho teve por objetivo estudar as características físico-químicas e sensoriais de diferentes pães de forma, brancos e integrais, existentes no mercado brasileiro, identificando também as preferências dos consumidores de pão de forma.

1.2. Material e métodos

1.2.1. Pães de forma

Foram adquiridos 12 pães de forma de diferentes marcas em mercado local de Campinas-SP, sendo escolhidos 7 pães brancos (5 deles são os mais vendidos no mercado brasileiro (BR1, BR4, BR5, BR6 e BR7), um com inulina (BR2) e um feito em padaria (BR3)), e 5 pães integrais (um com farelo de trigo (IN1), um produzido em padaria (IN2), um com polidextrose (IN3), um com grão visíveis

(IN5) e um light com grãos visíveis (IN4)). Devido os produtos não apresentarem a informação da data de fabricação, todos foram escolhidos com data de validade parecida, mesmo assim, houve uma faixa de validade de 5 a 11 dias a partir do dia de aquisição. Apesar de a validade expirar ante dos dez dias de análise para a maioria das amostras, nenhuma delas apresentou crescimento de bolores visíveis, por isso os resultados das análises foram considerados válidos. Os pães foram conservados em suas embalagens originais em sala com temperatura de $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ durante o período de análise. Usou-se esta temperatura de armazenagem, pois testes com outros pães de forma armazenados a temperatura ambiente de Campinas-SP (média de 35°C) apresentaram crescimento de bolores e leveduras em até 10 dias de armazenamento. A lista de ingredientes, o teor de fibra alimentar declarados e outras informações são mostrados na **Tabela 1.1**. O preço médio dos pães comerciais analisados está na **Tabela 1.2**.

Tabela 1.1. Identificação, local de produção, lista de ingredientes, teor de fibras, validade e preço das amostras de pão de forma do mercado brasileiro

Amostra	Obs. ¹	Local de produção	Ingredientes especiais	Ingredientes declarados	Teor de Fibra ² / 50 g	Validade ³ (dias)	Preço (R\$/kg)
BR1	Líder de mercado ⁴	Indústria		Farinha de trigo enriquecida com ferro e ácido fólico, açúcar, glúten, sal, gordura vegetal hidrogenada, fermento biológico e conservador propionato de cálcio.	1,4g	7	6,08
BR2		Indústria	Inulina	Farinha de trigo enriquecida com ferro e ácido fólico, água, inulina, glúten, sal, fermento biológico, conservador propionato de cálcio e melhorador de farinha ácido ascórbico.	5,1g	5	11,72
BR3		Padaria		Farinha de trigo enriquecida com ferro e ácido fólico, gordura vegetal, açúcar, leite em pó, sal, fermento biológico e melhorador de farinha (amido de milho e/ou mandioca e/ou trigo e açúcar, estabilizante monooleato de polioxietileno, sorbitana e lecitina de soja, melhoradores de farinha ácido ascórbico e alfa-amilase, aromatizante artificial e corante beta-caroteno sintético).	1,1g	5	5,87
BR4	Líder de mercado	Indústria		Farinha de trigo fortificada com ferro e ácido fólico, açúcar, gordura vegetal, sal, fosfatos monocalcário e tricalcário, vitaminas PP, B6, B1 e B12, emulsificantes estearoil-2-lactil lactato de sódio, polisorbato 80 e monoglicérides de ácidos graxos e conservador propionato de cálcio.	1,3g	7	6,40
BR5	Líder de mercado	Indústria		Farinha de trigo enriquecida com ferro e ácido fólico, açúcar, gordura vegetal, sal refinado, glúten, soro de leite em pó, conservador propionato de cálcio, estabilizantes lecitina de soja e estearoil 2-lactil lactato de cálcio e acidulante ácido ascórbico.	1,4g	10	7,85
BR6	Líder de mercado	Indústria		Farinha de trigo fortificada com ferro e ácido fólico, açúcar, gordura vegetal, sal, glúten, farinha de soja, soro de leite, emulsificantes ésteres de ácido diacetil tartárico e mono e diglicérides e estearoil-2-lactil lactato de cálcio, conservador propionato de cálcio e acidulante ácido láctico.	1,5g	8	6,97
BR7	Líder de mercado	Indústria		Farinha de trigo enriquecida com ferro e ácido fólico, água, fermento biológico, açúcar, gordura vegetal de palma, sal refinado, farinha de soja, glúten de trigo, emulsificantes (mono e diglicérides de ácidos graxos, estearoil-2-lactil-lactato de sódio e lecitina de soja), conservadores (propionato de cálcio e ácido sórbico), aroma idêntico ao natural de manteiga, acidulante ácido láctico e melhoradores de farinha (alfa amilase e ácido ascórbico).	0,9g	11	6,25
IN1		Indústria	Fibra de trigo (farelo)	Farinha de trigo enriquecida com ferro e ácido fólico, fibra de trigo, açúcar, gordura vegetal hidrogenada, sal, glúten, fermento biológico e conservador propionato de cálcio.	3,2g	9	10,01
IN2		Padaria	Farinha de trigo integral e Farelo de trigo	Farinha de trigo enriquecida com ferro e ácido fólico, farinha de trigo integral, gordura vegetal, farelo de trigo, açúcar, sal, fermento biológico, emulsificante, melhorador de farinha (amido de milho e/ou mandioca e/ou trigo e açúcar, estabilizante monooleato de polioxietileno, sorbitana e lecitina de soja, melhoradores de farinha ácido ascórbico e alfa-amilase, aromatizante artificial e corante beta-caroteno sintético) e conservante propionato de cálcio.	1,3g	5	8,97
IN3		Indústria	Polidextrose	Farinha de trigo enriquecida com ferro e ácido fólico, água, glúten de trigo, farinha de trigo integral, colágeno hidrolisado, flocos de aveia, flocos de centeio, farinha de soja, fermento biológico seco, fibra alimentar, sal refinado, iogurte em pó, agente de massa polidextrose (fibra solúvel), conservador propionato de cálcio, emulsificantes (ésteres de ácido diacetil tartárico e estearoil-2-lactil lactato de sódio), mix vitamínico (vitaminas E, A e C), aroma artificial de iogurte, melhoradores de farinha (ácido ascórbico e azodicarbonamida) e edulcorante acessulfame de potássio.	3,5g	8	9,93
IN4	Light e grãos visíveis	Indústria		Farinha de trigo enriquecida com ferro e ácido fólico, farelo de trigo, glúten, fibra alimentar, farelo de aveia, flocos de centeio, sementes de girassol, sal, farinha de cevada, fubá de milho fortificado com ferro e ácido fólico, gergelim, conservador propionato de cálcio, emulsificantes estearoil-2-lactil lactato de cálcio, polisorbato 80 e goma guar e edulcorante acessulfame K.	5,2g	10	9,91
IN5	Grãos visíveis	Indústria		Farinha de trigo enriquecida com ferro e ácido fólico, glúten, açúcar, farelo de trigo, semente de girassol, semente de linhaça, flocos de aveia, farinha de centeio, flocos de soja, grão de tritcale, sal, farinha de linhaça, gérmen de trigo, óleo de canola, carbonato de cálcio, extrato de malte, farinha de malte, vitaminas A, D e E, farinha de soja, conservador propionato de cálcio, acidulante ácido láctico e edulcorante sucralose.	5,7g	10	8,94

BR1 a BR7: pães brancos; IN1 a IN5: pães integrais. ¹Obs.: Observação; ²Teor de fibra declarado no rótulo; ³Validade a partir da data de aquisição dos pães; ⁴Líder de mercado se refere a um dos 5 pães mais vendidos no Brasil.

1.2.2. Avaliação das propriedades físicas dos pães de forma

Os pães de forma foram avaliados quanto a: (a) volume específico pelo método de deslocamento de sementes de painço AACC 10-05.01 (AACC, 2010). Cada amostra de pão de forma foi embalada com um filme de PVC para que formasse um volume único, já que os pães apresentavam-se fatiados. A avaliação foi feita em triplicata; (b) umidade do miolo: nos dias 1, 4, 7 e 10 após a aquisição dos mesmos pelo Método AACC 44-15.02 (AACC, 2010). A avaliação foi feita em três replicatas. O miolo foi considerado como toda a porção interna deixando uma margem de 1 cm das bordas; (c) atividade de água (a_w) do miolo pelo medidor AquaLab (Série 3 TE, Decagon Device, Inc., Pullman, WA - USA) à 25°C em três replicatas; (d) textura do miolo: nos dias 1, 4, 7 e 10 após a aquisição dos mesmos, avaliando-se a firmeza pelo Método AACC 74-10.02 (AACC, 2010). A análise foi realizada em um texturômetro universal (TA-XT2, carga de 25 kg, SMS - Stable Micro Systems, Godalming, Surrey- Inglaterra) utilizando probe de alumínio P/35 com haste longa com calibre de 30mm e os seguintes parâmetros: velocidade pré-teste = 1,0 mm/s; velocidade de teste = 1,7 mm/s; velocidade de pós-teste = 10,0 mm/s; força = 10 g, distância 40%, Modo: Força em Compressão. A avaliação foi realizada, em seis replicatas, pela compressão do probe em duas fatias centrais sobrepostas e dispostas horizontalmente à plataforma; (e) cor do miolo: A avaliação foi realizada, em quatro replicatas, pela exposição de duas fatias sobrepostas e dispostas horizontalmente à incidência da luz, com espectrofotômetro (ColorQuest II HunterLab, Hunter Associates Laboratory, Inc., Reston, Virginia – USA), iluminante D65, Ângulo do observador 10°, reflectância RSIN, pelo Sistema CIE $L^*a^*b^*$. As análises de cor e atividade de água também foram feitas nos dias 1, 4, 7 e 10 após a aquisição das amostras.

1.2.3. Avaliação sensorial dos pães de forma

Para a análise sensorial foram escolhidas 6 amostras (3 brancos e 3 integrais) para que os provadores não se cansassem com um número elevado de amostras, mas sendo suficientes para a Análise dos Componentes Principais, que precisa de no mínimo 6 amostras. Os pães brancos foram BR3, BR4 e BR5 e os

pães integrais foram IN1, IN2 e IN4. BR3 é um pão branco de padaria, BR4 e BR5 foram as amostras com menor firmeza no período analisado. IN2 é um pão integral de padaria. IN1 apresentou o menor volume específico e usa apenas farelo de trigo como fonte de fibra (declarado como fibra de trigo) e IN4 possui grãos visíveis e é light. Os pães apresentavam data de validade parecida e suficiente para a análise de 10 dias conforme feito para as análises físico-químicas (exceto os de padaria). Os pães foram conservados em suas embalagens originais em sala com temperatura de $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$. A análise foi feita no quarto dia após a aquisição dos mesmos.

O experimento foi realizado no Laboratório de Análise Sensorial do Departamento de Tecnologia de Alimentos da FEA – UNICAMP. O teste foi aplicado a 121 provadores de ambos os sexos com idade variando de 18 a 50 anos. Antes de realizar a análise, os provadores assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (**ANEXO A.1**), indicando a sua concordância em participar do teste conforme protocolo do Comitê de Ética em Pesquisa – UNICAMP, a aprovação deste projeto por este órgão encontra-se nos **ANEXOS A.3 e A.4**.

Antes do teste foi feita uma pesquisa de frequência de consumo de pão de forma e preferências (**Figura 1.1**). Para os mesmos consumidores foi aplicado o teste de aceitação sensorial que avaliou os atributos: aparência, aroma, sabor, textura e impressão global, utilizando escala hedônica não estruturada de nove centímetros (de “gostei pouco” a “gostei muito”). A intenção de compra foi avaliada com o uso de escala estruturada de 5 pontos, compreendendo de “certamente não compraria” a “certamente compraria” (MEILGAARD, 1999).

As amostras foram servidas à temperatura ambiente, em cabines individuais, com utilização da luz branca. Os provadores receberam as amostras de forma monádica seqüencial e estas foram apresentadas como $\frac{1}{4}$ de uma fatia em pratos descartáveis, codificados com números aleatórios de três dígitos, de forma casualizada em blocos completos balanceados. Juntamente com a amostra, os provadores receberam um copo com água para lavar a boca entre as amostras e uma ficha de análise (**Figura 1.2**).

Nome: _____ Sexo : M () F () Idade: _____

1. Indique com um X sua **FREQUÊNCIA DE CONSUMO** de pão de forma.

1- RARAMENTE	
2- 1 VEZ POR SEMANA	
3- DE 2 a 4 VEZES POR SEMANA	
4- DE 4 a 6 VEZES POR SEMANA	
5- TODOS OS DIAS	

2. Indique com X os **3 FATORES MAIS IMPORTANTES** que você leva em conta ao comprar um pão de forma:

APARÊNCIA	
SABOR	
MACIEZ	
BENEFÍCIO À SAÚDE	
TEOR DE FIBRAS	
TEOR DE GORDURA	
TEOR DE AÇÚCAR	
PREÇO	
MARCA	
PRAZO DE VALIDADE	

3. Indique com X o pão o que você **PREFERE CONSUMIR**.

PÃO BRANCO	
PÃO COM FIBRAS	

4. Se encontrasse um **PÃO BRANCO ENRIQUECIDO COM FIBRAS**, você:

1- CERTAMENTE NÃO COMPRARIA	
2- PROVAVELMENTE NÃO COMPRARIA	
3- TENHO DUVIDAS SE COMPRARIA OU NÃO	
4- PROVAVELMENTE COMPRARIA	
5- CERTAMENTE COMPRARIA	

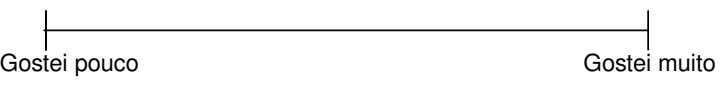
Muito obrigada por sua participação!

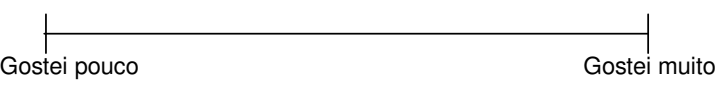
Figura 1.1. Pesquisa de frequência de consumo e preferência do consumidor de pão de forma

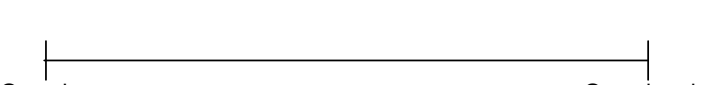
Nome: _____ Idade: _____ Data: ____/____/____


Amostra: _____


Por favor, observe, aspire, prove e avalie a amostra de **PÃO DE FORMA**, marcando um traço na escala correspondente, em relação a:

Aparência 

Aroma 

Sabor 

Textura 

Impressão Global 

Indique com um X a sua opinião quanto à **INTENÇÃO DE COMPRA** da amostra.

1-CERTAMENTE NÃO COMPRARIA	
2-PROVAVELMENTE NÃO COMPRARIA	
3-TENHO DUVIDAS SE COMPRARIA OU NÃO	
4-PROVAVELMENTE COMPRARIA	
5-CERTAMENTE COMPRARIA	

Comentários: _____

Figura 1.2. Ficha do teste de aceitação e de intenção de compra para as amostras de pão de forma

1.2.4. Análise dos resultados

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Foi aplicado o teste de Tukey ($p < 0,05$) para a comparação das médias, utilizando-se o programa SAS[®] 9.2 (SAS, 2009). Para o atributo impressão global também foi aplicado a Análise de Componentes Principais (ACP), utilizando-se o programa XLSTAT 2007.8.03 (ADDINSOFT, 2007).

1.3. Resultados e Discussão

1.3.1. Ingredientes e aditivos listados nos rótulos dos pães

As farinhas de trigo (*Triticum aestivum* L.) e milho (*Zea mays* L.) utilizadas no mercado brasileiro são enriquecidas com ferro ($\geq 4,2$ mg /100 g) e ácido fólico (≥ 150 mcg /100 g) devido a uma lei federal de 2002, com o intuito de diminuir a anemia ferropriva da população e diminuir o risco de patologias do tubo neural e da mielomeningocele, já que estas farinhas são largamente utilizadas pelos brasileiros (BRASIL, 2002a).

Os ingredientes básicos dos pães de forma brasileiros analisados (**Tabela 1.1**) foram: farinha de trigo, açúcar, gordura vegetal, glúten de trigo, sal, fermento biológico, emulsificante estearoil-2-lactil-lactato de sódio (SSL), conservador propionato de cálcio e melhorador de farinha ácido ascórbico. O SSL foi declarado em seis amostras, outros emulsificantes usados foram: polisorbato 80, monoglicerídeos de ácidos graxos, lecitina de soja, ésteres de ácido diacetil tartárico e goma guar. A frequência de aparecimento dos emulsificantes nas amostras de pão de forma é mostrada na **Figura 1.3**. BR3 e IN2, que são produtos de padaria, utilizam um emulsificante comercial com uma mistura de ingredientes composta de monooleato de polioxietileno, sorbitana e lecitina de soja.

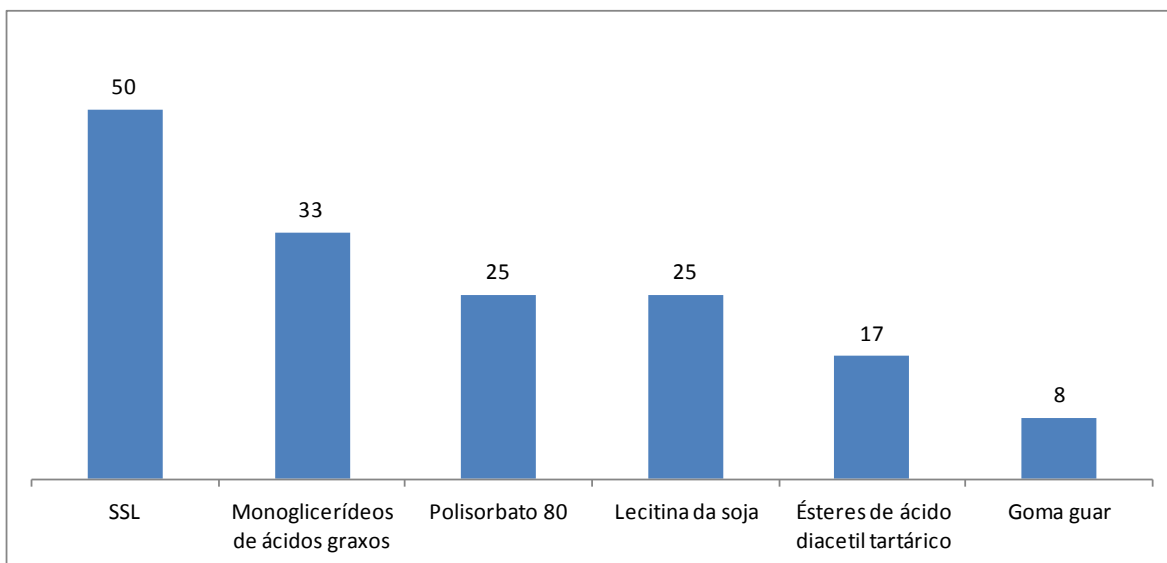


Figura 1.3. Frequência de aparecimento dos emulsificantes (%) nos pães comerciais

A água, apesar de fazer parte da formulação, não é declarada nos rótulos dos pães, pois os fabricantes interpretam que a água é evaporada durante o forneamento. Porém nem toda água é evaporada, pois os pães apresentam umidade residual acima de 30% e os outros ingredientes apresentam umidade menor que este valor. A legislação brasileira diz que a água deve ser declarada na lista de ingredientes exceto se formar parte de salmoura, caldas e xaropes ou se evaporar durante a fabricação (BRASIL, 2002b).

Apenas a amostra BR7 apresentou a α -amilase na lista de ingredientes. A α -amilase é amplamente utilizada na indústria de panificação para hidrolisar as moléculas de amido deixando-as disponíveis para as leveduras consumirem os açúcares e produzirem o gás carbônico. Melhora as características reológicas da massa e do pão como aumento de volume e estrutura do miolo (STEFFOLANI *et al.*, 2012; CODINĂ *et al.*, 2012; GANDRA *et al.*, 2008; CAUVAIN & YOUNG, 1999), porém não tem a obrigatoriedade de ser declarada na lista de ingredientes pois é utilizada como coadjuvante de tecnologia, embora esteja na lista de aditivos como melhorador de farinha que devem ser declarados (BRASIL, 2003 ; BRASIL, 1999).

As fontes de fibras foram farinha de trigo integral, farelo de trigo, inulina, povidexrose e farinhas de aveia, soja, centeio, milho, linhaça e cevada. Desta lista, apenas inulina e povidexrose são consideradas fontes de fibra solúvel e os demais são fontes de fibra insolúvel. A frequência de aparecimento das fontes de fibras nos pães comerciais analisados é mostrada na **Figura 1.4**.

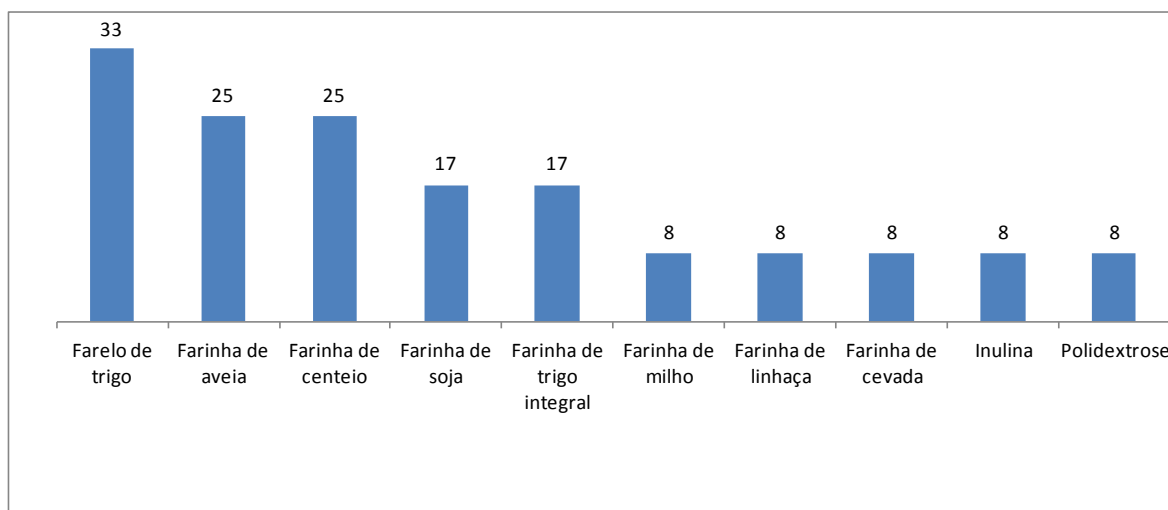


Figura 1.4. Frequência de aparecimento das fontes de fibras (%) nos pães comerciais

O teor de fibras alimentares dos pães brancos foi de 0,9 a 1,5 g/50 g e apenas uma amostra apresentou alto teor de fibras com 5,1 g/50 g (inulina). Já os pães integrais apresentaram alto teor de fibras (3,2 a 5,7 g/50 g) e novamente apenas uma amostra (produto de padaria) abaixo desta faixa com 1,3 g/50 g não sendo considerada fonte de fibras segundo a legislação (BRASIL, 1998).

Com relação ao preço das amostras de pães de forma analisados, os pães brancos apresentaram custo médio de R\$ 7,31/kg e os pães integrais R\$ 9,55/kg, ou seja, os pães integrais foram, em média, 30,77% mais caros que os pães brancos.

1.3.2. Análises físico-químicas dos pães

1.3.2.1. Volume específico

Os pães apresentaram volumes específicos de 3,88 a 5,37 mL/g (**Figura 1.5**), os pães brancos apresentaram volume específico médio de 4,73 mL/g e os pães integrais 4,70 mL/g, porém não houve diferença estatística ($p < 0,05$) entre pães brancos e integrais. IN4 apresentou o maior volume entre todas as amostras (5,37 mL/g). Este pão de forma é um produto light, enriquecido com diversas fontes de fibra e, por isso tem uma mistura de emulsificantes (estearoil-2-lactil lactato de cálcio, polisorbato 80 e goma guar), que podem ter contribuído para o aumento do volume, além da possibilidade do uso da α -amilase que não foi declarada. Os emulsificantes contribuem para a facilidade de manipulação da massa, aumento do volume do pão, melhora na textura e aumento de vida de prateleira (MOAYEDALLAIE *et al.*, 2010; GANDRA *et al.*, 2008). A classe e o tipo de farinha e o tipo e a quantidade de fibra adicionados também influem no volume específico (SLUIMER, 2005). As médias de volume específico são coerentes com os encontrados por Esteller & Lannes (2005) que encontraram valor médio de 4,10 mL/g para pão de forma comercial brasileiro comum, ou seja, sem adição de fibras. Soares Júnior *et al.* (2009) também encontraram um valor próximo de volume específico para pão branco (4,43 mL/g) e estudando a substituição de parte da farinha de trigo por farelo de arroz torrado observaram diminuição do volume específico: com 7,5% de substituição encontraram 3,68 mL/g e com 30% o volume chegou a 2,70 mL/g.

A adição de farelo ou fibras ao pão geralmente enfraquece a estrutura do pão, diminuindo o volume e a elasticidade do miolo (SALMENKALLIO *et al.*, 2001). Este efeito é atribuído a interação entre fibra e glúten que leva a uma diminuição na capacidade de retenção de gás (GÓMEZ *et al.*, 2003).

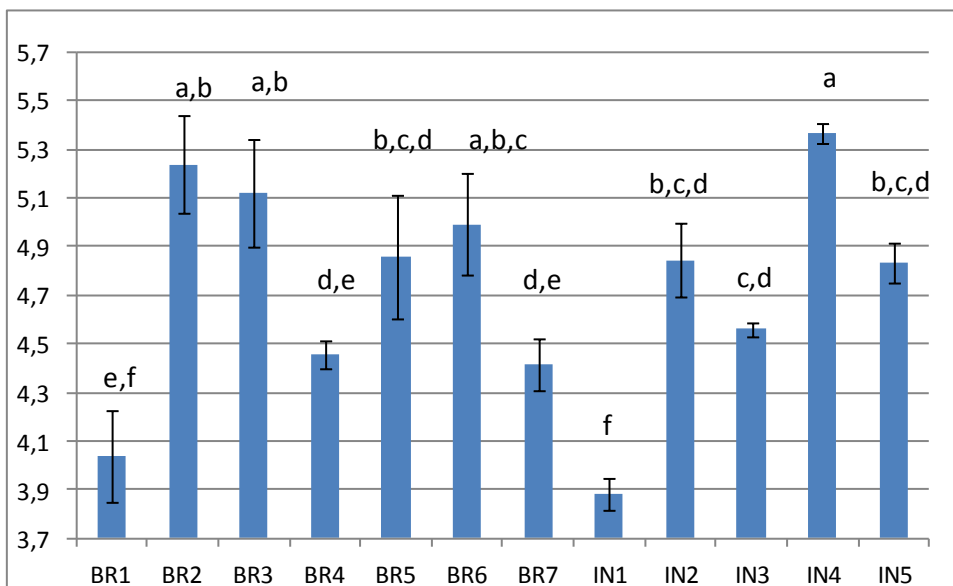


Figura 1.5. Volume específico dos pães comerciais (mL/g)

As barras representam o desvio padrão das médias (n=3). Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). BR1 a BR7: pães brancos; IN1 a IN5: pães integrais.

1.3.2.2. Umidade

A umidade dos pães integrais no primeiro dia foi maior que a dos pães brancos e continuou mais alta nos outros dias, exceção apenas da amostra IN2 que é um produto de padaria e por isto é produzido de forma mais artesanal. Este produto também apresenta baixo teor de fibras alimentares por porção (1,3 g/50 g de pão), indicando baixo nível de substituição de farinha de trigo por fibras. BR2 apresentou a menor umidade em todos os dias analisados, possivelmente pela presença de inulina em grande quantidade. A inulina é uma fibra solúvel que diminui a absorção de água da massa (HAGER *et al.*, 2011; PERESSINI & SENSIDONI, 2009; WANG *et al.*, 2002). Peressini & Sensidoni (2009) observaram diminuição da umidade em pães adicionados de inulina em relação ao controle; e a diminuição foi maior com o aumento da quantidade de inulina.

A umidade média dos pães brancos foi de 37,07% no primeiro dia e de 34,14% no décimo dia e para pães integrais as médias foram de 41,23% e 37,22%, respectivamente. Durante a vida de prateleira, todas as amostras perderam umidade ($p < 0,05$) (**Figura 1.6**) devido a migração da água do miolo para

a casca, perda de água para a atmosfera (pela taxa de permeabilidade ao vapor de água das embalagens) e pela retrogradação do amido (CAUVAIN, 1998). Esteller & Lannes (2005) obtiveram 29,99% de umidade para pão de forma comercial, porém a comparação com este estudo fica prejudicada pelas variações em tempo de aquisição e fabricação dos produtos comerciais.

Em relação aos pães integrais, os valores encontrados ficaram um pouco acima dos obtidos por Gandra *et al.* (2008) que estudaram pães com farelo de trigo (20% base farinha) e encontraram umidade de 34,13% e 31,55% para o primeiro e o sétimo dia respectivamente.

A umidade dos pães integrais foi maior que a dos pães brancos. Soares Júnior *et al.* (2009) também observaram aumento de 8% na umidade de pães com a substituição de 7,5% de farinha de trigo por farelo de arroz torrado, este fenômeno ocorre porque as fibras absorvem mais água na fase de mistura e têm alta capacidade de retenção de água (KATINA, 2003).

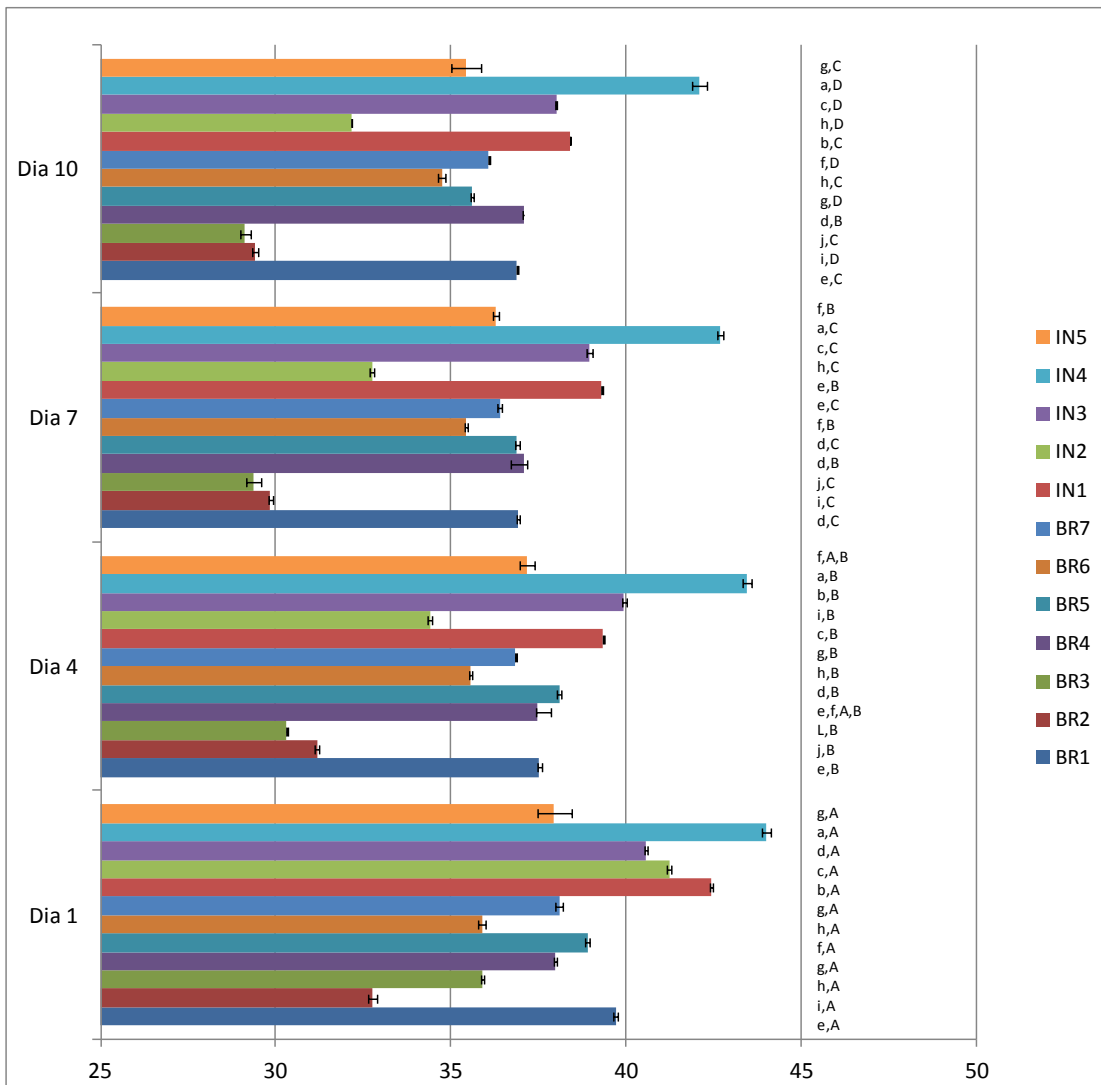


Figura 1.6. Umidade dos pães comerciais (%) nos Dias 1, 4, 7 e 10 após a compra

As barras representam o desvio padrão das médias (n=3). Letras minúsculas se referem a comparação no mesmo dia de estocagem, letras maiúsculas se referem a comparação entre os dias. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). BR1 a BR7: pães brancos; IN1 a IN5: pães integrais.

1.3.2.3. Atividade de água

Os valores médios de a_w no primeiro e no décimo dia foram de 0,954 e 0,943 (brancos) e 0,965 e 0,956 (integrais), respectivamente. BR2 apresentou o menor valor de a_w em todos os dias analisados, este produto possui alto teor de fibra alimentar (5,1 g/50 g) e de inulina (4,0 g/50 g) declarados no rótulo. A inulina, que reduz a absorção de água da massa, promove um menor teor de água livre no produto. Durante a vida de prateleira, as amostras diminuíram a a_w devido a perda de água livre (**Tabela 1.2**).

Tabela 1.2. Atividade de água – a_w dos pães comerciais nos Dias 1, 4, 7 e 10 após a compra

	Dia 1	Dia 4	Dia 7	Dia 10
BR1	0,948 ± 0,002 ^{g,A}	0,947 ± 0,001 ^{f,A}	0,947 ± 0,001 ^{d,A}	0,946 ± 0,001 ^{e,f,A}
BR2	0,941 ± 0,002 ^{h,A}	0,941 ± 0,005 ^{g,A}	0,936 ± 0,002 ^{e,A,B}	0,931 ± 0,004 ^{g,A,B}
BR3	0,951 ± 0,001 ^{f,g,A}	0,951 ± 0,001 ^{e,f,A}	0,943 ± 0,003 ^{d,e,A}	0,934 ± 0,005 ^{g,B}
BR4	0,956 ± 0,002 ^{d,e,f,A}	0,955 ± 0,003 ^{d,e,A}	0,953 ± 0,001 ^{b,c,A,B}	0,947 ± 0,001 ^{d,e,f,B}
BR5	0,962 ± 0,004 ^{b,c,A}	0,961 ± 0,002 ^{b,c,A}	0,956 ± 0,004 ^{b,A}	0,946 ± 0,002 ^{d,e,f,B}
BR6	0,954 ± 0,001 ^{e,f,g,A}	0,955 ± 0,001 ^{d,e,A}	0,950 ± 0,002 ^{b,c,d,B}	0,942 ± 0,002 ^{f,C}
BR7	0,965 ± 0,001 ^{b,A}	0,965 ± 0,003 ^{b,A}	0,958 ± 0,002 ^{b,B}	0,953 ± 0,002 ^{b,c,d,B}
IN1	0,959 ± 0,003 ^{c,d,A}	0,959 ± 0,001 ^{b,c,d,A}	0,956 ± 0,002 ^{b,A}	0,955 ± 0,002 ^{b,c,A}
IN2	0,960 ± 0,002 ^{b,c,d,A}	0,960 ± 0,001 ^{b,c,d,A}	0,953 ± 0,004 ^{b,c,B}	0,951 ± 0,001 ^{c,d,e,B}
IN3	0,975 ± 0,001 ^{a,A}	0,976 ± 0,001 ^{a,A}	0,971 ± 0,006 ^{a,A,B}	0,963 ± 0,003 ^{a,B}
IN4	0,980 ± 0,001 ^{a,A}	0,979 ± 0,002 ^{a,A}	0,977 ± 0,001 ^{a,A}	0,959 ± 0,001 ^{a,b,B}
IN5	0,957 ± 0,001 ^{c,d,e,A}	0,956 ± 0,001 ^{c,d,e,A}	0,951 ± 0,001 ^{b,c,d,B}	0,934 ± 0,002 ^{g,C}

Média ± desvio padrão (n=3). Letras minúsculas se referem à comparação no mesmo dia de estocagem (brancos ou integrais) e letras maiúsculas se referem à comparação entre os dias. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05). BR1 a BR7: pães brancos; IN1 a IN5: pães integrais.

1.3.2.4. Firmeza instrumental

A firmeza dos pães brancos foi, em média, 267,83 gf e a dos pães integrais 276,27 gf no primeiro dia e no décimo dia de 512,15 gf (brancos) e 496,87 gf (integrais). Em todos os dias analisados BR2, que contém inulina, apresentou os maiores valores de firmeza e BR4 os menores valores. A inulina deixou a amostra BR2 mais seca e com menor a_w , refletindo diretamente na textura do pão, que se

apresentou mais firme. Peressini & Sensidoni (2009) e Wang *et al.* (2002) também observaram aumento da textura (dureza) com a adição de inulina. BR4 pode estar usando enzimas, como a α -amilase e outras com a mesma função, não declaradas no rótulo, que podem estar promovendo a manutenção de baixos valores de firmeza durante a estocagem. Dentre os pães integrais, IN2 apresentou-se com menor firmeza nos primeiros dias (152,3 gf e 285,7 gf no primeiro dia e no quarto dia respectivamente) e a partir do sétimo dia (569,4 gf) apresentou-se estatisticamente mais firme que os outros pães integrais ($p < 0,05$). Isto ocorreu devido a IN2 ser feito em padaria, não apresentando todos os aditivos como emulsificantes e enzimas que preservam as características do miolo no período de estocagem, além do fato de apresentar baixo teor de fibras. O método de produção, massa direta ou esponja-massa, também pode ter diferenciado os valores da firmeza de IN2 dos demais. O método massa direta consiste na formação da massa em uma única etapa; já no método esponja-massa, parte da água é adicionada com parte da farinha, fermento e açúcar, e esta massa é fermentada por algum tempo, a quantidade de água restante e os demais ingredientes são então adicionados. Este método é usado para amolecer o glúten (em farinhas muito fortes), ativar o fermento (pela massa rica em açúcar), desenvolver sabor e facilitar a formação da massa (SLUIMER, 2005). Durante o envelhecimento, todas as amostras apresentaram aumento da firmeza (**Tabela 1.3**) devido à retrogradação do amido, comportamento das proteínas e pentosanas (SAUFFER, 2000; ZOBEL & KULP, 1996). A retrogradação do amido ocorre após o resfriamento da massa assada, onde as cadeias de amilose e amilopectina se agregam (as de amilose mais rapidamente) formando dupla hélices cristalinas e estabilizadas por pontes de hidrogênio, que conferem o endurecimento do pão (CHINACHOTI & VODOVOTZ, 2001; ZOBEL & KULP, 1996). Gómez *et al.* (2003) também encontraram aumento de firmeza para pão controle (sem fibras) e com 2% e 5% de fibras (celulose, pêscoço, cacau, café e trigo) após 24, 48 e 72h. Alaunyte *et al.* (2012), Puhagen *et al.* (2011) e Sullivan *et al.* (2010) também observaram este fenômeno estudando pães com diferentes tipos de fibras.

Tabela 1.3. Firmeza (gf) dos pães comerciais nos Dias 1, 4, 7 e 10 após a compra

	Dia 1	Dia 4	Dia 7	Dia 10
BR1	334,9 ± 23,6 ^{b,D}	428,9 ± 38,5 ^{b,c,C}	558,8 ± 48,1 ^{a,b,c,B}	636,4 ± 46,0 ^{b,A}
BR2	505,5 ± 62,1 ^{a,B}	540,5 ± 30,7 ^{a,B}	599,8 ± 61,7 ^{a,B}	787,7 ± 67,8 ^{a,A}
BR3	189,3 ± 15,0 ^{d,e,C}	325,8 ± 16,7 ^{f,g,B}	668,1 ± 62,7 ^{a,A}	687,6 ± 58,2 ^{b,A}
BR4	143,0 ± 8,9 ^{e,C}	199,2 ± 9,6 ^{i,B}	223,3 ± 16,2 ^{f,A}	235,8 ± 15,5 ^{e,A}
BR5	155,7 ± 9,2 ^{e,C}	259,7 ± 11,3 ^{h,B}	330,1 ± 14,1 ^{e,A}	341,1 ± 48,4 ^{d,A}
BR6	245,8 ± 27,6 ^{c,d,B}	407,3 ± 18,7 ^{b,c,d,A}	419,8 ± 45,8 ^{d,e,A}	424,8 ± 25,2 ^{c,A}
BR7	300,7 ± 18,3 ^{b,c,C}	377,1 ± 26,2 ^{e,d,B}	448,7 ± 30,9 ^{c,d,A}	471,7 ± 16,1 ^{c,A}
IN1	361,5 ± 84,1 ^{b,B}	392,4 ± 35,7 ^{c,d,e,A,B}	433,5 ± 22,3 ^{e,d,A,B}	449,4 ± 28,3 ^{c,A}
IN2	152,3 ± 13,4 ^{e,D}	285,7 ± 21,0 ^{g,h,C}	569,4 ± 53,7 ^{a,b,B}	659,1 ± 50,6 ^{b,A}
IN3	313,5 ± 21,7 ^{b,c,B}	443,9 ± 21,2 ^{b,A}	480,0 ± 42,4 ^{b,c,d,A}	493,3 ± 51,3 ^{c,A}
IN4	308,5 ± 7,3 ^{b,c,C}	351,6 ± 25,1 ^{e,f,B}	373,9 ± 16,0 ^{d,e,B}	443,3 ± 7,4 ^{c,A}
IN5	245,6 ± 16,6 ^{c,d,D}	325,2 ± 27,6 ^{f,g,C}	377,4 ± 22,2 ^{d,e,B}	439,2 ± 23,6 ^{c,A}

Média ± desvio padrão (n=6). Letras minúsculas se referem à comparação no mesmo dia de estocagem (brancos ou integrais) e letras maiúsculas se referem à comparação entre os dias. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05). BR1 a BR7: pães brancos; IN1 a IN5: pães integrais.

1.3.2.5. Cor L*a*b*

No primeiro dia, os valores de L* ou luminosidade para os pães brancos apresentaram valores médios de 74,73 e para os integrais de 64,45, isso é coerente, pois quanto mais branca a amostra maior o valor de L*. Os valores de a* (tom de verde (-a*) a vermelho (+a*)) foram de 0,37 (brancos) e 3,85 (integrais) evidenciando que os pães integrais têm maior tom vermelho que os pães brancos. Já para b* (tom de azul (-b*) a amarelo (+b*)) os valores foram de 15,51 (brancos) e 18,98 (integrais), indicando que os pães integrais têm tom mais amarelo que os pães brancos (**Figuras 1.7 a 1.9**). Esteller & Lannes usaram o sistema Lab e obtiveram valores de L (62,37), a (1,14) e b (10,88) para o miolo de pão de forma branco. Com o passar do tempo, praticamente não houve alteração de coloração dos pães. Uma imagem das fatias das amostras de pão pode se vista na **Figura 1.10**.

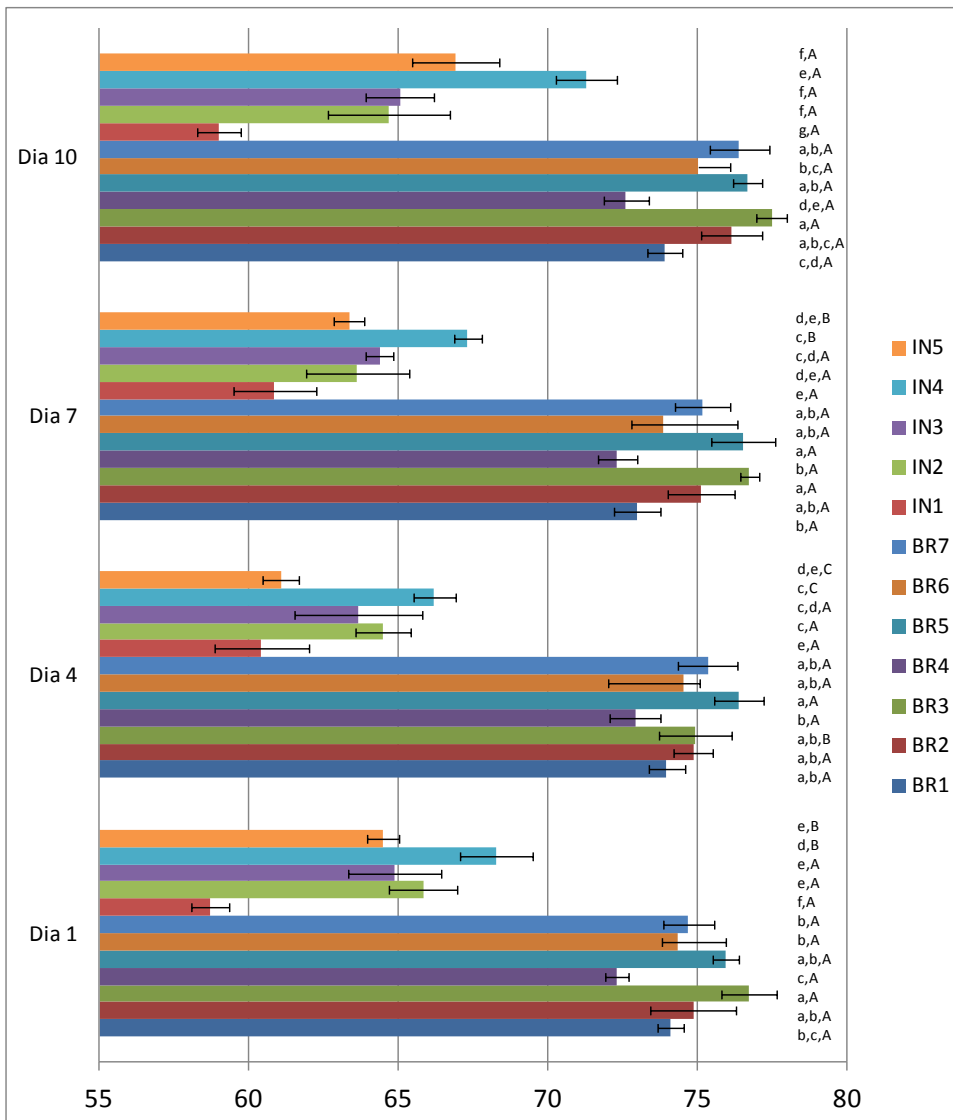


Figura 1.7. Parâmetro de cor L* dos pães comerciais nos Dias 1, 4, 7 e 10 após a compra

(a): pães brancos (BR1 a BR7); e (b): pães integrais (IN1 a IN5). As barras representam o desvio padrão das médias (n=4). Letras minúsculas se referem à comparação no mesmo dia de estocagem, letras maiúsculas se referem a comparação entre os dias. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05). BR1 a BR7: pães brancos; IN1 a IN5: pães integrais.

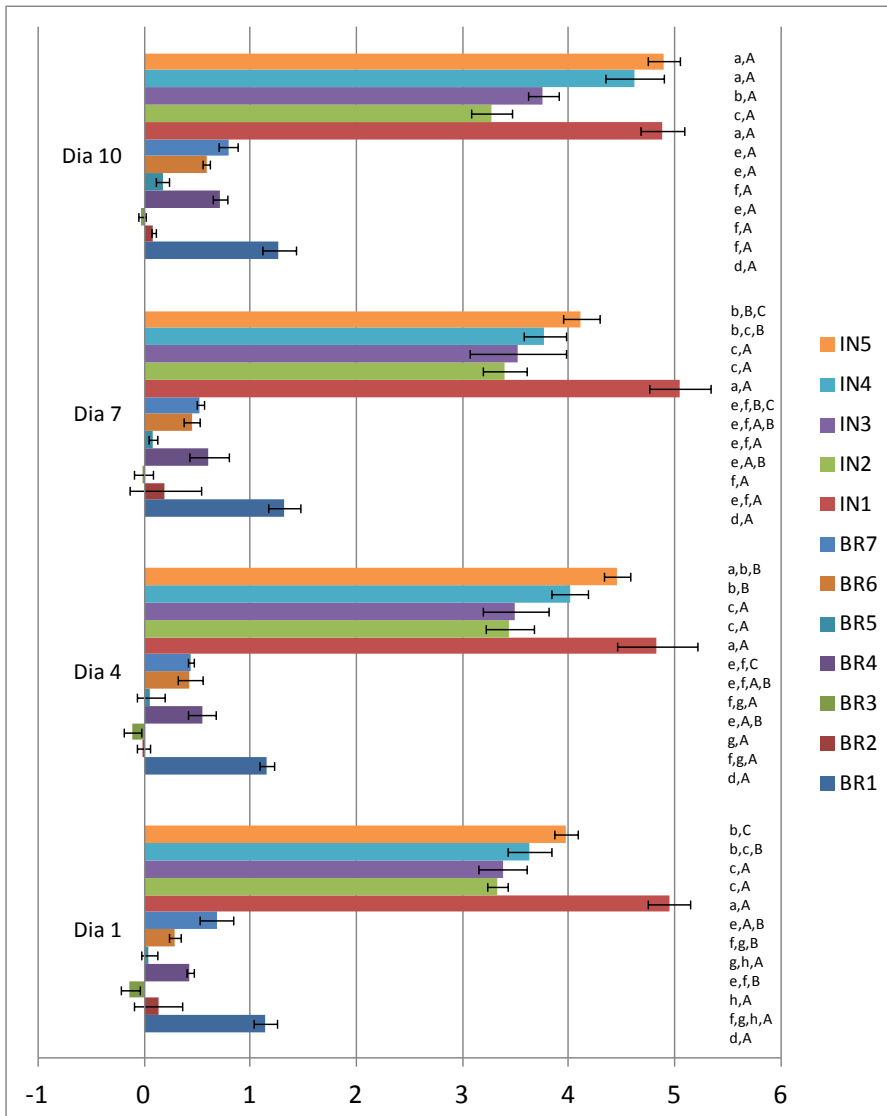


Figura 1.8. Parâmetro de cor a^* dos pães comerciais nos Dias 1, 4, 7 e 10 após a compra

(a): pães brancos (BR1 a BR7); e (b): pães integrais (IN1 a IN5). As barras representam o desvio padrão das médias (n=4). Letras minúsculas se referem a comparação no mesmo dia de estocagem, letras maiúsculas se referem a comparação entre os dias. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). BR1 a BR7: pães brancos; IN1 a IN5: pães integrais.

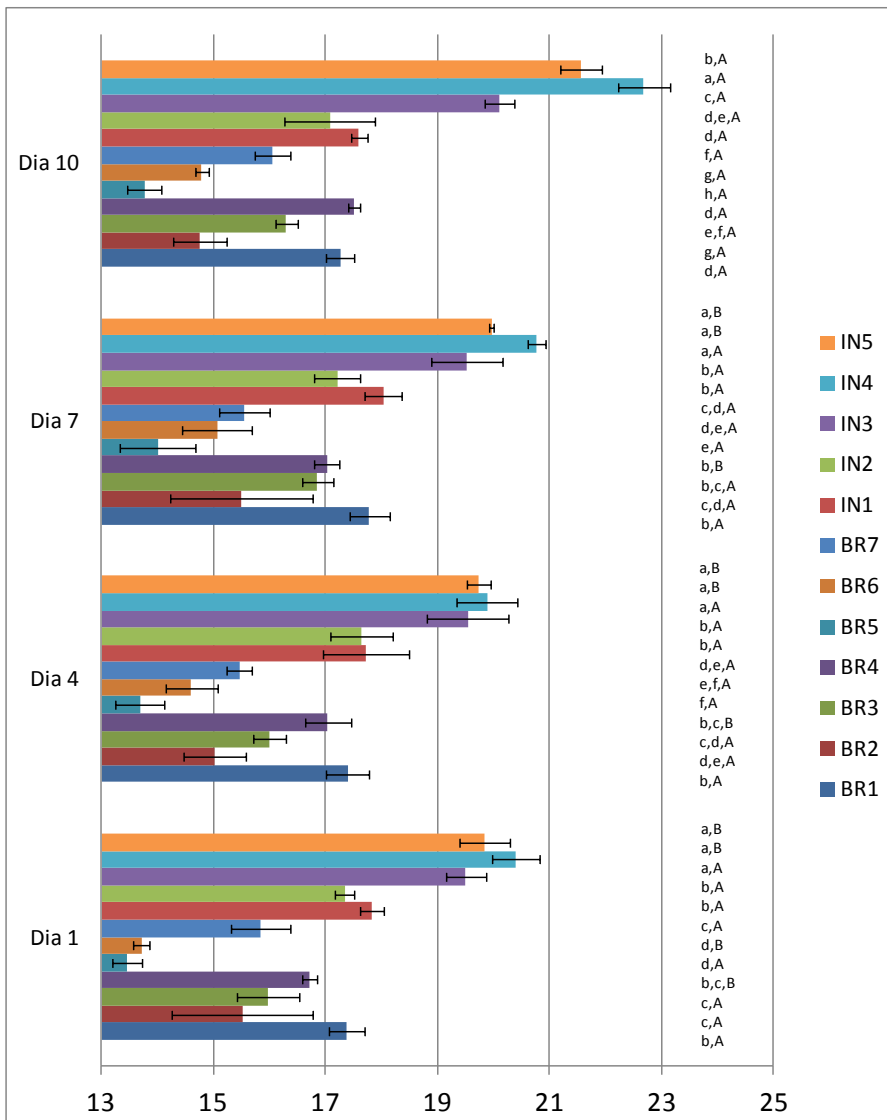


Figura 1.9. Parâmetro de cor b^* dos pães comerciais nos Dias 1, 4, 7 e 10 após a compra

(a): pães brancos (BR1 a BR7); e (b): pães integrais (IN1 a IN5). As barras representam o desvio padrão das médias ($n=4$). Letras minúsculas se referem a comparação no mesmo dia de estocagem, letras maiúsculas se referem a comparação entre os dias. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p<0,05$). BR1 a BR7: pães brancos; IN1 a IN5: pães integrais.

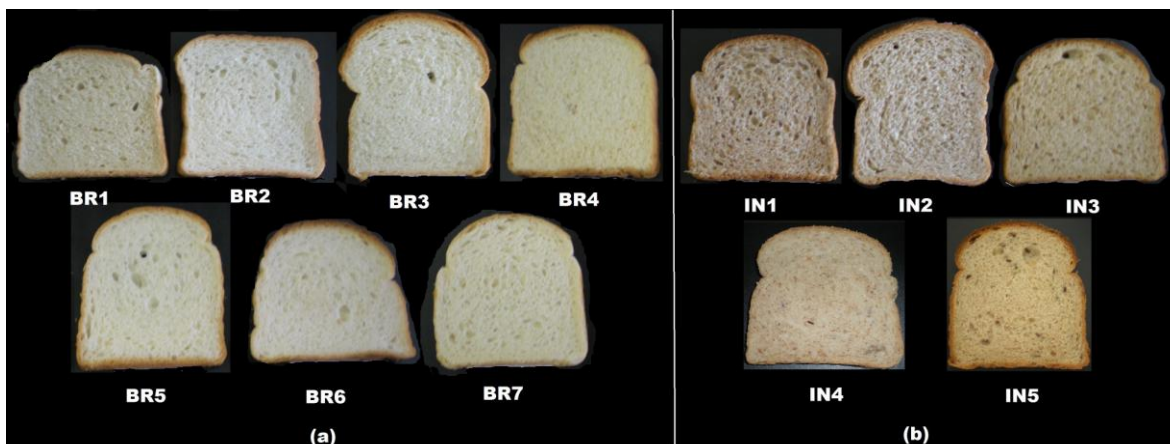


Figura 1.10. Amostras de (a) pães brancos (BR1 a BR7) e (b) integrais (IN1 a IN5)

1.3.3. Análise sensorial dos pães

1.3.3.1. Frequência de consumo e preferências

Dos 121 consumidores, 32,2% foram do sexo masculino e 67,8% do sexo feminino, 88,4% tinham entre 18 e 30 anos e 11,6% de 31 a 50 anos (**Figura 1.11**). 72,7% destes provadores consomem pão de forma de 2 a 7 vezes por semana e 9,9% consomem raramente este produto (**Figura 1.12**). Os três fatores mais importantes que o consumidor leva em conta ao comprar pão de forma foram em primeiro lugar sabor (19,6%), em segundo maciez (16,8%) e em terceiro lugar a validade (14,3%) (**Figura 1.13**). Aparência, preço, benefícios a saúde e teor de fibras foram outros fatores escolhidos. Em último lugar, de um total de 10 itens pesquisados, ficou o teor de açúcar (0,8%). Quando os dados são analisados por sexo, os homens escolhem sabor, maciez e preço. As mulheres se mostram mais detalhistas a lembrar da validade para calcular o tempo de estoque, já os homens, preferem o cálculo das despesas. Mas os dois grupos elegeram o sabor e a maciez como itens importantes no momento da compra de um pão de forma. Pohjanheimo *et al.* (2010), estudando atitudes de adolescentes finlandeses (13 a 15 anos) em relação ao pão integral e a saúde, também encontraram que a maioria mencionou sabor e textura macia como as razões mais importantes para a escolha de pão.

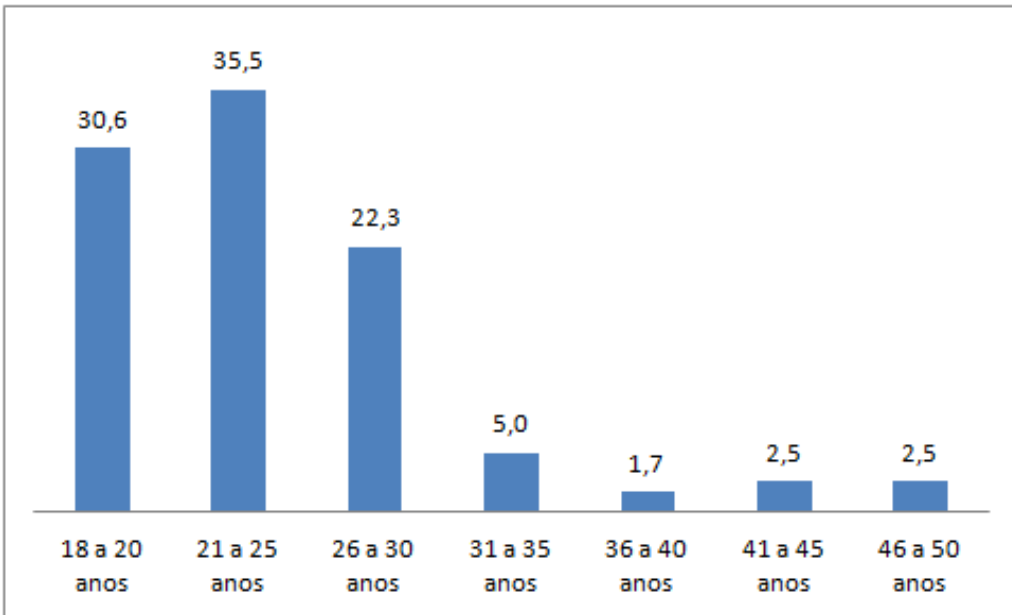


Figura 1.11. Distribuição por faixa etária dos consumidores de pão de forma comerciais (%)

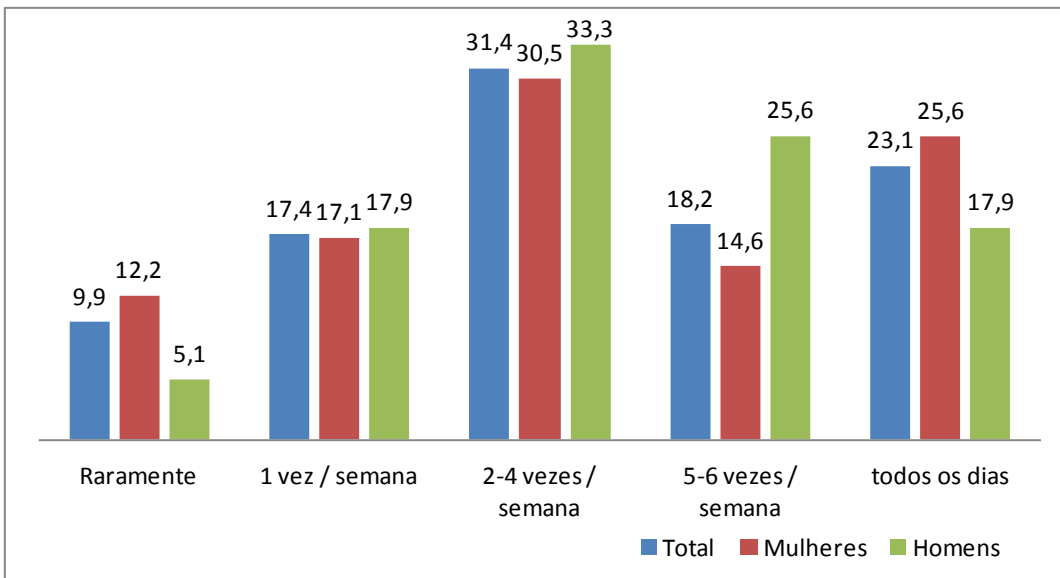


Figura 1.12. Frequência de consumo de pão de forma (%) de “raramente” a “todos os dias”

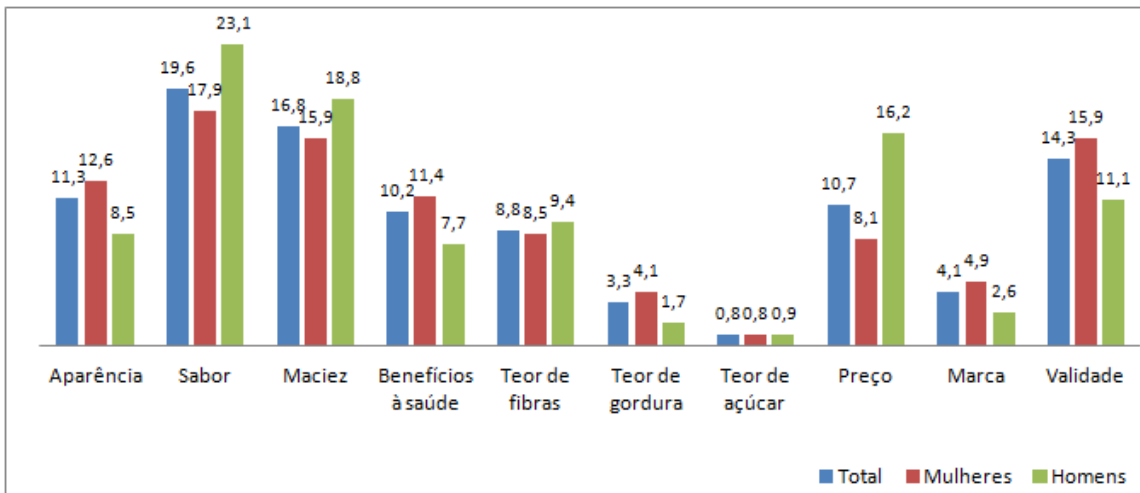


Figura 1.13. Importância de 10 fatores no ato da compra de pão de forma (%)

Quando o consumidor foi questionado se preferia consumir pão branco ou com fibras, 37,2% disseram preferir pão branco e a grande maioria diz preferir pão com fibras (62,8%). Sobre a compra de um pão branco com fibras, 82,6% disseram que provavelmente ou certamente comprariam o produto, e entre os homens este número passa para 87,2% (**Figura 1.14**). Pohjanheimo *et al.* (2010), também encontraram que o pão de centeio, que é muito consumido na Finlândia e possui fibras, foi escolhido pela maioria dos adolescentes pesquisados em relação ao pão branco, sem fibras. Eles citam que o histórico familiar de atitudes positivas em relação ao consumo de fibras desde a fase infantil aumenta o consumo de fibras na fase adulta.

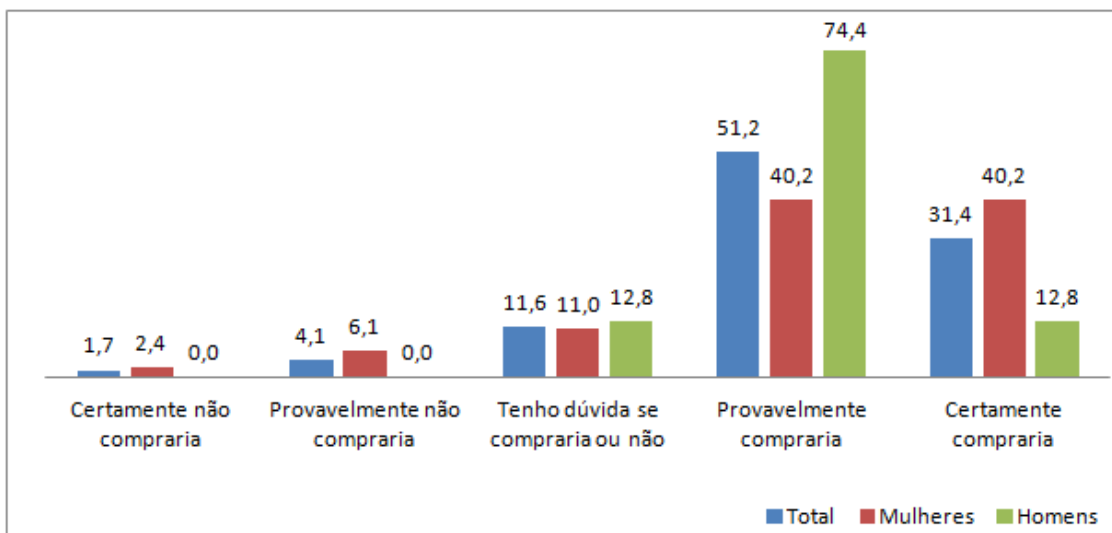


Figura 1.14. Intenção de compra (%) de um pão branco com fibras de “certamente não compraria” a “certamente compraria”

1.3.3.2. Teste afetivo

A **Tabela 1.4** mostra as médias das notas atribuídas a cada amostra em relação aos atributos avaliados. Para a aparência, as amostras receberam notas semelhantes, apenas IN2, que é um produto de padaria, recebeu nota inferior ($p < 0,05$). As amostras pouco diferiram em relação ao aroma. Já o sabor de IN4 apresentou-se menor que os outros pães, sendo que este é um produto light e possuía um sabor residual amargo relatado por vários consumidores. Em relação a textura, os pães brancos foram mais aceitos do que os integrais, apenas IN1 recebeu notas equivalentes aos pães brancos. Estes fatores influenciaram na média da impressão global de IN2 e IN4 que obtiveram valores mais baixos também ($p < 0,05$). Battochio *et al.* (2006), estudando a aceitação de 3 pães comerciais brasileiros integrais, encontraram médias semelhantes para estes mesmos atributos, 6,14(aparência), 6,40 (aroma), 5,35 (sabor), 6,09 (textura) e 6,31(impressão global).

Tabela 1.4. Médias do teste de aceitação dos pães de forma comerciais

Amostras	Aparência	Aroma	Sabor	Textura	Impressão Global
BR3	7,1 ^a	7,0 ^a	7,0 ^a	7,0 ^a	7,1 ^a
BR4	7,0 ^a	6,2 ^{b,c}	6,5 ^{a,b}	6,9 ^{a,b}	6,6 ^{a,b}
BR5	7,2 ^a	6,1 ^{b,c}	6,1 ^{b,c}	6,9 ^{a,b}	6,4 ^b
IN1	7,2 ^a	6,7 ^{a,b}	6,9 ^a	6,4 ^{b,c}	6,9 ^{a,b}
IN2	6,3 ^b	5,6 ^{c,d}	5,5 ^c	5,7 ^d	5,5 ^c
IN4	6,9 ^a	5,2 ^d	4,5 ^d	5,9 ^{c,d}	5,2 ^c

Médias do teste de aceitação (n=121), para amostras de pão de forma comerciais brancos (BR3, BR4 e BR5) e integrais (IN1, IN2 e IN4) usando escala não estruturada de 9 cm. Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Com os valores de impressão global foi possível obter o Mapa de Preferência Interno dos consumidores em relação às amostras de pão de forma comerciais avaliadas através da Análise de Componentes Principais (ACP). Os dois componentes principais explicam 62,91% de variação entre as amostras em relação à impressão global (**Figura 1.15**). Embora todos tenham um grau de aceitação, observa-se que BR5 foi muito bem aceita pelos consumidores pois apresentou as devidas características, IN4 foi o menos aceito, já que apresentou sabor residual amargo e, que os pães integrais foram menos aceitos que os brancos. Observa-se também que IN1 é diferente de IN2 e IN4 já que estão em quadrantes diferentes; BR5 é diferente de BR3 e BR4 pelo mesmo motivo. IN2 e IN4 estão próximos e por isso são similares em relação a aceitação, o mesmo vale para BR3 e BR4. BR5 e IN1 apresentaram aceitação similar por estarem no mesmo quadrante, mas apesar disso, BR5 apresenta-se mais próximo de um maior número de consumidores, por isso podemos dizer que ele foi o mais aceito.

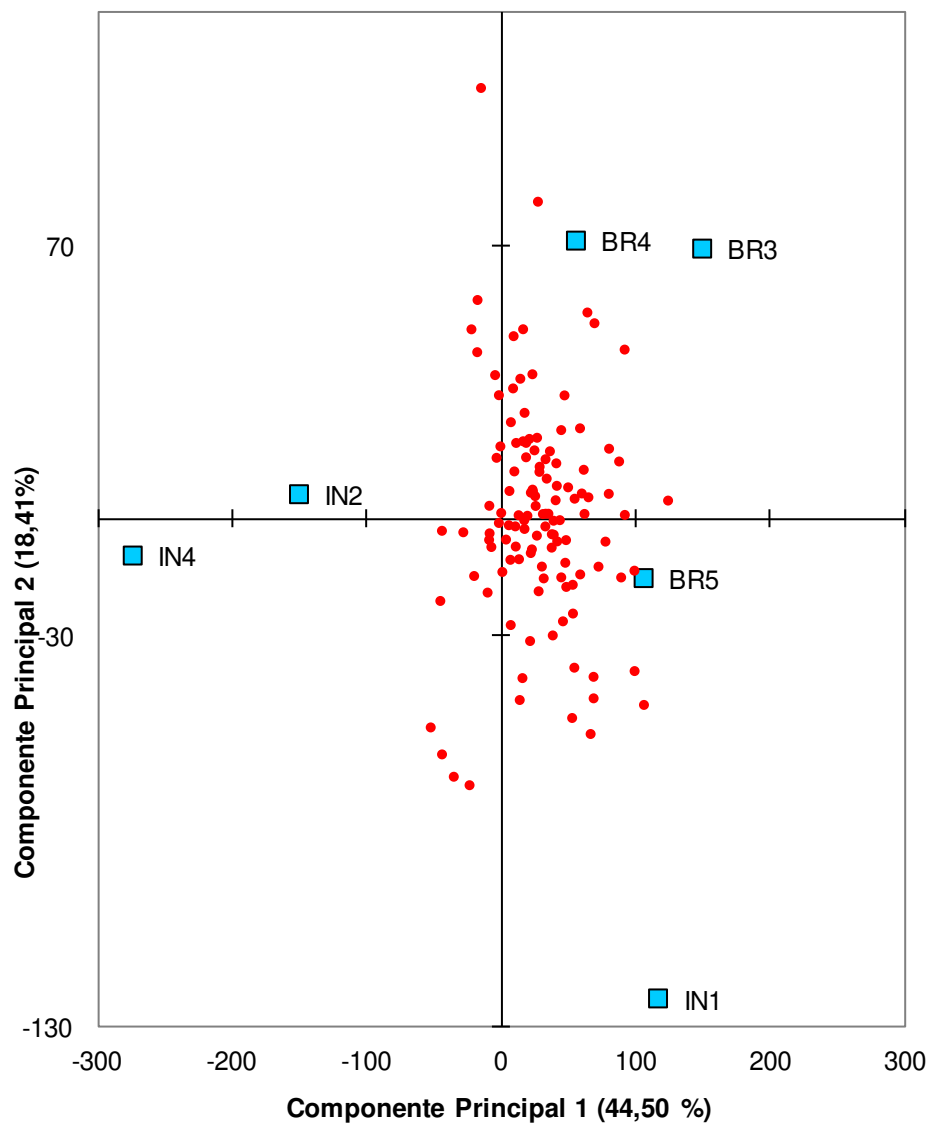


Figura 1.15. Mapa de Preferência Interno para as amostras de pão de forma comerciais em relação à impressão global

Pães brancos (BR3, BR4 e BR5) e pães integrais (IN1, IN2 e IN4), pontos vermelhos se referem aos 121 provedores.

1.3.3.3. Intenção de compra

Sobre a intenção de compra das amostras de pão de forma (**Figura 1.16**), 82,6% dos consumidores dizem que provavelmente ou certamente comprariam BR3, 74,4% para IN1 e 70,2% para BR4. Os pães com valores menores de atitudes positivas foram IN2 (45,5%) e IN4 (27,3%). Este último recebeu as menores notas provavelmente pelo residual amargo relatado pelos consumidores. Este resultado confirma o Mapa de Preferência Interno que mostra que IN4 foi a amostra menos aceita.

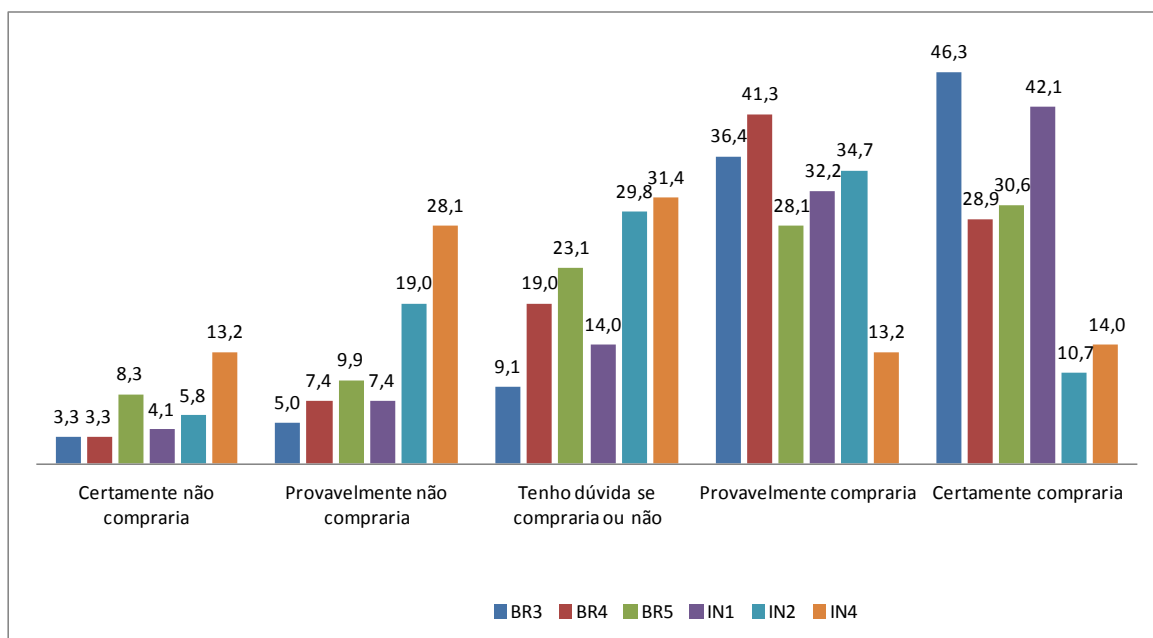


Figura 1.16. Intenção de compra (%) das amostras de pão de forma comerciais de “certamente não compraria” a “certamente compraria”
Pães brancos (BR3, BR4 e BR5) e pães integrais (IN1, IN2 e IN4).

1.4. Conclusões

Os pães de forma brancos apresentaram baixo teor de fibras alimentares e os pães de forma integrais apresentaram alto teor segundo a legislação brasileira. Apenas um pão branco com fibras, que foi classificado como branco devido a cor do miolo (BR2), porém tem fibras, apresentou alto teor de fibras com 5,1 g/50 g (inulina) e um pão integral (IN2), que foi produzido artesanalmente em padaria, apresentou valor baixo de fibras alimentares (1,3 g/50g) não sendo considerado fonte de fibras.

Os pães de forma comerciais avaliados apresentaram volume específico médio de 4,72 mL/g, porém não houve diferença estatística entre brancos e integrais.

A umidade média dos pães foi de 38,78% (dia1), 36,78% (dia 4), 35,99% (dia 7) e 35,42% (dia 10), sendo que os pães brancos apresentaram menor umidade em todos os dias de análise. A atividade de água média dos pães foi de 0,959 (dias 1 e 4), 0,954 (dia 7) e 0,947 (dia 10). BR2 apresentou os menores valores de a_w e umidade em todos os dias analisados, possivelmente pela presença de inulina em grande quantidade (8,0 g/100 g de pão de forma), que diminui a absorção e a retenção de água da massa. A a_w e a umidade dos pães integrais foram maiores que a dos pães brancos devido a presença das fibras que absorvem e retém umidade.

A firmeza dos pães brancos e integrais foi similar. BR1, BR2, BR3 e IN2 se destacaram por ter valores acima de 550 gf a partir do sétimo dia. Em todos os dias analisados BR2 (pão branco com fibra solúvel) apresentou os maiores valores de firmeza e BR4 os menores valores.

A luminosidade (L^*) dos pães brancos foi maior que a dos integrais. Os valores de a^* foram maiores nos pães integrais evidenciando que estes têm maior tom vermelho que os pães brancos. Os pães integrais também apresentaram maiores valores de b^* indicando que estes pães têm tom mais amarelo que os brancos.

Durante os dias analisados, as amostras perderam umidade e a_w ; houve aumento da firmeza e praticamente não houve alteração de coloração do miolo dos pães.

Dos consumidores pesquisados, 72,7% disseram consumir pão de forma frequentemente (2 a 7 vezes por semana), ou seja, a maioria está acostumada a este tipo de produto e foi capaz de julgar as amostras.

Estes consumidores elegeram sabor, maciez e validade como os três itens mais importantes durante a compra de um pão de forma. Sabor e maciez foram os itens mais importantes tanto para homens como para mulheres. Sendo assim, estes itens devem ser considerados no desenvolvimento de produtos com fibras para aumentar sua aceitação.

Apesar do pão branco ainda representar o pão de forma mais consumido no Brasil, quando os provadores foram questionados sobre a preferência do tipo de pão, 62,8% afirmam preferir pão com fibras. Em relação às amostras que foram analisadas sensorialmente, o preço médio foi 43,62% maior para as amostras de pão integral em relação às amostras de pão branco, que pode ser um dos fatores que justificam o maior volume de vendas dos pães brancos ser maior. Preço foi o terceiro item mais importante para os homens durante a compra e o sétimo para as mulheres.

Na análise de aceitação das amostras, a textura e o sabor se mostraram itens importantes para justificar o maior volume de vendas dos pães brancos, já que estes receberam notas maiores ($p < 0,05$) que dois pães integrais, dentre os três analisados. Por outro lado, a aparência e o aroma foram itens de pouca relevância na aceitação dos produtos. O Mapa de Preferência Interno evidenciou que os pães brancos foram mais aceitos pela maioria dos consumidores.

De uma forma geral, em relação aos pães brancos, os pães integrais do mercado brasileiro que foram analisados apresentaram maiores valores de: umidade, a_w , a^* e b^* e; menores valores de L^* e aceitação sensorial segundo o Mapa de Preferência Interno. Pães brancos e integrais não apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) para os parâmetros volume específico e firmeza instrumental. É importante lembrar que as formulações, os processos de

fabricação e a data de fabricação são diferentes, o que pode levar a diferenças na qualidade dos pães.

O desenvolvimento de um pão de forma branco com fibras se mostra uma alternativa para aumentar o consumo de fibras, já que grande parte dos consumidores (82,6%) diz que provavelmente ou certamente compraria este produto se encontrasse.

1.5. Referências Bibliográficas

- AACC, American Association of Cereal Chemists. **Approved methods**, 11th ed., St. Paul, AACC, 2010.
- ABIMA, **Associação Brasileira das Indústrias de Massas alimentícias**. “Cresce o setor de pães industrializados” (maio/ 2011). Disponível em: < <http://www.abima.com.br> >. Acesso em: 16 de dezembro de 2011.
- ABIP, **Associação Brasileira da Indústria de Panificação e Confeitaria**. “Perfil do setor de panificação no Brasil” (fevereiro/2009). Disponível em: < <http://www.abip.com.br> >. Acesso em: 19 de janeiro de 2012.
- ADA, Position of the American Dietetic Association: Health implications of dietary fiber. **Journal of the American Dietetic Association**, v.108, n.10, October, 2008.
- ADDINSOFT, XLSTAT 2007.8.03 for Excel, **Addinsoft SARL**, 2007.
- ALAUNYTE, I.; STOJCESKA, V.; PLUNKETT, A.; AINSWORTH, P.; DERBYSHIRE, E. Improving the quality of nutrient-rich Teff (*Eragrostis tef*) breads by combination of enzymes in straight dough and sourdough breadmaking. **Journal of Cereal Science**, v. 55, p. 22-30, 2012.
- AOAC, Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis of Association of Official Analytical Chemists**. 16 ed., 3. rev. Gaithersburg: AOAC International, 1997.
- ARES, G.; VARELA, P.; RADO, G.; GIMÉNEZ, A. Identifying ideal products using three different consumer profiling methodologies. Comparison with external preference mapping. **Food Quality and Preference**, v.22, p. 581-591, 2011.
- BATTOCHIO, J.R.; CARDOSO, J.M.P.; KIKUCHI, M.; MACCHIONE, M.; MODOLO, J.S.; PAIXÃO, A.L.; PNCHELLI, A.M.; DA SILVA, A.R.; DE SOUSA, V.C.; WADA, J.K.A.; WADA, J.K.A.; BOLINI, H.M.A. Perfil sensorial de pão de forma integral. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 2, p. 428-433, abr.-jun, 2006.

BRASIL, Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria SVS/MS nº 27, de 13 de janeiro de 1998. **Regulamento técnico referente à informação nutricional complementar.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 de janeiro de 1998. Disponível em: < <http://www.anvisa.gov.br> >. Acesso em: 05 de setembro de 2009.

BRASIL, Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria SVS/MS nº 386, de 5 de agosto de 1999. **Regulamento técnico sobre aditivos utilizados segundo as boas práticas de fabricação e suas funções.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 09 de agosto de 1999. Disponível em: < <http://www.anvisa.gov.br> >. Acesso em: 05 de setembro de 2009.

BRASIL, Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 344, de 13 de dezembro de 2002. **Regulamento técnico para fortificação das farinhas de trigo e das farinhas de milho com ferro e ácido fólico.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 18 de dezembro de 2002a. Disponível em:< <http://www.anvisa.gov.br> >. Acesso em: 10 de maio de 2010.

BRASIL, Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 259, de 5 de setembro de 2002. **Regulamento técnico de rotulagem de alimentos embalados.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 23 de setembro de 2002b. Disponível em:< <http://www.anvisa.gov.br> >. Acesso em: 10 de maio de 2010.

BRASIL, Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 360, de 23 de dezembro de 2003. **Regulamento técnico sobre rotulagem nutricional de alimentos embalados.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 26 de dezembro de 2003. Disponível em:< <http://www.anvisa.gov.br> >. Acesso em: 10 de maio de 2010.

- BRASIL, Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005. **Regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 23 de setembro de 2005. Disponível em:< <http://www.anvisa.gov.br> >. Acesso em: 10 de maio de 2010.
- CARDELLO, H.M.A.B.; FARIA, J.B. Análise de aceitação de aguardentes de cana por testes afetivos e mapa de preferência interno. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 20, n.1, p. 32-36-31, abr., 2000.
- CAUVAIN, S.P. Improving the control of staling in frozen bakery products. **Trends in Food Science & Technology**, v. 9, p. 56-61, 1998.
- CAUVAIN, S.P.; YOUNG, L.S. (Ed.) **Technology of Breadmaking**. Aspen Publishers (Gaitersburg, Maryland), 354p., 1999.
- CHINACHOTI, P.; VODOVOTZ, Y. **Bread Staling**, Edites by CRC Press LLC, New York, 177p. , 2001.
- CHOURDAKIS, M.; TZELLOS, T.; POURZITAKI, C.; TOULIS, K.A.; PAPAISIS, G.; KOUVELAS, D. Evaluation of dietary habits and assessment of cardiovascular disease risk factors among Greek university students. **Appetite**, v. 57, n. 2, p. 377-383, 2011.
- CODINĂ, G.G.; MIRONEASA, S.; MIRONEASA, C. Variability and relationship among MixoLab and Falling Number evaluation based on influence of fungal α -amilase addition. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. Article in Press, 2012. Publish on line in Wiley Online Library. DOI 10.1002/jsfa.5603
- DE MATTOS, L.L.; MARTINS, I.S. Consumo de fibras alimentares em população adulta. **Revista de Saúde Pública**, v. 34, n. 1, p. 50-55, 2000.
- DE MELLO, V.D.; LAAKSONEN, D.E. Fibras na dieta: tendências atuais e benefícios à saúde na síndrome metabólica e no diabetes metilo tipo 2. **Arq. Bras. Endocrinol. Metab.**, v. 53, n. 5, p. 509-518, 2009.

- DÍEZ-GAÑÁN, L.; LABACA, I.G.; DOMÍNGUEZ, C.M.L.; GRANDE, A.G.; TORRAS, B.Z.; CEBRIÁN, F.A. Food, energy and nutrient intake in children aged 5-12 in the autonomous Community of Madrid, Spain: Results of the 2001/2002 Children's Nutrition Survey Nutrition Survey. **Revista Espanola de Salud Publica**, v. 81, n. 5, p. 543-558, 2007.
- ESTELLER, M.S; LANNES, S.C.S. Parâmetros complementares para fixação de identidade e qualidade de produtos panificados, **Ciência Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 4, p. 802-806, out.-dez., 2005.
- GANDRA, K.M.; DEL BIANCHI, M.; GODOY, V.P.; QUEIROZ, F.P.C.; STEEL, C.J. Aplicação de lipase e monoglicerídeo em pão de forma enriquecido com fibras. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 1, p. 182-192, 2008.
- GÓMEZ, M.; RONDA, F.; BLANCO, C.A.; CABALLERO, P.A.; APESTEGUÍA, A. Effect of dietary fibre on dough rheology and Bread quality. **European Food Research Technology**, v. 216, p. 51-56, 2003.
- HAGER, A.-S.; RYAN, L.A.M.; SCHWAB, C.; GÄNZLE, M.G.; O'DOHERTY, J.V.; ARENDT, E.K. Influence of the soluble fibres inulin and oat β -glucan on quality of dough and bread. **Eur. Food Res. Technol.**, v. 232, p. 405-413, 2011.
- HOLMA, R.; HONGISTO, S.-M.; SAXELIN, M.; KORPELA, R. Constipation is relieved more by rye bread than wheat bread or laxatives without increased adverse gastrointestinal effects. **Journal of Nutrition**, v.140, n. 3, p. 534-541, 2010.
- KACHAN, D.; LEWIS, J.E.; DAVILA, E.P.; ARHEART, K.L.; LeBLANC, W.G.; FLEMING, L.E.; CABÁN-MARTINEZ, A.J.; LEE, D.J. Nutrient intake and adherence to dietary recommendations among US workers. **Journal of Occupational and Environmental Medicine**, Article in Press, 2011.
- KATINA, K. High-fibre baking. In: CAUVAIN, S.P. (Ed.) **Bread making**: improving quality. England: Woodhead Publishing Limited, cap. 23, p. 487-499, 2003.

- MADRUGA, S.W.; ARAÚJO, C.L.; BERTOLDI, A.D. Frequency of fiber-rich food intake and associated factors in a Southern Brazilian population. **Caderno de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 10, p. 2249-2259, out., 2009.
- MEILGAARD, M.; CIVILLE, G.V. **Sensory Evaluation Techniques**, Third Edition, CRC Press, New York, 1999.
- MOAYEDALLAIE, S.; MIRZAEI, M.; PATERSON, J. Bread improvers: Comparison of a range of lipases with a traditional emulsifier. **Food Chemistry**, v. 122, p. 495-499, 2010.
- NUNES, C.A.; PINHEIRO, A.C.M.; BASTOS, S.C. Evaluating consumer acceptance testes by three-way internal preference mapping obtained by parallel factor analysis (PARAFAC). **Journal of Sensory Studies**, v. 26, p.167-174, 2011.
- PERESSINI, D.; SENSIDONI, A. Effect of soluble dietary fbe addition on rheological and breadmaking properties of wheat doughs. **Journal of Cereal Science**, v. 49, p. 190-201, 2009.
- POHJANHEIMO, T.; LUOMALA, H.; TAHVONEN, R. Finnish adolescents´attitudes towards wholegrain Bread and healthiness. **Journal of the Science of Food and Agricultura**, v. 90, p. 1538-1544, 2010.
- PURHAGEN, J.K.; SJÖÖ, M.E.; ELIASSON, A.-C. Fibre-rich additives – the effect on staling and their function in free-standing and pan-baked bread. **J.Sci. Food Agric.**, Published on line in Wiley /online /library DOI 10.1002/jsfa.4684, 2011.
- ROSELL, C.M.; SANTOS, E. Impact of fibers on physical characteristics of fresh and staled bake off bread. **Journal of Food Engineering**, v. 98, p. 273-281, 2010.
- SALES, R.L.; VOLP, A.C.P.; BARBOSA, K.B.F.; DANTAS, M.I.S.; DUARTE,H.S.; MINIM, V.P.R. Mapa de preferência de sorvetes ricos em fibras. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28 (supl.), p. 27-31, dez., 2008.
- SALFFER, C.E. Emulsifiers as antistaling agents. **Cereal Foods World**, v. 45, n. 3, p. 106-110, 2000.

- SALMENKALLIO, M.; KATINA, K.; AUTIO, K. Effect of bran fermentation on quality and microstructure of high-fibre wheat bread. **Cereal Chemistry**, v. 78, n.4, p.429-435, 2001.
- SAS, Base SAS® 9.2 Procedures Guide, Second Edition. Cary, NC, USA: **SAS Institute Inc**, 2009.
- SIVAM, A.S.; SUN-WATERHOUSE, D.; WATERHOUSE, G.I.N.; QUEK, S.Y.; PERERA, C.O. Physicochemical properties of bread dough and finished bread with added pectin fiber and phenolic antioxidants. **Journal of Food Science**, v. 76, n. 3, 2011.
- SLUIMER, P. **Principles of breadmaking**: Functionality of raw materials and process steps, St Paul: AACC Inc., 212p., 2005.
- SOARES JÚNIOR, M.; BASSINELLO, P.Z.; CALIARI, M.; GEBIN, P.F.C., JUNQUEIRA, T.L.; GOMES, V.A.; LACERDA, D.B.C.L. Qualidade de pães com farelo de arroz torrado (Quality of breads with toasted Rice bran), **Ciência e tecnologia de alimentos**, v. 29, n. 3, p. 636-641, jul.-set., 2009.
- STEFFOLANI, M.E.; RIBOTTA, P.D.; PÉREZ, G.T.; LEÓN, A.E. Combinations of glucose oxidase, α -amilase and xylanase affect dough properties and bread quality. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 47, n.3, p.525-534, 2012.
- SULLIVAN, P.; O'FLAHERTY, J.; BRUNTON, N. ARENDT, E.; GALLAGHER, E. Fundamental rheological and texture properties of doughs and breads produced from milled pearled barley flour. **Eur. Food Technol.**, v. 231, p. 441-453, 2010.
- WANG, J.; ROSELL, C.M.; BARBER, C.B. Effect of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality. **Food Chemistry**, v. 79, p. 221-226, 2002.

WYKA, J.; BIERNAT, J.; MIKOLAJCZAK, J.; PIOTROWSKA, E. Assessment of dietary intake and nutritional status (MNA) in Polish free-living elderly people from rural. **Archives of Gerontology and Geriatrics**, v. 54, n.1, p. 44-49, 2012.

YENKET, R.; CHAMBERS IV, E.; ADHIKARI, K. A comparison of seven preference mapping techniques using four software programs. **Journal of Sensory Studies**, v. 26, p.135-150, 2011.

ZOBEL, H.F.; KULP, K. The staling mechanism. In: HEBEDA, R.E; ZOBEL, H.F.(ED) **Baked goods freshness. Technology, evaluation and inhibition of staling**, chap 1, p. 1-64, 1996.

Capítulo 2. Efeito de diferentes fontes de fibras brancas (fibra de trigo, fibra de aveia e goma acácia) na qualidade tecnológica, sensorial e nutricional de pão de forma

Resumo

Muitos consumidores de pães de forma preferem pães brancos, sem adição de ingredientes fontes de fibras, devido à aparência, ao sabor e a textura, mais agradáveis que os pães integrais. Porém o pão pode ser um bom veículo para adição de fibras alimentares. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da adição de 3 fibras brancas: fibra de trigo (TR), fibra de aveia (AV) e goma acácia (GA) na qualidade físico-química, no índice glicêmico (IG) e na aceitação sensorial de pão de forma. Foram analisadas as pré-misturas (farinha+fibras) quanto as propriedades reológicas e foram produzidos pães de forma pelo método de massa direta, utilizando o delineamento composto central rotacional 2^3 (DCCR), tendo como variáveis independentes TR (0 a 10%), AV (0 a 10%) e GA (0 a 5%) e uma formulação sem adição dessas fontes de fibra (FC) que foram avaliados nos dias 1, 4, 7 e 10 após a fabricação. As fibras alteraram as características reológicas da massa. TR e AV aumentaram a absorção de água (Abs) e os tempos de chegada, desenvolvimento e saída da massa. GA diminuiu estes parâmetros. TR e AV diminuíram a extensibilidade e GA aumentou estes parâmetros. TR, AV e GA diminuíram o volume específico e L^* e, aumentaram a^* e b^* . TR e AV aumentaram a umidade, a_w e a firmeza do miolo do pão. A diferença total de cor (ΔE) foi calculada em relação a FC e variou de 1,71 a 6,62. Foram produzidas três formulações para a validação dos modelos preditivos das superfícies de resposta considerando as melhores condições tecnológicas e garantindo ser fonte ou com alto teor de fibras: FF (2,5% GA); FR1 (6% AV e 2,5% GA) e FR2 (2% TR, 4% AV e 2,5% GA). Abs, umidade, a_w , L^* e b^* apresentaram alta correlação entre os valores preditos e experimentais. ΔE variou de 0,98 a 3,51, o que foi considerado baixo, já que no teste de aceitação realizado ($n=121$ consumidores) com as amostras FF, FR1, FR2, FC, F13 (5% TR, 5% AV e 0% GA) e F15 (5% TR, 5% AV e 2,5% GA) não foram encontradas diferenças significativas na aparência e

também para aroma, sabor, textura e impressão global. FF e FR1 apresentaram baixa redução nos índices de hidrólise (IH) e glicêmico (IG), já FR2 apresentou maior redução: 75,1% (IH) e 81,0% (IG) enquanto FC apresentou 100% e 94,6% respectivamente. FR2 com 6,70% de fibras totais e 2,39% de fibras solúveis foi classificado como produto com “alto teor de fibras”, apresentou boa aceitação pelos consumidores, a maior redução do índice glicêmico e a menor firmeza ao final do período de estocagem. FR2 apresentou características adequadas demonstrando que a utilização de fibras brancas pode ser uma boa opção para o enriquecimento de pão de forma.

Palavras-chave: pão de forma, fibras brancas, fibra de trigo, fibra de aveia, goma acácia, planejamento experimental

Abstract

Many consumers prefer white pan bread, no added ingredients with fiber, due to appearance, flavor and texture, the nicest breads. However, the bread can be a good solvent for addition of dietary fiber. The objective of this study was to evaluate the effect of adding three white fibers: wheat fiber (TR), oat fiber (AV) and gum acacia (GA) in the physical and chemical quality, glycemic index and the sensory acceptance of bread. We analyzed the pre-mix (flour + fiber) in relationship rheological properties and breads were produced in a straight dough method, using a 2^3 central composite rotational design (CCRD), having as independent variables TR (0-10%) AV (0-10%) and GA (0-5%) and a formulation without fibers (FC) were evaluated on days 1, 4, 7 and 10 after fabrication. The fibers altered the rheological characteristics of the dough. TR and AV increased water absorption (Abs) and the arrival, development and out times of dough. GA decreased these parameters. TR and AV decreased extensibility and GA increased these parameters. TR, AV and GA decreased the specific volume and increased L^* , a^* and b^* . TR and AV increased moisture, a_w , and crumb firmness. The total color difference (ΔE) was calculated compared to FC and ranged from 1.71 to 6.62. Three formulations were produced for the validation of predictive models of response surfaces: FF (2.5% GA), FR1 (6% AV and 2.5% GA) and FR2 (2% TR, 4% AV and 2.5% AV). Abs, moisture, a_w , L^* and b^* values showed a high correlation between predicted and experimental. ΔE ranged from 0.98 to 3.51, which was considered low, since the acceptance test conducted (n = 121 panelists) with samples FF, FR1, FR2, FC, F13 (5% TR, 5% AV and 0% GA) and F15 (5% TR, 5% AV and 2.5% GA) were not significant differences in appearance and also for aroma, flavor, texture and overall impression. FR1 and FF had low reduction in hydrolysis index (HI) and glycemic index (GI), FR2 has a greater reduction: 75.1% (HI) and 81.0% (GI) while FC showed 100% and 94.6% respectively. FR2 with 6.70% of total fiber and 2.39% soluble fiber was classified as "high fiber", presented good acceptance by consumers, the largest reduction of the glycemic index and firmness in the lower end of the storage period. FR2 has

adequate characteristics demonstrating that the use of white fibers may be a good options for the enrichment of bread.

Keywords: Bread, white fibers, wheat fiber, oat fiber, acacia gum, experimental design

2.1. Introdução

Sabe-se que os pães brancos, aqueles preparados com farinha de trigo refinada, ainda lideram o volume de vendas no Brasil, porém, estes têm um teor de fibras alimentares baixo em relação aos pães especiais que possuem além da farinha de trigo, ingredientes com alto teor de fibras como, por exemplo, aveia, farelo de trigo e centeio. Como preparação para este estudo, foi feita uma análise dos dados sobre a declaração de fibras alimentares nos rótulos de pães de forma comerciais do mercado brasileiro, disponíveis no ano de 2010. Foi encontrado que os pães brancos têm valor médio de $1,2 \pm 0,3$ g de fibras alimentares por porção de 50 g de pão (17 tipos avaliados), já os pães especiais possuem valor médio de $3,1 \pm 1,2$ g/50 g de pão (81 tipos avaliados). Com base nestas médias, os pães especiais brasileiros são, em média, classificados como produtos de “alto teor de fibras” ($\geq 6,0$ g fibras/100 g) e os pães brancos brasileiros possuem baixo teor de fibra, não se classificando como “fonte de fibras” ($\geq 3,0$ g fibras/100 g) segundo legislação brasileira (BRASIL, 1998).

As fibras alimentares têm sido muito estudadas pelos benefícios à saúde e correspondem aos carboidratos e análogos que não são digeríveis no organismo humano (ADA, 2008; AACC, 2001). A ingestão de fibras está associada com diminuição dos riscos de câncer de colo retal, diabetes melito tipo 2, doenças cardiovasculares e síndrome metabólica (AUNE *et al.*, 2011; POST *et al.*, 2012; DE MELLO & LAAKSONEN, 2009; KOKUBO *et al.*, 2011; HOSSEINPOUR-NIAZI *et al.*, 2011; KUSHI *et al.*, 2012). De acordo com a solubilidade em água, se classificam em solúveis e insolúveis. As fibras solúveis produzem aumento de viscosidade do conteúdo intestinal, reduzem o colesterol sanguíneo e têm efeito positivo na resposta insulínica glicêmica. As fibras insolúveis aumentam o volume do bolo fecal, reduzindo o tempo de trânsito no intestino grosso (NILSSON *et al.*, 2006; DE MATTOS & MARTINS, 2000).

Muitos consumidores de pães de forma preferem pães brancos, sem adição de ingredientes com fibras, os quais alteram a aparência, o sabor e a textura dos pães integrais. Uma alternativa para o enriquecimento de pães é a adição de fibras brancas.

As fibras comerciais purificadas de trigo e aveia contêm até 97% de fibras em base seca, são extraídas das plantas de trigo e aveia e são fontes de fibra insolúvel. São apresentadas na forma de pó branco e têm pouca interferência sensorial, como alteração de cor e sabor, quando adicionadas na formulação de produtos alimentícios (JRS, 2010).

A goma acácia, que é considerada fonte de fibras solúveis, é um produto exsudado do tronco de árvores de *Acacia*, é comercializada na forma de um pó levemente amarelo e possui um teor mínimo de 90% de fibras solúveis em base seca (CNI, 2010). Como um hidrocolóide, tem funções tecnológicas de espessante e emulsificante pela característica de aumento de viscosidade e retenção de umidade (PHILLIPS *et al.*, 2008; YADAV *et al.*, 2007; SANCHEZ *et al.*, 2002).

O objetivo deste trabalho foi estudar o efeito de diferentes fontes de fibras brancas (fibra de trigo, fibra de aveia e goma acácia) na qualidade de pão de forma com a finalidade de produzir pão branco enriquecido com fibras.

2.2. Material e Métodos

2.2.1. Matérias-primas

Para a produção dos pães de forma, foram utilizadas as seguintes matérias-primas, doadas por fornecedores ou adquiridas no mercado local: farinha de trigo PROPAN 75 (Bunge Alimentos, Tatuí-SP), açúcar refinado, fermento biológico seco instantâneo, melhorador em pó, gordura para panificação, leite em pó integral, sal e propionato de cálcio.

Aos pães foram adicionadas as seguintes fibras: fibra de trigo Sanacel® Wheat 90 (CFF GMBH + CO.KG, Alemanha), fibra de aveia Sanacel® Oat 90 (CFF GMBH + CO.KG, Alemanha) e goma acácia Fibregum B (CNI – Colloïdes Naturels International, França).

2.2.2. Caracterização das matérias-primas

2.2.2.1. Farinha de trigo

A farinha de trigo foi caracterizada através das seguintes análises: (a) composição centesimal: umidade, proteínas, lipídios, cinzas e fibra alimentar (total, solúvel e insolúvel) pelos Métodos AACC (2010) 44-15.02, 46-13.01, 30-25.01, 08-01.01 e AOAC (1997) 985.29, 991.43 respectivamente. Os carboidratos totais foram determinados por diferença (100% – os demais componentes exceto fibras); (b) granulometria pelo Método AOAC (1997) 965.22; (c) cor com espectrofotômetro ColorQuest II HunterLab (Hunter Associates Laboratory, Inc., Reston, Virginia – USA) pelo Sistema CIE L*a*b*, iluminante D65, ângulo do observador 10°, reflectância RSIN; (d) os teores de glúten seco e úmido e o índice de glúten foram determinados no sistema Glutomatic, de acordo com o Método AACC (2010) 38-12.02; (e) a atividade diastática da farinha de trigo foi analisada pelo “Falling Number”, de acordo com o Método AACC (2010) 56-81.03; (f) a absorção de água e as propriedades de mistura da farinha de trigo foram determinadas no farinógrafo Brabender (Duisburg- Alemanha), segundo o Método AACC (2010) 54-21.01, utilizando-se 300 g de farinha (base 14% de umidade); (g) as propriedades de extensão da farinha de trigo foram determinadas no extensógrafo Brabender (Duisburg – Alemanha), segundo Método AACC (2010) 54-10.01 (AACC, 2010; AOAC, 1997).

2.2.2.2. Fontes de fibras brancas

As fontes de fibras brancas utilizadas foram caracterizadas quanto à: (a) composição centesimal: umidade, proteínas, lipídios, cinzas e fibra alimentar (total, solúvel e insolúvel) pelos Métodos AACC (2010) 44-15.02, 46-13.01, 30-25.01, 08-01.01 e AOAC (1997) 985.29, 991.43 (AACC, 2010; AOAC, 1997) respectivamente. Os carboidratos totais foram determinados por diferença (100% – os demais componentes exceto fibras); (b) granulometria pelo Método AOAC (1997) 965.22; (c) cor com espectrofotômetro ColorQuest II HunterLab (Hunter

Associates Laboratory, Inc., Reston, Virginia – USA) pelo Sistema CIE L*a*b*, iluminante D65, ângulo do observador 10°, reflectância RSIN.

2.2.2.3. Avaliação das pré-misturas

As pré- misturas se referem a misturas de farinha de trigo e fibras. As metodologias empregadas foram: (a) absorção de água e propriedades de mistura em farinógrafo Brabender, segundo Método AACC (2010) 54-21.01 (AACC, 2010), utilizando-se 300 g de farinha (base 14% de umidade); (b) propriedades de extensão em extensógrafo Brabender, segundo Método AACC (2010) 54-10.01 (AACC, 2010).

2.2.3. Elaboração e avaliação dos pães de forma com adição de fibras

2.2.3.1. Elaboração dos pães de forma

Para a produção dos pães, foi utilizada a formulação da **Tabela 2.1**. As diferentes combinações de fibra de trigo, fibra de aveia e goma acácia foram acrescentadas à formulação substituindo parte da farinha de acordo com um planejamento experimental do tipo Delineamento Central Composto Rotacional (DCCR), com os níveis de variação apresentados na **Tabela 2.2** (RODRIGUES & IEMMA, 2009). Os níveis foram definidos após a realização de ensaios pré-testes. Dezoito ensaios foram conduzidos com oito pontos fatoriais (2^3), seis pontos axiais (2×3), e quatro repetições do ponto central (**Tabela 2.3**). As variáveis respostas analisadas foram: características farinográficas, características extensográficas, tempo de mistura rápida, perda no forno, volume específico, umidade, atividade de água, firmeza do miolo, cor L*a*b* e ΔE . Em cada dia foram realizados 6 ensaios, com um dos pontos centrais incluídos. A quantidade de água acrescentada à formulação variou em função da absorção de água farinográfica de cada pré-mistura (farinha + fibras). Também foi elaborado um ensaio controle sem a adição de fibras.

Tabela 2.1. Formulação para a produção dos pães de forma

Ingrediente	% sobre a farinha
Farinha de trigo + fibras	100 ^a
Água	(58 – 67) ^b
Açúcar	6
Gordura	4
Leite em pó	4
Sal	2
Fermento biológico seco instantâneo	1,3
Melhorador em pó ^c	1
Propionato de cálcio	0,2

^aParte da farinha de trigo foi substituída por fibra de trigo, fibra de aveia e goma acácia conforme o planejamento. A quantidade foi 100% menos a quantidade de fibra adicionada; ^bQuantidade ajustada de acordo com a absorção farinográfica (500 BU) de cada pré- mistura (farinha + fibras).^cMelhorador ZEA 500 Emulsint: amido de milho e/ou mandioca e/ou trigo e açúcar, estabilizante monooleato de polioxietileno, sorbitana e lecitina de soja, melhoradores de farinha ácido ascórbico e alfa amilase, aromatizante artificial e corante beta-caroteno sintético.

Tabela 2.2. Variáveis e níveis do planejamento experimental 2³

Variáveis independentes	Variáveis codificadas	Níveis				
		-1,68	-1	0	+1	+1,68
Fibra de trigo (TR) %	x ₁	0	2	5	8	10
Fibra de aveia (AV) %	x ₂	0	2	5	8	10
Goma acácia (GA) %	x ₃	0	1	2,5	4	5

Tabela 2.3. Matriz do planejamento experimental para a adição das diferentes fontes de fibra alimentar na formulação dos pães

Pontos	Ensaio	Valores codificados			Valores reais			Farinha de trigo(%)
		x_1	x_2	x_3	TR(%)	AV(%)	GA(%)	
Fatoriais	F1	-1	-1	-1	2	2	1	95
	F2	1	-1	-1	8	2	1	89
	F3	-1	1	-1	2	8	1	89
	F4	1	1	-1	8	8	1	83
	F5	-1	-1	1	2	2	4	92
	F6	1	-1	1	8	2	4	86
	F7	-1	1	1	2	8	4	86
	F8	1	1	1	8	8	4	80
Axiais	F9	-1,68	0	0	0	5	2,5	92,5
	F10	1,68	0	0	10	5	2,5	82,5
	F11	0	-1,68	0	5	0	2,5	92,5
	F12	0	1,68	0	5	10	2,5	82,5
	F13	0	0	-1,68	5	5	0	90
	F14	0	0	1,68	5	5	5	85
Centrais	F15	0	0	0	5	5	2,5	87,5
	F16	0	0	0	5	5	2,5	87,5
	F17	0	0	0	5	5	2,5	87,5
	F18	0	0	0	5	5	2,5	87,5
Controle (FC)					0	0	0	100

TR: Fibra de trigo; AV: Fibra de aveia; GA: Goma acácia.

Os ingredientes foram misturados em uma masseira automática espiral (modelo HAE10, Indústria de Máquinas Hyppolito Ltda., Ferraz de Vasconcelos, SP) em velocidade baixa (~90 rpm) por 5 minutos e em velocidade alta (~210 rpm) até o desenvolvimento ótimo da rede de glúten. A água utilizada foi gelada (1 a

6°C). A temperatura da massa também foi medida para não ultrapassar 30°C a fim de não perder características de maquinabilidade e consistência (SLUIMER, 2005). A massa foi dividida em porções de 400 ± 1 g, modeladas em modeladora elétrica (modelo HM2, Indústria de Máquinas Hyppolito Ltda., Ferraz de Vasconcelos, SP), colocadas em formas abertas (de dimensões 20 cm x 10 cm x 5 cm) e levadas à câmara de fermentação Thermo pão (modelo QF2C, Maquip Indústria de Máquinas para Panificação Ltda., Curitiba, PR), a 30°C e 80 % U.R., onde permaneceram por 90 minutos.

Os pães foram então assados em forno elétrico (marca Hass, modelo IP 4/80) regulado à temperatura de lastro 175°C e teto 170 °C, por 30 minutos, com vapor no início do forneamento. Após o forneamento, os pães foram desenformados e resfriados até à temperatura ambiente (~2 h), após isso, foi aspergida solução alcoólica de ácido sórbico e propionato de cálcio sobre os pães, para minimizar o crescimento fúngico. Os pães foram fatiados no dia seguinte com o auxílio de uma fatiadora de pães (marca G. Paniz), embalados em sacos de polietileno e estocados à 20 ± 2 °C até as análises. Foram separados 3 pães inteiros, sem fatiar, para proceder a determinação do volume específico.

2.2.3.2. Avaliação do processo de fabricação

O tempo de mistura rápida, até o ponto ótimo de desenvolvimento da rede de glúten, foi medido para cada ensaio com cronômetro digital (Icoterm®, Icoterm Indústria de Termômetro, Porto Alegre- Brasil). Também foi avaliada a perda de massa durante o forneamento, pesando-se 5 pães antes (massas) e depois do assamento (após o resfriamento) em balança semi-analítica (Mettler Toledo, Toledo do Brasil Indústria de Balanças Ltda., São Bernardo- Brasil).

2.2.3.3. Avaliação dos pães de forma

Os pães de forma foram avaliados quanto a: (a) volume específico; (b) umidade do miolo; (c) atividade de água do miolo; (d) firmeza do miolo; (e) cor $L^*a^*b^*$ do miolo conforme metodologias descritas no **Capítulo 1** item **1.2.2.**

Avaliação dos pães de forma, e (f) diferença total de cor (ΔE) conforme a equação: $\Delta E = ((L^*_f - L^*_c)^2 + (a^*_f - a^*_c)^2 + (b^*_f - b^*_c)^2)^{1/2}$

Onde, f = valores referentes às formulações com fibras e c = valores para o controle sem fibras (HUNTERLAB, 2008). As análises de firmeza, cor e atividade de água foram feitas no primeiro, quarto, sétimo e décimo dias após o processamento.

2.2.3.4. Escolha das formulações de interesse

A partir das Superfícies de Resposta e dos demais resultados obtidos, foram escolhidas três formulações com as melhores características tecnológicas, visando ter produtos com “alto teor de fibras” (2 formulações) e “fonte de fibras” (1 formulação) segundo a legislação brasileira (BRASIL, 1998), com propriedades físico-químicas adequadas.

2.2.3.5. Validação

A partir das formulações escolhidas no item anterior através do planejamento experimental, foi feito um novo processamento de pão para validar os modelos matemáticos obtidos através da Metodologia de Superfície de Resposta. As pré-misturas e a farinha de trigo foram avaliados quanto aos parâmetros farinográficos e extensográficos conforme descrito no item **2.2.2.3 Avaliação das pré-misturas**. Os pães de forma preparados com as fibras e um controle sem fibras foram avaliados quanto a: (a) volume específico; (b) umidade do miolo; (c) atividade de água do miolo; (d) firmeza do miolo; (e) cor conforme metodologias descritas no **Capítulo 1 item 1.2.2. Avaliação dos pães de forma** e (f) ΔE conforme descrito no item **2.2.3.3. Avaliação dos pães de forma**. Para as 3 formulações escolhidas e para um controle sem fibras, foram determinados também o índice glicêmico, a composição centesimal e os teores de fibra alimentar total, insolúvel e solúvel.

2.2.3.6. Índice glicêmico *in vitro*

O índice glicêmico (IG) *in vitro* foi determinado utilizando a metodologia de Goñi *et al.* (1997) e modificada por Leoro *et al.* (2010), após a moagem das amostras secas e desengorduradas utilizando gral e pistilo e passagem por peneira de 100 mesh. A equação e a área sob a curva de hidrólise do amido (%) x tempo (min) foram calculados utilizando o programa Microcal Origin 6.0 (MICROCAL, 1999).

2.2.3.7. Composição centesimal e fibra alimentar

A composição centesimal foi realizada conforme descrito na parte (a) do item **2.2.2.2. Fontes de fibras brancas**. O teor de fibra alimentar total, insolúvel e solúvel foi determinado por análise enzimática gravimétrica, de acordo com os métodos AOAC (1997) 985.29 e 991.43 (AOAC, 1997).

2.2.3.8. Análise sensorial – teste de aceitação

As 3 formulações escolhidas, 2 formulações do planejamento (F13 – sem goma acácia e F15 – ponto central) e o controle sem fibras, foram avaliados sensorialmente pelo teste de aceitação com 121 consumidores. F13 e F15 foram acrescentadas para ter o número mínimo de amostras (seis) para a Análise dos Componentes Principais (ACP) e, foram escolhidas, pois F13 é a única formulação do planejamento que não apresenta goma acácia. F15 representa o ponto central com quantidades intermediárias das três fibras. O experimento foi realizado conforme descrito no **Capítulo 1** item **1.2.3. Avaliação sensorial dos pães de forma**. O Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, requisito do Comitê de Ética em Pesquisa para estudos com seres humanos, consta no **ANEXO A.2**.

2.2.3.9. Análise dos resultados

Os resultados do planejamento experimental foram analisados segundo metodologia de Superfície de Resposta utilizando o programa Statistica® 7.1

(STATSOFT, 2005). Os resultados da análise sensorial e do índice glicêmico foram analisados pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) para a comparação das médias, utilizando-se o programa SAS[®] 9.2 (SAS, 2009). Para o atributo impressão global também foi aplicado a Análise de Componentes Principais (ACP), utilizando-se o programa XLSTAT 2007.8.03 (ADDINSOFT, 2007).

A análise dos resultados do Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) é feita através do cálculo dos coeficientes de regressão, erros respectivos e análise estatística para os limites de tolerância estabelecidos (no caso deste estudo foi considerado nível de significância de 10% ($p < 0,1$)), posteriormente é feita a análise de variância (ANOVA) para verificar a qualidade de ajuste do modelo. Três hipóteses devem ser obedecidas para afirmar que os dados obtidos geram modelos preditivos das respostas em função das variáveis independentes (para este estudo: fibra de trigo, fibra de aveia e goma acácia): 1 - Há regressão linear; 2.- Não há falta de ajuste do modelo e; 3 - O R^2 deve ser maior ou igual ao mínimo estabelecido (para este estudo $R^2 = 70\%$, valor considerado adequado para esta metodologia, visando não ignorar termos importantes para o trabalho). R^2 representa a relação entre a soma dos quadrados dos termos da regressão e a soma dos quadrados do total, e é conhecido como a variação explicada pelo modelo. As duas primeiras hipóteses são analisadas pelo teste F, onde:

$F_{\text{resíduos calculado}} > F_{\text{tabelado}}$ e $F_{\text{falta de ajuste calculado}} < F_{\text{tabelado}}$. Após isso, é expresso o modelo na forma de uma equação e as superfícies de resposta são geradas. Também se faz necessário a análise do erro relativo entre os valores obtidos através dos modelos preditivos e os valores reais obtidos nos experimentos (RODRIGUES & IEMMA, 2009). Todas as tabelas de cálculos estatísticos deste estudo estão nos **ANEXOS**.

2.3. Resultados e Discussão

2.3.1. Caracterização das matérias-primas

2.3.1.1. Análises físico-químicas

Composição centesimal, fibra alimentar, granulometria e cor da farinha de trigo e das três fontes de fibras são mostrados na **Tabela 2.4**.

Pela composição centesimal, esta farinha de trigo se classifica como tipo I pela legislação brasileira (BRASIL, 2005): o teor de cinzas é menor que o máximo 0,8% b.s, o teor de proteína é maior que o mínimo de 7,5% b.s. e a umidade é menor que o máximo de 15%. Os valores de composição centesimal da farinha são similares aos encontrados por Conto *et al.* (2012) que também utilizaram farinha de trigo para a produção de pães. Os valores obtidos por eles convertidos em base seca foram: 10,49% de proteína, 1,22% de lipídios, 0,46% de cinzas e 74,55% de carboidratos. Cauvain & Young (1999) citam que para a fabricação de pães, a farinha de trigo deve ter um mínimo de 12% de proteínas. Gliadina e glutenina fazem partes das proteínas do trigo (70 a 95%) e atuam na formação do complexo visco-elástico que é a rede de glúten, formando a massa do pão (CORNELL, 2003).

Sobre a granulometria, 78% do produto passaram pela peneira de 60 mesh (250 μm) e pela legislação 95% da farinha de trigo tipo I e tipo II deveriam ter tamanho menor que 250 μm . Este valor ainda é muito superior a 20,13% obtido por Almeida (2006) que estudou pães pré-assados. A farinha usada por este autor tinha predominantemente (71,73%) partículas do tamanho médio de 250 a 840 μm . O tamanho das partículas da farinha de trigo e das fibras influencia na capacidade de absorção de água, ou seja, quanto menor o tamanho da partícula mais água absorvem. Assim, a granulometria das matérias-primas contribui para a qualidade da massa dos produtos de panificação, sendo que as partículas finas promovem uma hidratação mais rápida e diminui o tempo de batimento da massa (SILVA *et al.*, 2009a; SILVA *et al.*, 2009b; ALMEIDA, 2006). Já as fontes de fibra alimentar apresentaram granulometria fina (> 93% tem tamanho < 250 μm), ou seja, mais que 93% do produto passam pela peneira de 60 mesh.

Com relação à cor, apenas a goma acácia apresentou tom amarelado visualmente, o que é confirmado pelo maior valor de b^* (+ b : tom amarelo) (**Figura 2.1**).

A farinha de trigo também apresentou 26,90% de glúten úmido, 8,90% de glúten seco, 75,84 de índice de glúten. Almeida (2006) obteve valores similares: 30,90% de glúten úmido, 10,25% de glúten seco, 75,67 de índice de glúten e cita que a faixa do índice de glúten ótimo para panificação é de 60 a 90. Já Pizzinato & Magno (1995) dizem que o índice de glúten ideal para panificação é > 90 .

O Falling Number da farinha de trigo foi de 401 segundos, indicando baixa atividade de α -amilase devido a ser superior a 300 s (PIZZINATO & MAGNO, 1995). A α -amilase atua hidrolisando as ligações da cadeia de amilose e amilopectina das moléculas de amido danificado e gelatinizado. Atua em conjunto com a β -amilase para converter o amido totalmente a maltose (CAUVAIN & YOUNG, 1999). Neste trabalho foi utilizado um melhorador de farinha que continha α -amilase para reforçar a ação desta enzima na qualidade da massa, fornecendo substrato para o fermento e boas características sensoriais (cor e sabor).

Os teores de fibra alimentar total das fontes de fibras encontrados foram um pouco mais baixos que as especificações dos fabricantes, que indicavam em base seca mínimo de 96% para as fibras de trigo e aveia e de 90% para a goma acácia. Porém os teores de fibra insolúvel e solúvel para cada uma das fibras confirmam que são fontes destes ingredientes.



Figura 2.1. Fontes de fibra branca: Fibra de trigo, fibras de aveia e goma acácia

Tabela 2.4. Composição centesimal, fibras alimentares, granulometria e cor das matérias primas

Análises	Farinha de trigo	Fibra deTrigo -TR	Fibra de Aveia - AV	Goma acácia -GA
<i>Composição Centesimal</i>				
Umidade (% b.u.)	12,96 ± 0,01 ^a	6,08 ± 0,10 ^d	7,33 ± 0,21 ^c	10,04 ± 0,09 ^b
Proteínas (% b.s.)	14,23 ± 1,18 ^a	0,77 ± 0,06 ^c	0,74 ± 0,03 ^c	1,12 ± 0,08 ^b
Lipídios (% b.s.)	1,66 ± 0,15 ^a	1,19 ± 0,80 ^{ab}	0,38 ± 0,08 ^b	0,69 ± 0,26 ^b
Cinzas (% b.s.)	0,65 ± 0,01 ^c	0,54 ± 0,03 ^d	1,48 ± 0,06 ^b	5,12 ± 0,15 ^a
Carboidratos (% b.s.) ¹	83,46	97,49	97,40	93,07
<i>Fibra alimentar</i>				
Fibra total (% b.s.)	3,54 ± 0,19 ^c	93,82 ± 0,23 ^a	92,23 ± 0,41 ^a	80,37 ± 1,25 ^b
Fibra insolúvel (% b.s.)	1,77 ± 0,18 ^c	91,63 ± 0,18 ^a	87,81 ± 0,08 ^b	0,71 ± 0,03 ^d
Fibra solúvel (% b.s.)	1,77 ± 0,04 ^d	2,19 ± 0,02 ^c	4,42 ± 0,40 ^b	79,66 ± 1,24 ^a
<i>Granulometria</i>				
20mesh	0,83 ± 0,28 ^a	0,59 ± 0,20 ^a	0,43 ± 0,10 ^a	0,12 ± 0,02 ^b
35 mesh	0,95 ± 0,36 ^a	0,20 ± 0,05 ^b	0,21 ± 0,06 ^b	0,67 ± 0,15 ^a
60 mesh	20,41 ± 1,41 ^a	0,46 ± 0,04 ^c	0,40 ± 0,10 ^c	5,27 ± 0,16 ^b
80 mesh	17,81 ± 0,91 ^a	1,31 ± 0,46 ^c	0,47 ± 0,09 ^d	10,40 ± 0,65 ^b
100 mesh	13,24 ± 2,81 ^a	0,39 ± 0,24 ^b	0,25 ± 0,05 ^b	11,43 ± 0,71 ^a
Fundo	46,75 ± 2,97 ^c	97,04 ± 0,88 ^a	98,23 ± 0,36 ^a	72,12 ± 1,63 ^b
<i>Cor L*a*b*</i>				
L*	90,75 ± 0,66 ^a	85,08 ± 2,63 ^b	88,58 ± 0,75 ^a	88,38 ± 0,22 ^a
a*	0,27 ± 0,01 ^a	-0,21 ± 0,01 ^b	-1,07 ± 0,03 ^d	-0,42 ± 0,01 ^c
b*	8,90 ± 0,05 ^b	4,47 ± 0,12 ^c	9,22 ± 0,16 ^b	13,00 ± 0,52 ^a

Média ± desvio padrão (n=3) (exceto para cor L*a*b* n=4). Médias seguidas pela mesma letra na mesma linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).¹Carboidratos se referem a 100 - (%proteínas +%lipídios+%cinzas). b.s.: base seca; b.u.: base úmida.

2.3.1.2. Análises farinográficas

O farinógrafo é um misturador que analisa as propriedades reológicas da massa, através da viscosidade e pegajosidade que contribuem para a resistência da massa à mistura (PIZZINATTO & MAGNO, 1995).

A farinha de trigo apresentou os parâmetros farinográficos indicados na **Tabela 2.5** e, por eles, se classifica como farinha forte segundo a classificação de Pizzinatto & Magno (1995), pois tem absorção menor que 58%, tempo de desenvolvimento entre 4 e 8 minutos e tempo de estabilidade de 8 a 15 minutos. Eles citam que farinhas fortes são usadas na produção de pães. A farinha para panificação precisa formar uma massa com resistência ao amassamento, extensibilidade e capacidade de retenção do gás formado na fermentação (COSTA *et al.*, 2008).

A adição dos ingredientes fontes de fibras alterou todos os parâmetros farinográficos que podem ser visualizados na **Tabela 2.5** e nos farinogramas (**ANEXOS B.1 A B.4**).

A absorção de água (Abs), o tempo de chegada (TC), o tempo de desenvolvimento (TD) e o tempo de saída (TS) apresentaram modelos preditivos das respostas após a análise de variância (**ANEXOS D.1 a D.4**). A análise das respostas para tempo de estabilidade (TE) mostrou falta de ajuste do modelo (**ANEXO D.5**). O índice de tolerância à mistura (ITM) apresentou variação explicada do modelo, $R^2 = 22,76\%$, abaixo do mínimo de 70% estabelecido (**ANEXO D.6**). As equações obtidas para os parâmetros farinográficos são mostradas na **Tabela 2.6** e todas apresentam R^2 maior que 90%.

A adição de fibras alimentares promoveu um aumento na absorção de água de 55,2% na farinha de trigo para 55,7 a 67,0% nas formulações do planejamento experimental. Pelo modelo matemático da absorção de água, as fibras de trigo e aveia (fibras insolúveis) aumentaram a absorção e a goma acácia (fibra solúvel) reduziu.

Tabela 2.5. Parâmetros farinográficos da farinha de trigo e das pré-misturas (farinha de trigo + fibras)

Amostras	TR(%)	AV(%)	GA(%)	Farinha						
				de trigo (%)	Abs (%)	TC (min)	TD (min)	TS (min)	TE (min)	ITM (UF)
F1	2	2	1	95	58,9	1,4	9,0	12,2	10,8	58
F2	8	2	1	89	62,3	5,3	10,0	13,3	8,0	55
F3	2	8	1	89	64,2	6,3	10,0	13,2	6,9	55
F4	8	8	1	83	68,0	11,0	13,0	16,3	5,3	30
F5	2	2	4	92	55,7	1,4	9,0	12,3	10,6	60
F6	8	2	4	86	60,2	1,8	7,8	12,7	10,6	40
F7	2	8	4	86	62,2	5,6	9,0	12,5	6,2	35
F8	8	8	4	80	65,9	10,0	11,5	15,3	4,8	30
F9	0	5	2,5	92,5	58,4	1,2	7,8	11,8	10,6	40
F10	10	5	2,5	82,5	65,8	8,6	11,8	15,4	6,8	40
F11	5	0	2,5	92,5	57,1	1,1	7,8	11,8	10,7	45
F12	5	10	2,5	82,5	67,0	9,5	11,8	15,8	5,8	40
F13	5	5	0	90	62,9	2,9	11,2	14,7	12,1	45
F14	5	5	5	85	60,0	1,7	8,0	12,3	10,6	35
F15	5	5	2,5	87,5	62,0	5,8	8,5	12,0	6,3	45
F16	5	5	2,5	87,5	62,5	5,5	8,8	12,5	7,0	55
F17	5	5	2,5	87,5	61,9	6,3	9,0	11,0	6,8	55
F18	5	5	2,5	87,5	62,5	6,5	9,8	12,8	6,3	55
Farinha de trigo	0	0	0	100	55,2	1,2	4,8	12,5	10,9	10

TR: Fibra de trigo; AV: Fibra de aveia; GA: Goma acácia. Abs: absorção de água, TC: tempo de chegada, TD: tempo de desenvolvimento, TS: tempo de saída, TE: tempo de estabilidade, ITM: índice de tolerância a mistura, UF: unidades farinográficas.

Tabela 2.6. Modelos codificados para os parâmetros farinográficos

Parâmetros	Modelos codificados	R ² (%)	F _{calculado} /F _{tabelado}
Abs (%)	$y = 62,08 + 2,04 x_1 + 2,92 x_2 - 1,05 x_3$	98,74	144,37
TC (min)	$y = 5,87 + 1,89 x_1 + 2,72 x_2 - 1,02 x_3^2$	90,10	16,86
TD (min)	$y = 9,25 + 0,88 x_1 + 1,06 x_2 - 0,74 x_3 + 0,71 x_1 x_2$	89,66	11,60
TS (min)	$y = 12,07 + 0,99 x_1 + 0,49 x_1^2 + 0,99 x_2 + 0,56 x_2^2 - 0,46 x_3 + 0,45 x_3^2 + 0,55 x_1 x_2$	91,89	6,72

Abs.: absorção de água, TC: tempo de chegada, TD: tempo de desenvolvimento, TS: tempo de saída. Valores estatisticamente significativos a 90% de significância ($p < 0,10$). Valores codificados = x_1 : Fibra de trigo; x_2 : Fibra de aveia; e x_3 : Goma acácia.

Outros autores usaram fontes de fibras insolúveis e observaram aumento da absorção de água na mistura com farinha de trigo: Gómez *et al.* (2003) estudaram o efeito da substituição de 2 e 5% de fibras (celulose microcristalina, ervilha, cacau, café, laranja e fibras brancas de trigo) na farinha de trigo e analisaram as massas e os pães. Encontraram na farinha de trigo 58,7% de absorção e 59,6% a 65,4% nos ensaios com fibras; Hung *et al.* (2007) encontraram absorção de água de 66,0% para a farinha de trigo controle e 70,4% a 75,0% para farinha de trigo com 30% e 50% de substituição por farinha de grão inteiro e; Purhagen *et al.* (2011) obtiveram aumento de 57,7% (farinha controle) para 58,7% na farinha com 3% de substituição de farelo de trigo. Temos como exemplo de uso de fibras solúveis: Loosveld & Delcour (2000) estudaram o efeito de arabinogalactana-peptídeo no processamento de massas e pães. Usaram arabinogalactana-peptídeo extraído de trigo, arabinogalactana de madeira e goma acácia em 1% e 2% de substituição de 2 tipos de farinha de trigo (torfrida e soissons) e encontraram diminuição na absorção de água em todos os casos analisados, como exemplo, usando farinha de trigo soissons a absorção passou de 56,1% no controle para 53,0% com 2% de goma acácia.

Alguns autores, no entanto, encontraram aumento na absorção de água usando fibras solúveis como Sidhu & Bawa (2004) de 66,0% (controle) para 66,4%

(0,5% de goma acácia) e; Sharadanant & Khan (2003) que estudaram o efeito de gomas (acácia, carboximetilcelulose, kappa carragena e locusta) em 1, 2 e 3% de substituição da farinha de trigo e em todos os casos houve aumento de absorção.

As fibras de trigo e aveia influenciaram no aumento de TC, TD e TS e a goma acácia na diminuição destes. Porém é necessário enfatizar que TC, TD e TS tiveram influência dos fatores lineares de fibra de trigo e aveia. TC apresentou influência do fator quadrático da goma acácia; TD da interação de fibra de trigo e fibra de aveia e; TS apresentou o fator linear da goma acácia, os três fatores quadráticos e a interação entre fibra de trigo e fibra de aveia. De um modo geral, temos que as três fibras alteraram os parâmetros farinográficos da farinha de trigo.

O aumento do tempo de chegada significa que a água está sendo absorvida mais lentamente e pela equação a fibra de aveia está influenciando mais que as outras variáveis. O acréscimo do tempo de desenvolvimento indica que as fibras retardam as taxas de hidratação e desenvolvimento do glúten, pois ocorre uma diluição do glúten (ALMEIDA, 2006) e uma competição pela água.

Asghar *et al.* (2007) aplicaram 1% a 3% de goma acácia e carboximetilcelulose em farinha de trigo e observaram aumento de TC (de 1,5 para 2,0 a 3,0 min), TD (de 4,5 para 6 a 10,5 min) e TS (de 14 para 14,5 a 20 min). Alaunyte *et al.* (2012) estudaram farinha de trigo com 0, 10, 20 e 30% de substituição por teff (*Eragrostis tef*), que é um cereal rico em carboidratos e fibras nativo da Etiópia, observaram aumento no tempo de desenvolvimento da massa de 2,5 min a 4,5- 5,4 min. No entanto, Wang *et al.* (2002) aplicaram 3% de fibras (de cenoura, inulina e de ervilha) em mistura com farinha de trigo e não observaram alteração no tempo de desenvolvimento da massa que permaneceu em 2 min em todos os casos e no controle sem fibras.

Os erros relativos dos parâmetros farinográficos com modelos preditivos são mostrados no **ANEXO D.7**. A absorção de água e o tempo de saída apresentaram erros relativos menores que 10%, indicando alta correção do modelo preditivo. O tempo de desenvolvimento apresentou erros de 19,1% e 11,3% em F5 e F7 respectivamente, os outros ensaios tiveram erros menores que 10%. Tempo de

chegada apresentou erros elevados em vários ensaios e; os pontos centrais e outros pontos isolados apresentaram erros baixos (< 10%).

As superfícies de resposta destes parâmetros estão na **Figura 2.2**. Através delas observamos que a absorção de água, o tempo de desenvolvimento e o tempo de saída foram maiores com fibra de trigo variando de 7,5 a 10%, fibra de aveia de 7,5 a 10% e goma acácia de 0 a 1,3%. O tempo de chegada foi máximo com fibra de trigo variando de 7,5 a 10%, fibra de aveia de 7,5 a 10% e goma acácia de 1,3 a 3,8%.

Apesar do tempo de estabilidade não ter gerado um modelo matemático, é possível verificar que a adição das fibras alterou a estabilidade, algumas vezes aumentando e outras diminuindo. Não é possível prever a influência de cada fibra. O mesmo pode ser dito para o índice de tolerância à mistura, porém neste último percebe-se que a adição de fibras aumentou de 10 UF para 30 a 55 UF indicando a diminuição da resistência da massa à mistura.

Wang *et al.* (2002) observaram aumento do tempo de estabilidade de 4,0 para 5,0 min utilizando 3% de inulina e não observaram alteração na estabilidade com 3% de fibras de cenoura e ervilha. Encontraram diminuição do ITM de 90 para 50, 70 e 75 utilizando inulina, fibra de cenoura e fibra de ervilha, respectivamente. Alaunyte *et al.* (2012) obtiveram diminuição na estabilidade da farinha de trigo (8,0 min) usando teff: 10% (7,5 min), 20% (6,6 min) e 30% (5,2 min).

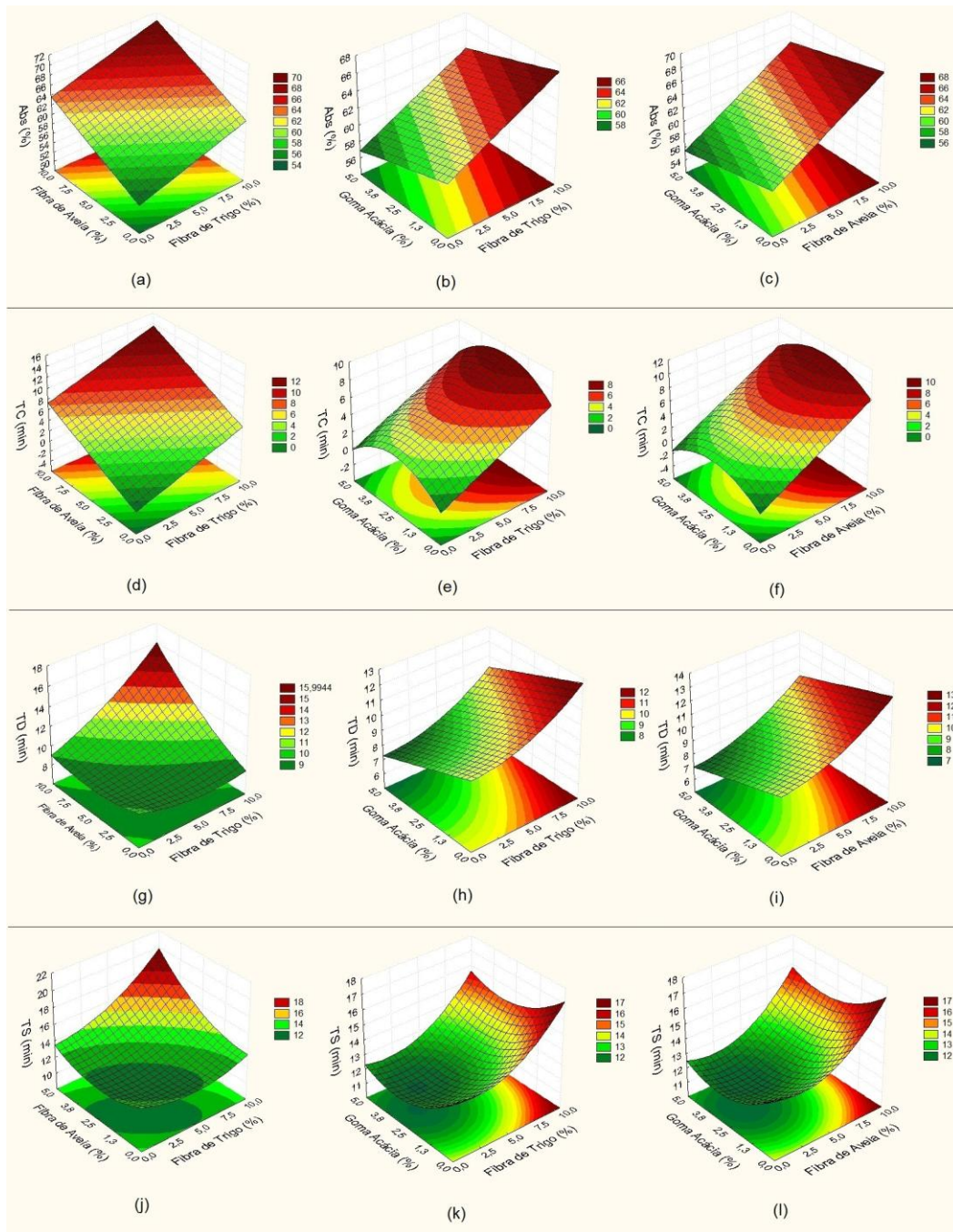


Figura 2.2. Superfícies de resposta da análise farinográfica: Abs, TC, TD e TS (a), (b) e (c): Abs(%); (d), (e) e (f): TC (min); (g), (h) e (i): TD (min); (j), (k) e (l): TS (min). Abs: Absorção de água; TC: Tempo de chegada; TD: Tempo de desenvolvimento; TS: Tempo de saída. (a), (d), (g) e (j) : Fibra de trigo x Fibra de aveia; (b), (e), (h) e (k): Fibra de trigo x Goma acácia; e (c), (f), (i) e (l): Fibra de aveia x Goma acácia. Para todos os gráficos a terceira variável foi mantida no ponto central.

2.3.1.3. Análises extensográficas

O extensógrafo é utilizado para medir a resistência da massa à extensão e é utilizado para, juntamente com o farinógrafo, avaliar as características da massa produzida com a farinha de trigo e água. A massa é avaliada em três períodos de descanso para considerar os efeitos da oxidação no processo. Diminuição da resistência com o aumento de tempo significa que a farinha tem uma redução na capacidade de reter o gás durante a fermentação (PIZZINATO & MAGNO, 1995).

A farinha de trigo apresentou no tempo de 135 minutos, Resistência (508 UE), Resistência máxima (538 UE) e Extensibilidade (113 mm) abaixo dos valores apresentados por Pizzinatto & Magno (1995) para farinhas fortes (560 UE, 840 UE e 155 mm respectivamente). Porém o número proporcional D foi de 4,6, superior a 3,6 apresentado por eles. Estes autores citam que, em geral, farinhas fortes possuem $D > 2,5$ e farinhas fracas $D < 1,0$.

O resultado da análise extensográfica das pré-misturas pode ser visualizado na **Tabela 2.7** e nos extensogramas (**ANEXOS C.1 A C.7**). As análises após 90 min e 135 minutos resultaram em alguns ensaios com valores de resistência superiores a escala do papel, sendo indicados na tabela como >1000 , como consequência os valores de $D (= R/E)$, que é um número proporcional, também não foram definidos para estes dois tempos. Assim não foi possível calcular os coeficientes de regressão pelo programa estatístico. As respostas passíveis de análise foram: os resultados após 45 min (R, Rm, E e D), E – 90 min e E – 135 minutos.

Resistência (R - 45 min) e resistência máxima (Rm - 45 min) apresentaram R^2 menores que o mínimo de 70% (33,40% e 33,88% respectivamente), assim não apresentaram modelos preditivos das respostas (**ANEXOS E.1 e E.2**). O número proporcional D - 45 min e a extensibilidade (E), nos três tempos, apresentaram modelos preditivos (**ANEXOS E.3 a E.6**).

Em geral, D - 45 min da farinha de trigo (3,3) aumentou com a adição das fibras. Apenas F5 (2,9) e F9 (2,7) apresentaram valores menores de D-45 min em relação à farinha de trigo (**Tabela 2.7**).

O valor de D corresponde a alta resistência da massa com as fibras, pois seu valor é igual a resistência dividida pela extensibilidade e, apesar de R - 45 min não ter gerado modelo preditivo, a maioria dos ensaios apresentou valores de resistência maior que o da farinha de trigo (515 UE).

O valor de D em 45 min apresentou influência apenas das fibras de trigo e aveia, sendo que a fibra de trigo teve maior influência devido ao coeficiente (+3,03) ser maior que o da aveia (+1,92), as duas fibras interferiram positivamente no valor de D em 45 min.

Pelas superfícies de resposta, observa-se que a goma acácia não influenciou o valor de D em 45 min e ele é máximo para 7,5 a 10,0% de fibra de trigo e 7,5 a 10,0% de fibra de aveia (**Figura 2.3** (a), (b) e (c)). Os erros relativos dos valores preditos em relação aos experimentais para este parâmetro foram altos (a maioria apresentou valores maiores que 20%) talvez devido à variação explicada pelo modelo (R^2) ser de 74,32%, valor próximo do mínimo estabelecido.

Tabela 2.7. Parâmetros extensográficos da farinha de trigo e das pré-misturas (farinha de trigo + fibras)

Amostras	45 min				90 min				135 min			
	R (UE)	Rm (UE)	E (mm)	D = R/E	R (UE)	Rm (UE)	E (mm)	D = R/E	R (UE)	Rm (UE)	E (mm)	D = R/E
F1	655	549	135	3,5	640	903	115	5,6	570	765	121	4,8
F2	655	745	97	6,8	>1000	>1000	74	>13,5	815	860	75	10,6
F3	665	738	102	6,5	>1000	>1000	99	>10,2	848	875	95	8,9
F4	460	650	55	8,4	>1000	>1000	71	>14,1	>1000	>1000	65	>15,6
F5	395	524	137	2,9	590	770	128	4,6	620	701	122	5,1
F6	608	680	101	6,0	900	963	94	9,6	995	>1000	96	>10,4
F7	428	503	103	4,2	755	820	95	8,0	840	870	97	8,7
F8	950	980	64	14,8	>1000	>1000	60	>16,8	>1000	>1000	58	>17,2
F9	380	470	140	2,7	595	640	105	5,7	585	615	107	5,5
F10	950	950	60	16,0	>1000	>1000	62	>16,3	>1000	>1000	56	>18,0
F11	510	605	133	3,8	660	780	129	5,1	555	640	110	5,0
F12	840	850	79	10,6	>1000	>1000	71	>14,1	>1000	>1000	73	>13,8
F13	890	980	94	9,5	>1000	>1000	97	>10,3	>1000	>1000	85	>11,8
F14	600	645	107	5,6	895	970	97	9,2	908	928	97	9,4
F15	855	935	103	8,3	>1000	>1000	92	>10,9	>1000	>1000	84	>11,9
F16	635	725	112	5,7	>1000	>1000	97	>10,9	>1000	>1000	80	>12,5
F17	755	840	103	7,3	>1000	>1000	93	>10,8	>1000	>1000	85	>11,8
F18	735	820	113	6,5	>1000	>1000	99	>10,1	>1000	>1000	79	>12,7
Farinha de trigo	515	695	155	3,3	425	548	156	2,7	508	538	113	4,6

R: resistência à extensão, Rm: resistência máxima, E: extensibilidade, D: número proporcional, UE: unidades extensográficas.

A extensibilidade da massa foi reduzida com a adição das fibras em todos os tempos avaliados. Através dos modelos (**Tabela 2.8**) e das superfícies (**Figura 2.3**) observa-se que as três fibras influenciaram nestas respostas, sendo que as fibras de trigo e aveia reduziram a extensibilidade da massa e a goma aumentou os valores desta característica.

Em geral, com o passar do tempo a resistência, a resistência máxima e o valor de D aumentaram e a extensibilidade da massa diminuiu com a adição das fibras.

Tabela 2.8. Modelos codificados para os parâmetros extensográficos

Parâmetros	Modelos codificados	R ² (%)	F _{calculado} /F _{tabelado}
D – 45 min	$y = 7,17 + 3,03 x_1 + 1,92 x_2$	74,32	8,62
E – 45 min (mm)	$y = 106,53 - 21,64 x_1 - 3,12 x_1^2 - 17,35 x_2 + 2,85 x_3 - 2,85 x_3^2$	97,87	46,13
E – 90 min (mm)	$y = 96,68 - 15,45 x_1 - 4,85 x_1^2 - 13,48 x_2 - 5,94 x_2 x_3$	94,60	23,44
E – 135 min (mm)	$y = 82,24 - 16,64 x_1 - 11,84 x_2 + 3,83 x_2^2 + 2,76 x_3 + 3,74 x_3^2 - 3,44 x_2 x_3$	96,92	24,17

D: número proporcional ; E: extensibilidade . Valores estatisticamente significativos a 90% de significância (p<0,10). Valores codificados = x₁: Fibra de trigo; x₂: Fibra de aveia; e x₃: Goma acácia.

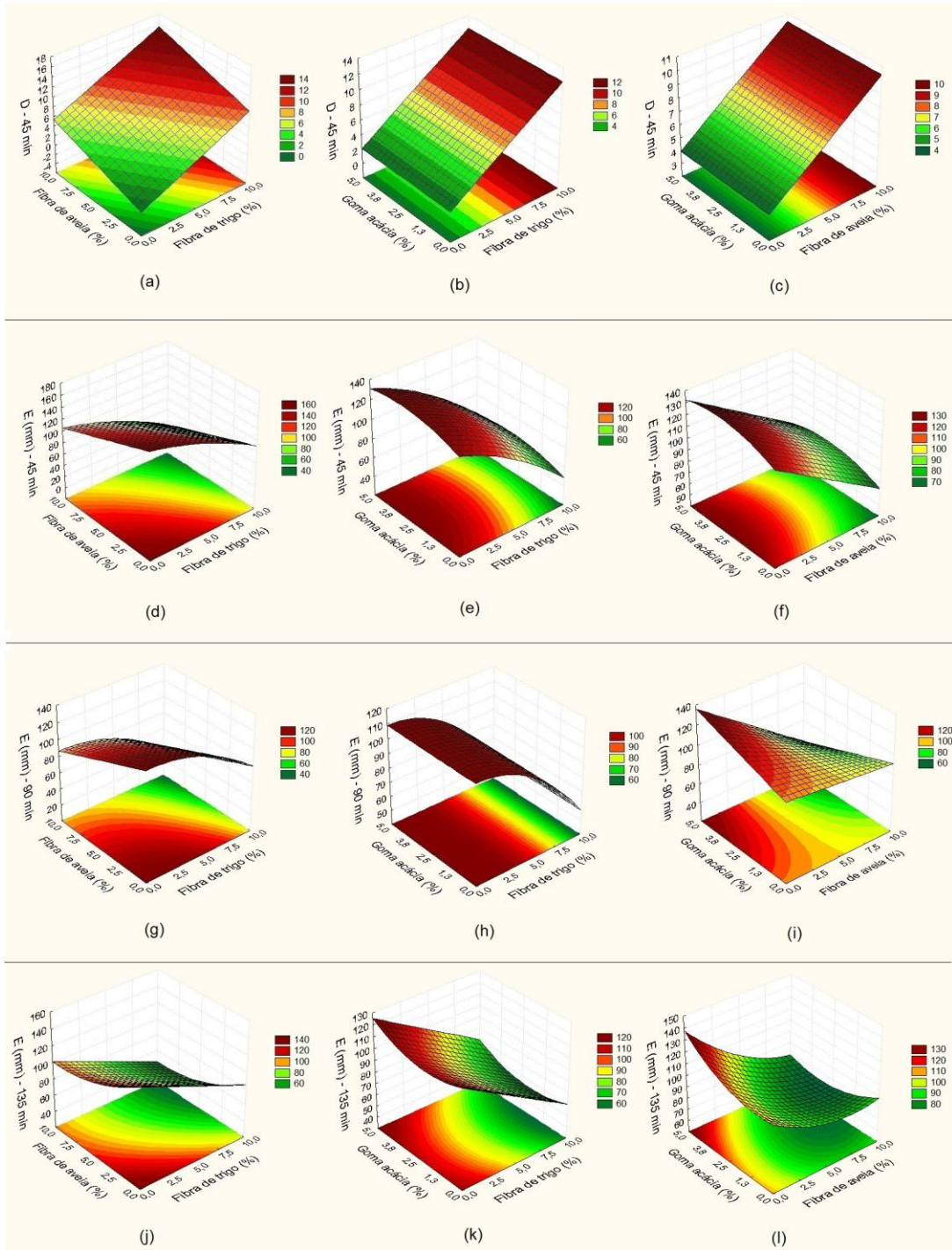


Figura 2.3. Superfícies de resposta da análise extensográfica: D - 45min, E (45, 90 e 135 min)

(a), (b) e (c): D - 45 min; (d), (e) e (f): E - 45min; (g), (h) e (i): E – 90 min; (j), (k) e (l): E – 135 min. D: Número proporcinal; E: Extensibilidade (mm). (a), (d), (g) e (j) : Fibra de trigo x Fibra de aveia; (b), (e), (h) e (k): Fibra de trigo x Goma acácia; e (c), (f), (i) e (l): Fibra de aveia x Goma acácia. Para todos os gráficos a terceira variável foi mantida no ponto central.

2.3.2. Avaliação do processo de fabricação

O tempo de mistura da massa na velocidade alta e a perda de peso no forneamento, chamados neste trabalho de “tempo de mistura rápida” e “perda no forno”, são mostrados na **Tabela 2.9**.

Este tempo foi definido até que cada formulação chegasse ao ponto ótimo de desenvolvimento da rede de glúten (“ponto de véu”), que foi visualizado através da abertura de uma parte da massa nas mãos (**Figura 2.4**). Este ponto ótimo representa o ponto da massa onde a mistura de ingredientes com água recebeu energia suficiente para o completo desenvolvimento do glúten, que é a rede visco-elástica, para permitir a expansão da massa durante a fermentação e a retenção dos gases formados, dando a aeração característica e preservando a estrutura do pão (SLUIMER, 2005; CAUVAIN & YOUNG, 1999).

Em geral, a adição de fibras aumentou o tempo de mistura rápida, que foi de 2,6 minutos na formulação controle, sem fibras, e de 2,5 a 5,4 minutos nas formulações do DCCR. Segundo Almeida (2006), a mudança da viscosidade da massa pode ser um dos fatores na modificação do tempo de mistura. Analisando as características farinográficas, também foi observado um aumento no tempo de desenvolvimento (TD) das massas com a adição das fibras no DCCR devido a alteração na viscosidade das mesmas.

A análise de variância do tempo de mistura mostrou que não foi possível construir um modelo preditivo para este parâmetro, assim não foi possível predizer a influência de cada fibra (**ANEXO F.1**). A variação explicada (R^2) pelo modelo foi de 63,46%.



Figura 2.4. Imagem do ponto ótimo da massa

Tabela 2.9. Tempo de mistura rápida da massa (min) e perda de peso dos pães no forno (%)

	Tempo de mistura rápida (min)	Perda no forno (%) ¹
F1	2,5	10,0 ± 0,6
F2	4,0	9,9 ± 0,6
F3	4,2	9,8 ± 0,9
F4	5,4	11,3 ± 0,4
F5	4,0	12,2 ± 0,7
F6	4,2	12,3 ± 0,8
F7	3,9	10,4 ± 0,3
F8	4,5	10,1 ± 0,7
F9	4,1	10,1 ± 0,8
F10	4,2	9,1 ± 0,5
F11	3,6	10,7 ± 0,4
F12	4,5	10,1 ± 0,7
F13	2,6	9,3 ± 0,2
F14	3,8	10,3 ± 0,3
F15	3,8	9,9 ± 0,4
F16	3,9	10,9 ± 0,3
F17	4,3	9,5 ± 0,4
F18	4,7	9,8 ± 0,4
FC	2,6	9,9 ± 0,5

¹Média ± desvio padrão(n=5).

A perda no forno da formulação controle foi de 9,9% e das formulações do DCCR foi de 9,1 a 12,3%, nas condições de processo e variações utilizados, análise de variância (**ANEXO F.2**) mostrou que não foi possível obter um modelo preditivo nas condições avaliadas, o R² foi de 43,58%. Os pães perderam, em média, 10,3% de umidade.

2.3.3. Avaliação dos pães de forma com adição de fibras

2.3.3.1. Volume específico

O volume específico dos pães da formulação controle, sem fibras, foi de 5,0 mL/g, e com a adição das fibras variou de 3,30 a 4,97 mL/g (**Tabela 2.10**). A adição de fibras reduziu o volume específico e após a análise da ANOVA (**ANEXO G.1**) foi possível obter o modelo preditivo (**Tabela 2.11**) no qual observou-se que os fatores lineares das três fibras têm coeficiente negativo, indicando uma redução do volume específico com a adição de cada uma das fibras (trigo, aveia e goma acácia). Apenas a fibra de trigo apresentou efeito quadrático e positivo.

Outros autores estudaram o volume específico de pães com fibras. Munhoz (2003) estudou a aplicação de hidrocolóides (0 a 1% de goma xantana e 0 a 1% de goma guar) em pães, usando DCCR e em média, encontrou volumes específicos menores (4,33 a 5,79 mL/g) do que o controle sem fibras (5,73 mL/g), o modelo preditivo encontrado também apresentou fatores negativos para as duas fibras, indicando que estas atuam reduzindo o volume específico dos pães. Atalay *et al.* (2012) estudaram a substituição de 20% da farinha de trigo comum por produtos da moagem de trigo sarraceno e encontraram volume específico de 3,90 mL/g no pão padrão e 3,68 e 3,28 mL/g em pão com substituição por farinha de grão inteiro e farelo de trigo sarraceno, respectivamente. Purhagen *et al.* (2011) substituíram 3% de fontes de fibras em pães de farinha de trigo comum e obtiveram 5,3 mL/g de volume específico no controle e redução de 17% (farinha de grão inteiro de trigo durum), de 9,4% (farelo de aveia), de 7,5% (farelo de arroz) e de 37,5% (farelo de trigo).

O volume específico é reduzido com a adição de fibras devido a diluição das proteínas do glúten, diminuindo a capacidade de retenção do CO₂ formado durante a fermentação, deixando as massas menores e compactas. Ocorre também uma maior retenção de água pela massa, diminuindo a água disponível para a formação da rede de glúten (SULLIVAN *et al.*, 2010; SIVAM *et al.*, 2010).

Tabela 2.10. Valores de volume específico, umidade e atividade de água dos pães armazenados nos Dias 1, 4, 7 e 10

Amostras	Volume específico (mL/g)	Umidade (%)				Atividade de água - a_w			
		Dia1	Dia 4	Dia 7	Dia 10	Dia1	Dia 4	Dia 7	Dia 10
F1	4,97±0,13	38,75±0,02	35,22±0,08	33,55±0,12	32,06±0,04	0,950±0,002	0,949±0,001	0,947±0,001	0,943±0,002
F2	4,60±0,03	40,47±0,07	37,58±0,09	37,20±0,06	35,62±0,07	0,960±0,001	0,959±0,001	0,956±0,002	0,955±0,002
F3	4,19±0,10	41,19±0,12	38,69±0,19	38,14±0,03	36,83±0,04	0,963±0,001	0,962±0,001	0,959±0,002	0,958±0,002
F4	3,61±0,13	42,58±0,06	40,26±0,10	39,10±0,02	37,42±0,11	0,961±0,001	0,959±0,001	0,956±0,001	0,958±0,002
F5	4,44±0,06	36,98±0,01	33,93±0,38	31,12±0,07	30,49±0,05	0,948±0,002	0,947±0,001	0,935±0,001	0,933±0,004
F6	4,10±0,05	39,16±0,07	36,34±0,10	35,17±0,05	33,83±0,20	0,957±0,001	0,956±0,001	0,947±0,001	0,946±0,002
F7	3,76±0,05	39,91±0,04	38,24±0,02	36,65±0,01	35,33±0,06	0,958±0,001	0,957±0,002	0,951±0,002	0,947±0,002
F8	3,30±0,13	41,95±0,14	40,08±0,01	38,79±0,04	37,47±0,09	0,963±0,001	0,960±0,001	0,958±0,001	0,950±0,003
F9	4,79±0,08	38,75±0,05	35,48±0,08	34,52±0,07	34,15±0,05	0,955±0,001	0,952±0,002	0,951±0,002	0,947±0,003
F10	4,07±0,15	42,01±0,07	39,93±0,06	39,33±0,06	37,19±0,15	0,964±0,001	0,965±0,001	0,963±0,002	0,961±0,001
F11	3,78±0,04	37,71±0,05	35,43±0,08	34,17±0,03	33,16±0,05	0,948±0,001	0,948±0,002	0,938±0,002	0,935±0,002
F12	3,47±0,05	41,94±0,05	40,41±0,07	39,09±0,03	38,19±0,04	0,965±0,002	0,965±0,001	0,959±0,002	0,961±0,001
F13	3,66±0,09	41,94±0,16	40,30±0,01	38,76±0,05	37,64±0,03	0,963±0,002	0,958±0,001	0,958±0,001	0,952±0,001
F14	3,39±0,07	40,20±0,06	38,54±0,02	36,69±0,03	36,32±0,02	0,961±0,001	0,954±0,001	0,952±0,001	0,948±0,003
F15	3,87±0,05	40,56±0,08	37,93±0,05	37,73±0,06	36,21±0,05	0,960±0,002	0,960±0,002	0,956±0,003	0,952±0,001
F16	3,91±0,05	39,37±0,03	37,22±0,05	35,82±0,06	34,74±0,04	0,959±0,004	0,956±0,001	0,955±0,001	0,953±0,001
F17	3,47±0,03	41,29±0,03	39,02±0,02	38,29±0,05	37,11±0,03	0,961±0,001	0,956±0,001	0,955±0,001	0,952±0,001
F18	3,73±0,06	41,54±0,08	39,90±0,02	38,69±0,06	38,16±0,02	0,961±0,001	0,957±0,001	0,957±0,001	0,951±0,002
FC	5,00±0,063	37,53±0,49	35,47±0,08	34,09±0,09	33,40±0,08	0,954±0,002	0,954±0,001	0,952±0,001	0,948±0,001

Média ± desvio padrão (n=3).

Tabela 2.11. Modelos codificados para volume específico (mL/g) dos pães

Parâmetros	Modelos codificados	R ² (%)	F _{calculado} /F _{tabelado}
Vol. esp. (mL/g)	$y = 3,72 - 0,22 x_1 + 0,30 x_1^2 - 0,28 x_2 - 0,16 x_3$	81,20	5,78

Vol. esp: volume específico. Valores estatisticamente significativos a 90% de significância ($p < 0,10$). Valores codificados = x_1 : Fibra de trigo; x_2 : Fibra de aveia; e x_3 : Goma acácia.

A análise das superfícies de resposta (**Figura 2.5**) indica que o volume específico apresentou valores máximos na região de fibra de trigo de 0 a 2,5%, fibra de aveia de 0 a 5% e goma acácia de 0 a 2,5%. Os erros relativos dos valores obtidos pelo modelo entre os valores experimentais foram menores que 10%, indicando alta correlação (**ANEXO G.2**). Apenas F11 teve um valor de erro acima deste valor (10,72%).

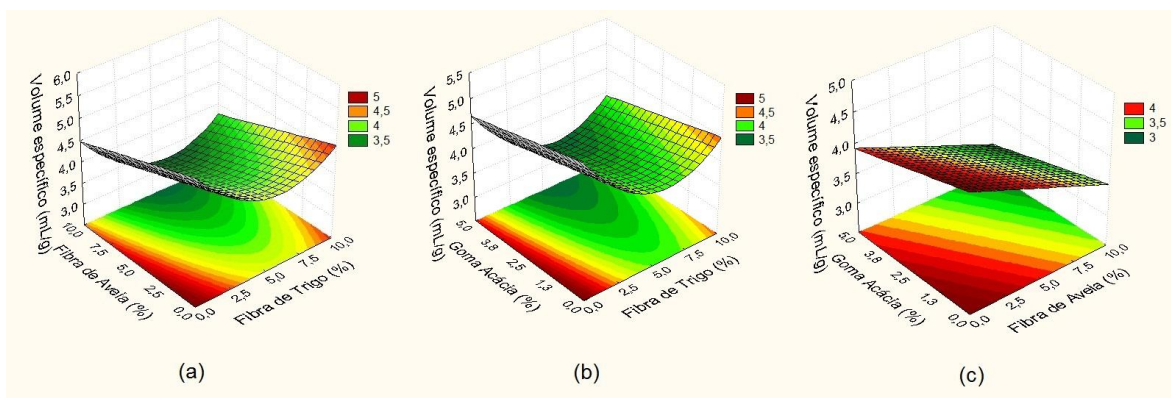


Figura 2.5. Superfícies de resposta do volume específico (mL/g)

(a): Fibra de trigo x Fibra de aveia; (b): Fibra de trigo x goma acácia; e (c): Fibra de aveia x goma acácia. Para todos os gráficos a terceira variável foi mantida no ponto central.

2.3.3.2. Umidade

A umidade da formulação controle (FC) no primeiro dia foi de 37,53% e para os ensaios do planejamento foi de 37,71 a 42,58%, já no décimo dia FC apresentou 33,40% e os ensaios 32,06 a 38,19%. Apenas F1, F5 e F11 apresentaram umidade menor que FC a partir do quarto dia (**Tabela 2.10**). Estas

formulações foram as que tiveram as menores quantidades de água adicionada, junto com a F9, que também apresentou-se bem seca mas com umidade maior que o controle. Após a análise da ANOVA (**ANEXOS G.3 a G.6**) foi possível obter o modelo preditivo (**Tabela 2.12**) para os dias 1, 4 e 7. A análise dos resultados de umidade do dia 10 mostrou $R^2 = 68,74\%$, abaixo do mínimo estipulado, possivelmente como a diminuição de umidade no final do período de estocagem foi elevada, a estrutura do miolo também ficou comprometida, assim a perda não foi mais tão uniforme como no início processo. As fibras de trigo e aveia apresentaram efeito positivo nos três dias (1, 4 e 7) indicando que elas aumentaram a umidade nas faixas de concentração estudadas. A goma acácia influenciou estatisticamente ($p < 0,10$) de forma negativa nos dias 1 e 7, ou seja, reduziu a umidade e, no dia 4 não influenciou. Apenas a fibra de aveia apresentou fator quadrático e negativo no dia 1.

Tabela 2.12. Modelos codificados para umidade (%) do miolo dos pães nos Dias 1, 4 e 7

Parâmetros	Modelos codificados	R ² (%)	F _{calculado} /F _{tabelado}
Umid. (%) – Dia 1	$y = 40,61 + 0,94 x_1 + 1,27 x_2 - 0,35 x_2^2 - 0,58 x_3$	90,95	13,61
Umid. (%) – Dia 4	$y = 38,03 + 1,15 x_1 + 1,65 x_2$	78,45	10,11
Umid. (%) – Dia 7	$y = 37,15 + 1,38 x_1 + 1,75 x_2 - 0,71 x_3$	84,36	9,99

Umid.: umidade . Valores estatisticamente significativos a 90% de significância ($p < 0,10$). Valores codificados = x_1 : Fibra de trigo; x_2 : Fibra de aveia; e x_3 : Goma acácia.

A adição de fibras aumentou a absorção de água nas análises farinográficas (valor utilizado para definir a quantidade de água adicionada às formulações) dos ensaios do DCCR e, conseqüentemente a umidade final do produto. Repetiu-se a influência positiva das fibras de trigo e aveia e negativa da goma acácia.

Outros autores estudaram a influência das fibras na umidade dos pães. Sivam *et al.* (2011) adicionaram 3 e 6% de fibras de pectina (de alto e baixo grau

de metoxilação) e extratos fenólicos de frutas e encontraram 31% de umidade no controle sem fibras e 38 a 40% de umidade nos pães com fibras. Wang *et al.* (2002) adicionaram 3% de fibra de cenoura, inulina e fibra de ervilha, encontraram umidade de 33,4% no controle, 35,3% (cenoura), 31,8% (inulina) e 35,7% (ervilha), ou seja, houve aumento de umidade com as fibras insolúveis e redução de umidade em pães com a fibra solúvel (inulina).

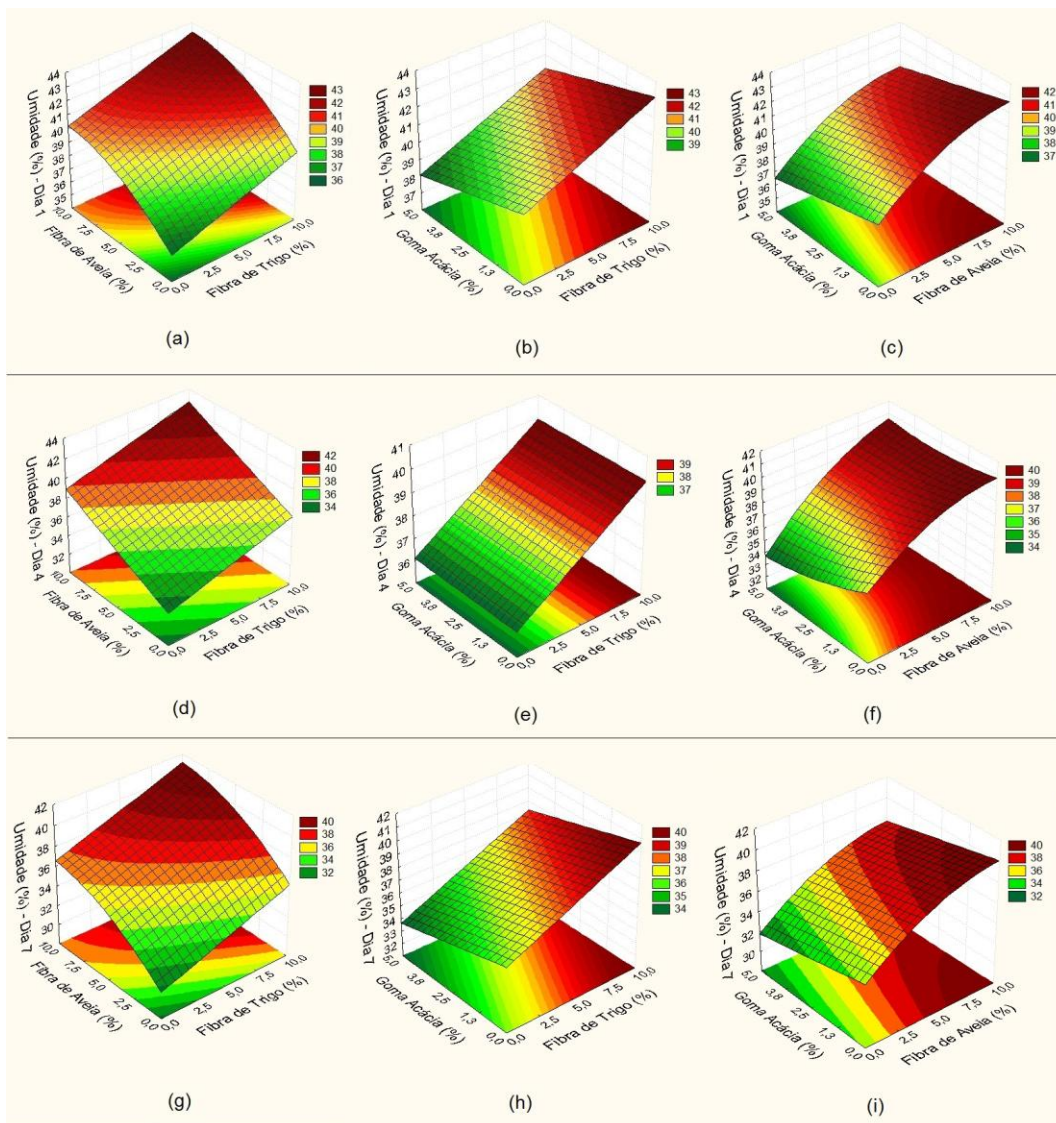


Figura 2.6. Superfícies de resposta da umidade (%) do miolo dos pães armazenados nos Dias 1, 4 e 7

(a),(b) e (c): Dia 1; (d), (e) e (f): Dia 4; (g), (h) e (i): Dia 7. (a), (d) e (g): Fibra de trigo x Fibra de aveia; (b), (e) e (h): Fibra de trigo x goma acácia; e (c), (f) e (i): Fibra de aveia x goma acácia. Para todos os gráficos a terceira variável foi mantida no ponto central.

A análise das superfícies de resposta (**Figura 2.6**) indica que a umidade atingiu valores máximos na região de fibra de trigo variando de 5 a 10% e fibra de aveia de 5 a 10% nos dias 1, 4 e 7 e; goma acácia de 0 a 1,3% para os dias 1 e 7, entretanto no dia 4, a influência da goma acácia não foi significativa ($p < 0,10$). Os erros relativos dos valores obtidos entre o modelo e os valores experimentais foram menores que 10% indicando alta correlação nos três dias de análise (**ANEXO G.7**).

Observou-se a queda de umidade dos pães da formulação controle e em todos os ensaios do experimento com o passar do tempo. A porcentagem de perda de umidade nos dias 4, 7 e 10 em relação ao primeiro dia é apresentada na **Figura 2.7**, na qual observou-se que as formulações com maiores perdas foram F1 e F5. No dia 7 a maioria das formulações apresentou perda de umidade (%) menor que o controle, nos dia 4 e 10, a metade das formulações, indicando que as fibras retêm mais água que o controle sem fibras.

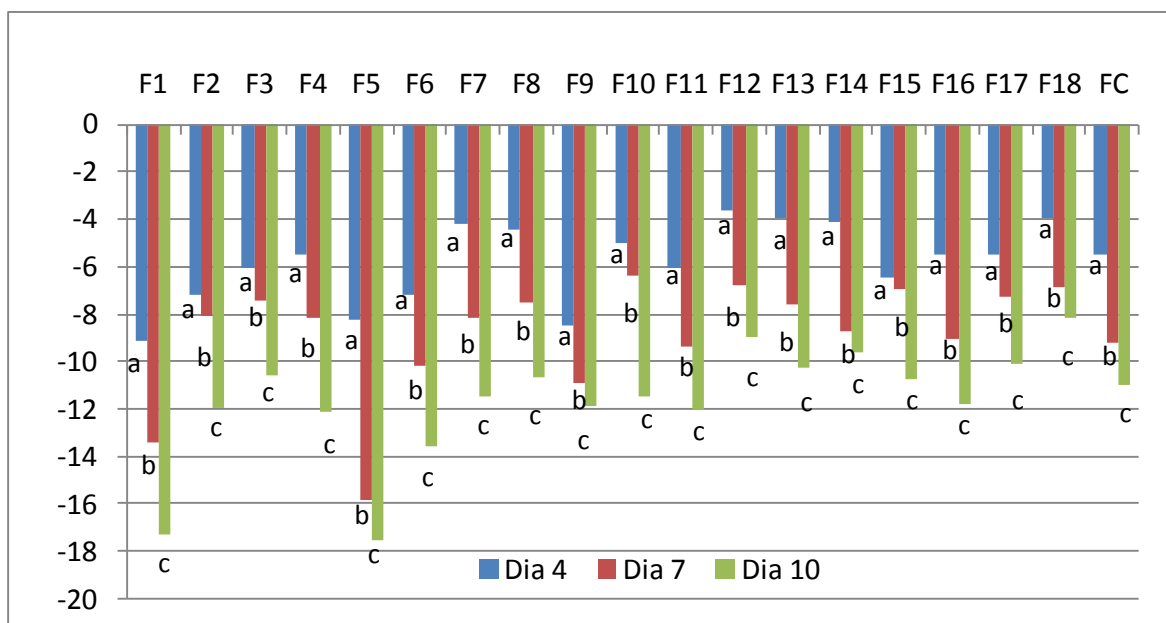


Figura 2.7. Perda de umidade (%) do miolo dos pães armazenados nos Dias 4, 7 e 10 em relação ao Dia 1

Médias seguidas de letras iguais para cada tipo de pão não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

2.3.3.3. Atividade de água

Existem dois tipos de água nos alimentos, livre e ligada. A água livre está fracamente ligada ao substrato, atua como solvente e é facilmente removida por processos de secagem. A água ligada que está fortemente ligada (chamada de valor de monocamada) é mais difícil de ser removida, não é utilizada como solvente, não permite o crescimento de micro-organismos e não está envolvida nas reações químicas e enzimáticas (FELLOWS, 2006; BOBBIO & BOBBIO, 1995).

A relação entre a pressão de vapor da água livre em equilíbrio no alimento e a pressão de vapor da água pura à mesma temperatura é chamada de atividade de água (PARK *et al.*, 2001; BOBBIO & BOBBIO, 1995; FELLOWS, 2006). A atividade de água tem valor máximo igual a 1 na água pura. Alimentos com atividade de água (a_w) acima de 0,9 apresentam condições de alto crescimento de fungos, leveduras e bactérias. Em geral, a atividade de água está relacionada com a disponibilidade da água para as reações microbiológicas e enzimáticas. Já o teor de umidade está relacionado com condições de processo ou estocagem. (FELLOWS, 2006).

A a_w da formulação controle (FC), sem fibras, no primeiro dia foi de 0,954 e para os ensaios do planejamento foi de 0,948 a 0,963, já no décimo dia FC apresentou a_w 0,940 e os ensaios 0,933 a 0,961 (**Tabela 2.10**). Após a ANOVA (**ANEXOS G.8 a G.11**) foi possível obter o modelo preditivo (**Tabela 2.13**) para os dias 1, 4, 7 e 10. Todas as equações apresentaram $R^2 > 88\%$.

As fibras de trigo e aveia apresentaram efeito positivo nos quatro dias, indicando que elas aumentaram os valores de a_w nas faixas de concentração estudadas. A goma acácia influenciou estatisticamente ($p < 0,10$) de forma negativa nos dias 4, 7 e 10, ou seja, reduziu a a_w e, no dia 1 não influenciou. Observamos a interação entre as fibras em todas as equações, com predominância de interação negativa entre a fibra de trigo e a de aveia, ou seja, as fibras interagem entre si apresentando efeito de redução da a_w quando usadas na mesma formulação.

Skendi *et al.* (2010) obtiveram aumento de a_w com a adição de fibras. Eles isolaram e purificaram β -glucana de dois tipos de cevada e aplicaram em pães de

forma (0, 0,2%, 0,6%, 1% e 1,4% base farinha) encontraram aumento de atividade de água com a adição das duas fibras. Neste estudo, no dia 1, a a_w foi de 0,963 para o controle e de 0,966 para pães com 1,4% de fibras, e no dia 4, a a_w foi de 0,951 (controle) para 0,965 (1,4% de fibras). Nilufer *et al.* (2008) estudaram pães de trigo com soja usando 7 formulações diferentes contendo fontes comerciais de fibras de soja em quantidade que variaram de 0,3% a 6,6%. Esses autores encontraram valores de atividade de água em todas as formulações de 0,96 a 0,97, mas sem diferença estatística do controle.

A análise das superfícies de resposta (**Figura 2.8**) indica que a a_w foi máxima na região de fibra de trigo variando de 5 a 10%, fibra de aveia de 5 a 10% para os dias 1, 4, 7 e 10 e; goma acácia de 0 a 2,5% para os dias 4, 7 e 10, no dia 1, ela não foi significativa ($p < 0,10$). Os erros relativos dos valores obtidos pelo modelo entre os valores experimentais foram menores que 1% indicando alta correlação nos quatro dias de análise (**ANEXO G.12**).

Observou-se queda de atividade de água nos pães da formulação controle e em todos os ensaios do experimento com o envelhecimento dos pães.

Tabela 2.13. Modelos codificados para atividade de água do miolo dos pães nos Dias 1, 4, 7 e 10

Parâmetros	Modelos codificados	R ² (%)	F _{calculado} /F _{tabelado}
a_w – Dia 1	$y = 0,96 + 0,0029 x_1 + 0,0043 x_2 - 0,0016 x_2^2 - 0,0018 x_1 x_2$	89,54	11,44
a_w – Dia 4	$y = 0,96 + 0,0029 x_1 + 0,0041 x_2 - 0,0011 x_3 - 0,0024 x_1 x_2$	90,67	13,09
a_w – Dia 7	$y = 0,96 + 0,0033 x_1 + 0,0054 x_2 - 0,0029 x_2^2 - 0,0027 x_3 - 0,0020 x_1 x_2 + 0,0017 x_1 x_3 + 0,0020 x_2 x_3$	94,49	11,38
a_w – Dia 10	$y = 0,95 + 0,0039 x_1 + 0,0057 x_2 - 0,0016 x_2^2 - 0,0032 x_3 - 0,0028 x_1 x_2$	88,82	8,00

a_w : atividade de água. Valores estatisticamente significativos a 90% de significância ($p < 0,10$).

Valores codificados = x_1 : Fibra de trigo; x_2 : Fibra de aveia; e x_3 : Goma acácia.

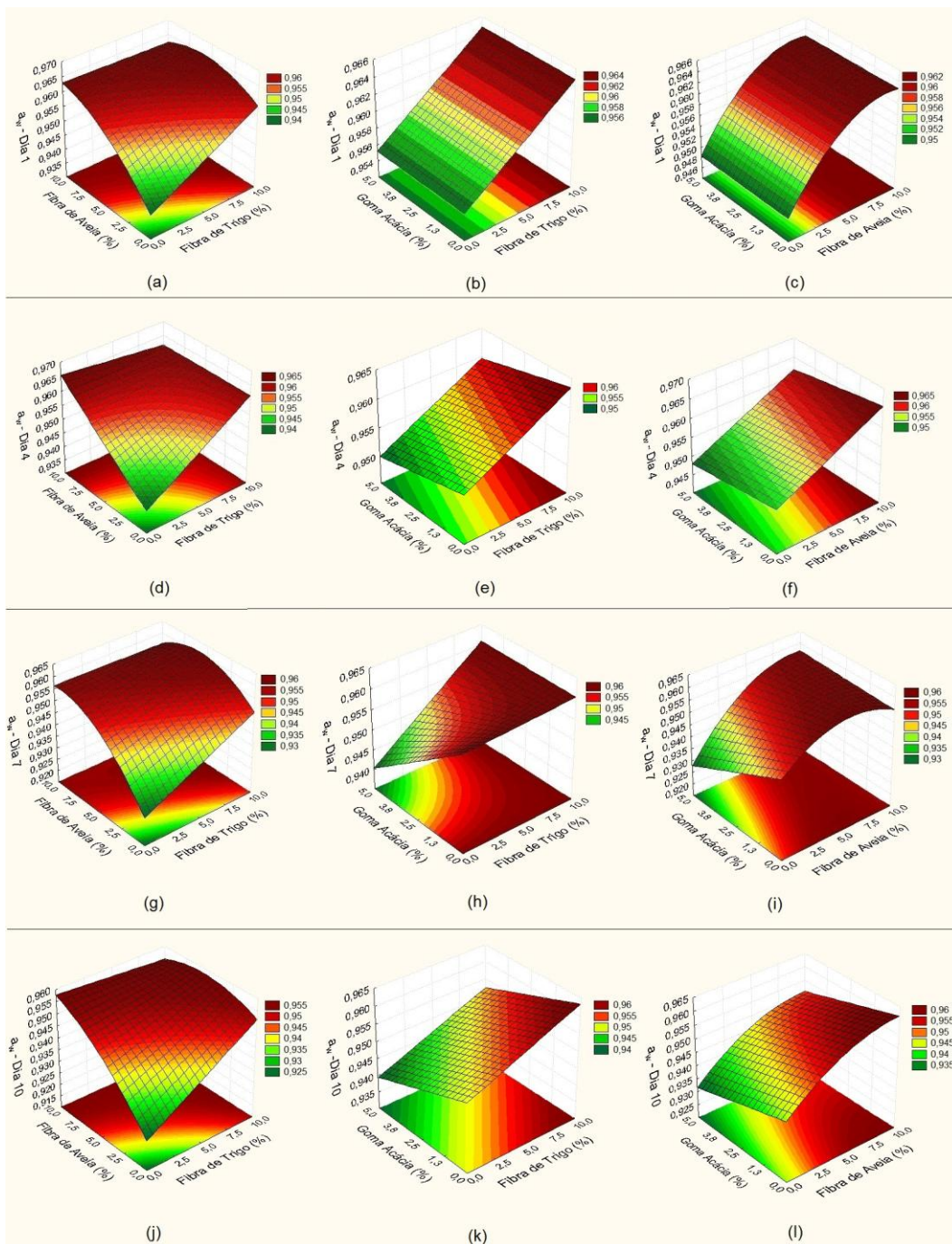


Figura 2.8. Superfícies de resposta da Atividade de água - a_w do miolo dos pães armazenados nos Dias 1, 4, 7 e 10

(a),(b) e (c): Dia 1; (d), (e) e (f): Dia 4; (g), (h) e (i): Dia 7; (j), (k) e (l): Dia 10.(a), (d) e (g): Fibra de trigo x Fibra de aveia; (b), (e) e (h): Fibra de trigo x goma acácia;e (c), (f) e (i): Fibra de aveia x goma acácia. Para todos os gráficos a terceira variável foi mantida no ponto central.

Observa-se na **Figura 2.9** uma correlação dos ensaios de umidade e atividade de água. As formulações que apresentavam alta umidade também tinham alta a_w , e o contrário também ocorreu. Apesar disso, cada formulação apresentou um perfil (inclinação) de curva a_w x umidade, indicando diferenças no declínio de umidade e a_w entre as 18 formulações do DCCR.

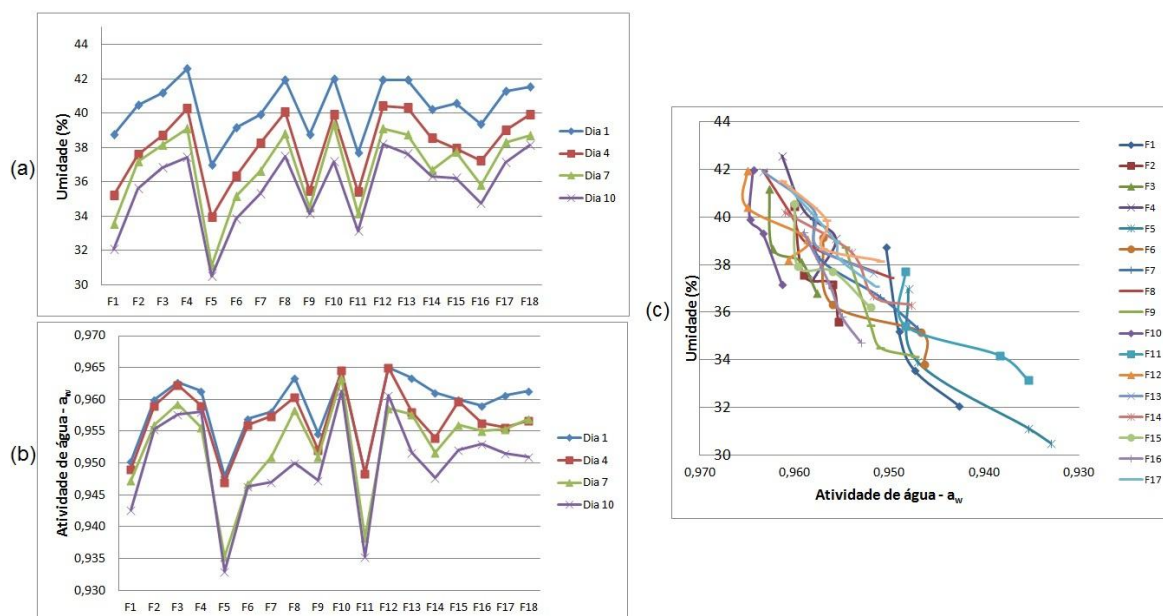


Figura 2.9. Atividade de água - a_w x umidade (%) do miolo dos pães armazenados nos Dias 1, 4, 7 e 10

(a): umidade(%),(b): a_w e (c): a_w x umidade(%).

2.3.3.4. Firmeza instrumental

A firmeza do miolo dos pães da formulação controle (FC), sem fibras, no primeiro dia foi de 227,49 gf e para os pães dos ensaios do planejamento foi de 193,90 a 404,43 gf, já no décimo dia FC apresentou 825,35 gf e os ensaios 664,32 a 1092,37 gf (**Tabela 2.14**). Após a análise dos coeficientes de regressão (**ANEXOS G.13 a G.16**) foi possível obter o modelo preditivo (**Tabela 2.15**) apenas para o dia 1. A firmeza nos dias 4 e 7 apresentou apenas o coeficiente de regressão da média significativo ($p < 0,10$) não sendo possível calcular a ANOVA. No dia 10, o R^2 foi de 66,05%, ou seja, abaixo de 70%, possivelmente pela grande

dispersão dos valores e, no final da estocagem, quando a retrogradação do amido é maior, o efeito é mais intenso na variação dos resultados.

Segundo a equação da firmeza – dia 1, as fibras de trigo e aveia apresentaram efeito positivo, indicando que elas aumentaram a firmeza nas faixas de concentração estudadas. A goma acácia não influenciou estatisticamente ($p < 0,10$).

Tabela 2.14. Firmeza (gf) do miolo dos pães armazenados nos Dias 1, 4, 7 e 10

	Dia1	Dia 4	Dia 7	Dia 10
F1	209,04 ± 5,53	432,28 ± 11,53	610,67 ± 11,14	880,67 ± 73,89
F2	238,62 ± 6,91	412,26 ± 7,32	594,58 ± 12,03	782,07 ± 68,91
F3	288,63 ± 14,04	539,28 ± 6,46	729,64 ± 27,89	759,86 ± 11,80
F4	396,70 ± 14,17	718,81 ± 79,96	799,89 ± 64,48	923,37 ± 76,35
F5	193,90 ± 11,22	409,71 ± 35,80	675,47 ± 62,80	862,88 ± 28,43
F6	234,24 ± 14,12	427,27 ± 19,53	562,47 ± 33,48	664,32 ± 25,04
F7	303,66 ± 12,53	548,66 ± 18,44	741,09 ± 21,85	854,49 ± 22,04
F8	404,43 ± 23,84	671,67 ± 33,92	1087,07 ± 45,16	1092,37 ± 38,13
F9	206,13 ± 8,80	399,32 ± 13,06	531,88 ± 21,62	803,90 ± 44,33
F10	287,16 ± 22,05	576,18 ± 35,73	610,66 ± 26,45	762,13 ± 26,49
F11	318,31 ± 14,24	658,67 ± 42,47	811,10 ± 38,88	975,76 ± 47,72
F12	357,59 ± 7,51	520,96 ± 16,65	651,67 ± 34,27	850,13 ± 40,33
F13	292,33 ± 20,79	483,04 ± 24,49	634,77 ± 25,80	706,03 ± 19,51
F14	287,89 ± 3,43	585,24 ± 17,71	740,58 ± 38,51	875,54 ± 26,39
F15	200,25 ± 3,02	385,19 ± 12,80	459,77 ± 33,42	754,98 ± 46,50
F16	267,56 ± 10,83	552,30 ± 20,27	687,40 ± 38,96	795,64 ± 41,13
F17	267,49 ± 3,02	544,03 ± 12,06	658,95 ± 26,41	789,11 ± 41,66
F18	212,53 ± 4,79	404,26 ± 8,84	513,48 ± 18,55	795,87 ± 19,65
FC	227,49 ± 11,98	455,26 ± 7,91	572,44 ± 23,43	825,35 ± 23,53

Média ± desvio padrão (n=6).

Tabela 2.15. Modelo codificado para Firmeza do miolo dos pães no Dia 1

Parâmetro	Modelo codificado	R ² (%)	F _{calculado} /F _{tabelado}
Firmeza (gf) – Dia 1	$y = 252,95 + 30,39 x_1 + 42,74 x_2 + 30,27 x_2^2$	71,38	4,62

Valores estatisticamente significativos a 90% de significância ($p < 0,10$). Valores codificados = x_1 :

Fibra de trigo; x_2 : Fibra de aveia.

Peressini & Sensidoni (2009) estudaram a adição de inulina com diferentes graus de polimerização em pães (0%, 2,5%, 5% e 7,5% em base farinha) e encontraram, em geral, aumento da dureza com 5 e 7,5%. A adição de 2,5% praticamente não alterou a dureza. Purhagen *et al.* (2011) substituíram 3% de farinha de trigo comum por fontes de fibras em pães (farinha de grão inteiro de trigo durum, farelo de aveia, farelo de arroz e farelo de trigo) e, analisando a firmeza obtiveram aumento desta em relação ao controle sem fibras em 1,3 e 7 dias de estocagem. O controle passou de ~ 2 N no dia 1 para ~ 6,5 N no dia 7, enquanto os pães com fibras apresentaram 3 – 4 N no dia 1 e 7 – 9 N no dia 7 (os dados são mostrados em gráfico).

A análise das superfícies de resposta (**Figura 2.10**) indica que a firmeza apresentou valores mínimos para a fibra de trigo variando de 0 a 2,5%, fibra de aveia de 0 a 5% e a goma acácia não influenciou ($p < 0,10$). Os erros relativos dos valores obtidos pelo modelo entre os valores experimentais chegaram até 26% indicando baixa correlação, o que pode ser justificado pelo R² baixo (71,38%), porém dentro do mínimo estabelecido (**ANEXO G.17**). Esta análise, em geral, apresenta um coeficiente de variação alto perto de 10%, que é o limite para a validação do experimento.

Observa-se aumento da firmeza na formulação controle e em todos os ensaios do experimento com o passar do tempo devido à retrogradação do amido e a migração da água do miolo (GOESAERT *et al.*, 2009; CAUVAIN, 1998; ZOBEL & KULP, 1996). Porém apesar do aumento da firmeza, deseja-se que a firmeza seja a menor possível durante o período de estocagem, e o aumento dela é um dos fatores que determinam o fim da vida útil do produto. Dez formulações

apresentaram firmeza no dia 10, menor que a formulação sem fibras (FC), porém não foi possível obter uma relação entre elas. A porcentagem de aumento da firmeza nos dias 4, 7 e 10 em relação ao primeiro dia está apresentada na **Figura 2.11**, na qual observamos que as formulações com maiores acréscimos (>300%), no dia 10, foram F1 e F5, as mesmas que apresentaram as maiores perdas de umidade, ambas formulações dos pães apresentam 2% de fibras de trigo e aveia e variam na quantidade de goma acácia com 1% e 4 % respectivamente.

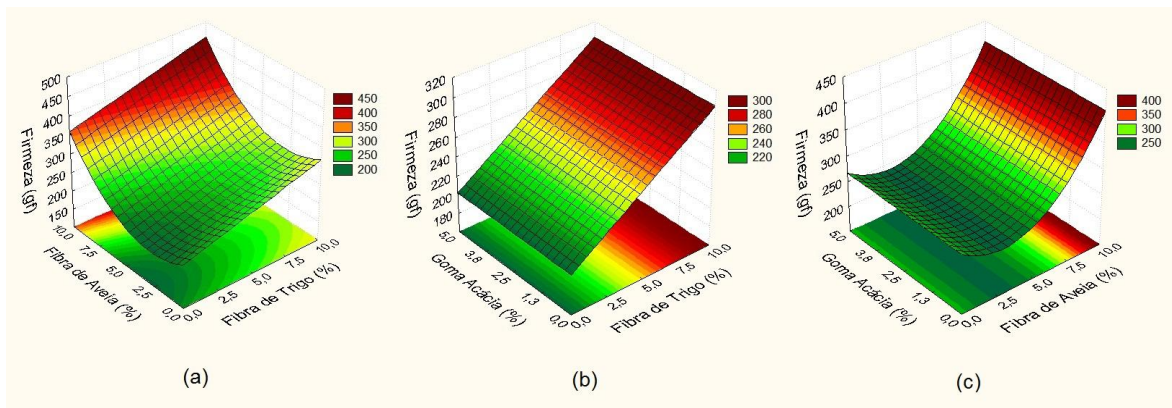


Figura 2.10. Superfícies de resposta da Firmeza (gf) do miolo dos pães no Dia 1 (a): Fibra de trigo x Fibra de aveia; (b): Fibra de trigo x goma acácia; e (c): Fibra de aveia x goma acácia. Para todos os gráficos a terceira variável foi mantida no ponto central.

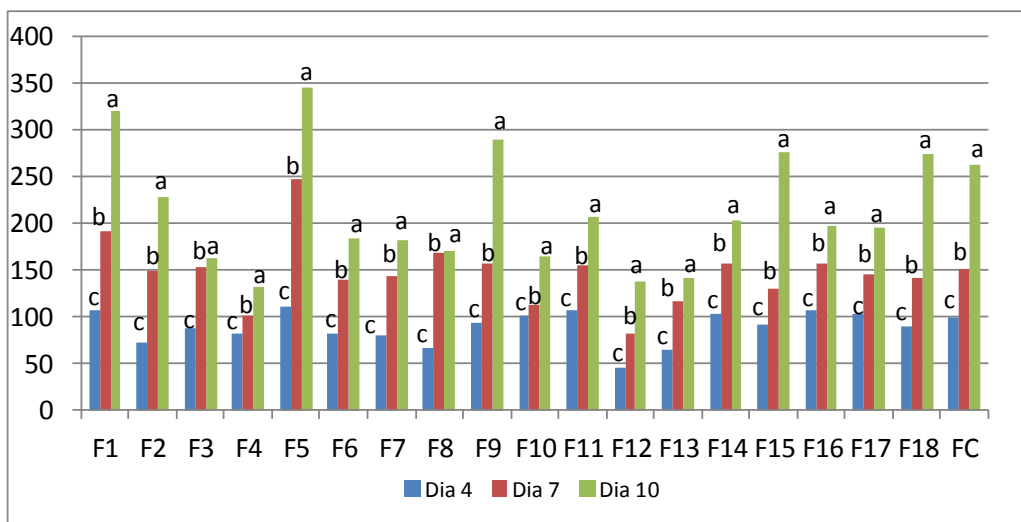


Figura 2.11. Aumento de firmeza (%) do miolo dos pães nos Dias 4, 7 e 10 em relação ao Dia 1

Médias seguidas de letras iguais para cada tipo de pão não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

2.3.3.5. Cor L*a*b* e ΔE

O sistema CIE L* a* b* é em formato de cubo (**Figura 2.12**). L*, que representa a luminosidade, varia de 0 a 100. Quanto mais próximo de 100, mais luminoso (branco) e próximo a zero, sem luminosidade (preto). Os valores de a* e b* não têm valores limitados. Valor positivo de a* representa o vermelho, negativo o verde. Valor positivo de b* representa o amarelo, negativo o azul (HUNTERLAB, 2008).

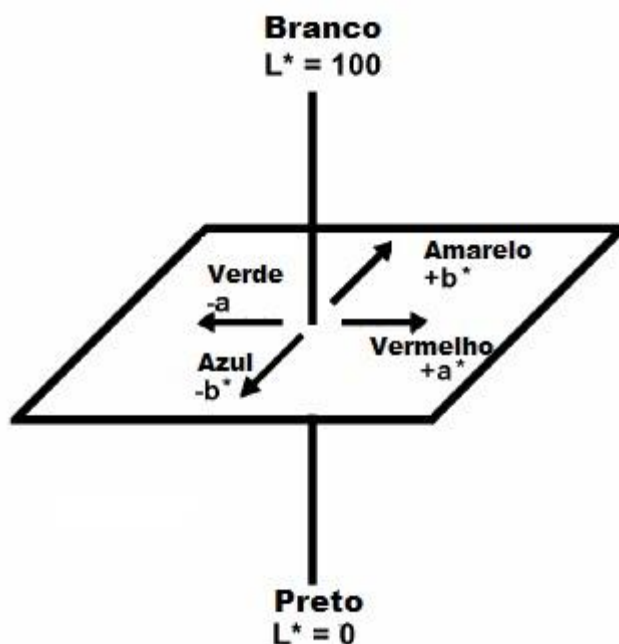


Figura 2.12. Representação gráfica de L*a*b*

Fonte: HUNTER, 2008.

Os valores de L*, a* e b* nos dias 1, 4, 7 e 10 de FC e dos ensaios do DCCR podem ser visualizados na **Tabela 2.16**.

L* de FC variou de 78,48 a 79,35 e os ensaios do DCCR de 73,39 a 79,69 nos dias de análise. Após a análise dos coeficientes de regressão (**ANEXOS G.18 a G.21**) foi possível escrever o modelo preditivo apenas para o dia 10. L* nos dias 1 e 4 apresentou R² baixos, 24,69% e 69,52% respectivamente. No dia 7 apresentou apenas o coeficiente de regressão da média significativo (p<0,10) não sendo possível calcular a ANOVA.

Tabela 2.16. Parâmetros de cor: L*, a* e b* dos pães armazenados nos Dias 1, 4, 7 e 10

Amostras	L*				a*				b*			
	Dia 1	Dia 4	Dia 7	Dia10	Dia1	Dia 4	Dia 7	Dia 10	Dia1	Dia 4	Dia 7	Dia 10
F1	76,11±1,23	77,06±0,36	76,56±0,53	75,88±0,78	0,45±0,10	0,41±0,06	0,61±0,12	0,75±0,17	16,20±0,53	15,93±0,29	16,62±0,60	17,23±0,52
F2	76,79±0,61	76,96±0,58	76,27±0,24	76,90±0,56	0,51±0,10	0,59±0,02	0,71±0,03	0,78±0,08	15,96±0,24	16,06±0,07	16,52±0,23	16,82±0,37
F3	76,40±0,68	77,03±0,73	75,61±0,91	76,27±0,73	0,50±0,09	0,67±0,07	0,76±0,08	0,73±0,03	17,38±0,36	17,57±0,23	17,64±0,10	17,78±0,09
F4	73,46±1,06	74,86±0,97	73,90±0,96	73,86±1,14	1,06±0,04	1,06±0,09	1,15±0,09	1,31±0,06	18,29±0,21	17,88±0,22	18,46±0,58	18,69±0,40
F5	77,35±0,17	77,09±0,73	76,57±0,29	77,47±0,85	0,47±0,04	0,41±0,04	0,57±0,04	0,66±0,08	15,95±0,42	15,86±0,22	16,31±0,24	16,48±0,16
F6	75,62±0,65	75,42±0,26	75,37±0,82	76,37±1,26	0,65±0,04	0,81±0,09	0,90±0,12	0,81±0,07	16,45±0,13	16,97±0,42	17,02±0,34	17,01±0,28
F7	74,60±0,78	75,64±0,93	75,29±1,43	75,40±0,57	0,78±0,07	0,81±0,08	0,81±0,10	0,91±0,10	18,48±0,33	18,26±0,31	18,12±0,47	18,60±0,23
F8	75,86±1,10	73,40±1,05	76,43±1,34	74,11±0,91	1,10±0,07	1,05±0,16	1,20±0,10	1,25±0,10	18,93±0,34	18,49±0,74	18,72±0,37	18,95±0,72
F9	78,08±0,36	77,94±0,56	79,69±0,89	77,72±0,92	0,36±0,06	0,36±0,05	0,39±0,09	0,48±0,09	16,06±0,45	15,94±0,25	16,24±0,37	16,74±0,10
F10	74,45±0,76	75,05±0,78	75,34±0,32	73,39±1,52	0,76±0,15	0,95±0,05	0,94±0,15	0,88±0,03	17,53±0,51	17,95±0,29	17,76±0,52	17,40±0,71
F11	76,73±0,92	79,02±0,78	77,73±0,87	79,16±0,86	0,92±0,03	0,82±0,07	0,95±0,06	0,97±0,06	16,67±0,11	16,55±0,32	17,11±0,14	17,24±0,31
F12	75,49±0,82	76,49±0,71	76,05±1,35	76,53±0,94	0,82±0,16	0,64±0,06	1,02±0,08	0,94±0,08	18,02±0,32	17,41±0,31	18,49±0,40	18,14±0,32
F13	76,13±0,73	75,49±0,81	77,21±0,38	75,35±1,12	0,73±0,08	0,51±0,02	0,64±0,08	0,76±0,10	17,26±0,47	16,48±0,26	17,02±0,28	17,11±0,53
F14	76,05±0,83	75,91±0,25	76,26±1,28	75,88±0,74	0,83±0,09	0,91±0,04	0,85±0,17	0,96±0,06	18,13±0,48	18,33±0,28	17,91±0,44	18,49±0,20
F15	74,31±0,59	75,82±0,14	75,42±0,28	76,44±0,73	0,59±0,06	0,59±0,10	0,66±0,07	0,68±0,03	17,07±0,14	17,18±0,32	17,08±0,38	17,15±0,12
F16	76,83±0,41	77,04±1,23	76,64±1,29	78,50±1,12	0,67±0,05	0,68±0,09	0,77±0,06	0,64±0,05	16,86±0,17	16,73±0,09	16,91±0,30	17,02±0,28
F17	76,94±0,88	77,22±0,33	76,52±0,59	75,70±0,42	0,64±0,07	0,65±0,05	0,79±0,02	0,81±0,04	17,02±0,32	17,21±0,23	17,25±0,34	17,49±0,15
F18	76,20±0,15	76,96±0,41	75,44±0,72	77,19±0,68	0,54±0,04	0,43±0,05	0,52±0,03	0,57±0,05	16,80±0,21	16,34±0,13	16,44±0,16	16,74±0,20
FC	79,08±0,65	78,48±0,72	78,83±0,70	79,35±0,19	0,35±0,05	0,48±0,05	0,53±0,02	0,54±0,06	14,90±0,44	15,57±0,22	15,66±0,41	15,69±0,33

Média ± desvio padrão (n=4).

Tabela 2.17. Modelos codificados para o parâmetro de cor L* dos pães armazenados no Dia 10

Parâmetro	Modelos codificados	R ² (%)	F _{calculado} /F _{tabelado}
L* – Dia 10	$y = 77,20 - 0,81 x_1 - 0,65 x_1^2 - 0,84 x_2 - 0,63 x_3^2$	70,74	3,24

Valores estatisticamente significativos a 90% de significância ($p < 0,10$). Valores codificados = x_1 : Fibra de trigo; x_2 : Fibra de aveia; e x_3 : Goma acácia.

Através da equação do valor L* – dia 10 (**Tabela 2.17**), fibra de trigo, fibra de aveia e goma acácia apresentaram efeito negativo, indicando que elas diminuiram o valor de L* nas faixas de concentração estudadas ($p < 0,10$), apesar da fibra de trigo ser a única fibra que apresentou valor menor de L* ($p < 0,05$) que a farinha de trigo nas análises das matérias-primas.

A análise das superfícies de resposta (**Figura 2.13**) indica que L* é máximo com a fibra de trigo variando de 0 a 5%, fibra de aveia de 0 a 2,5% e a goma acácia de 1,3 a 3,8% ($p < 0,10$). Os erros relativos dos valores obtidos pelo modelo entre os valores experimentais são menores que 3% indicando alta correlação (**ANEXO G.12**).

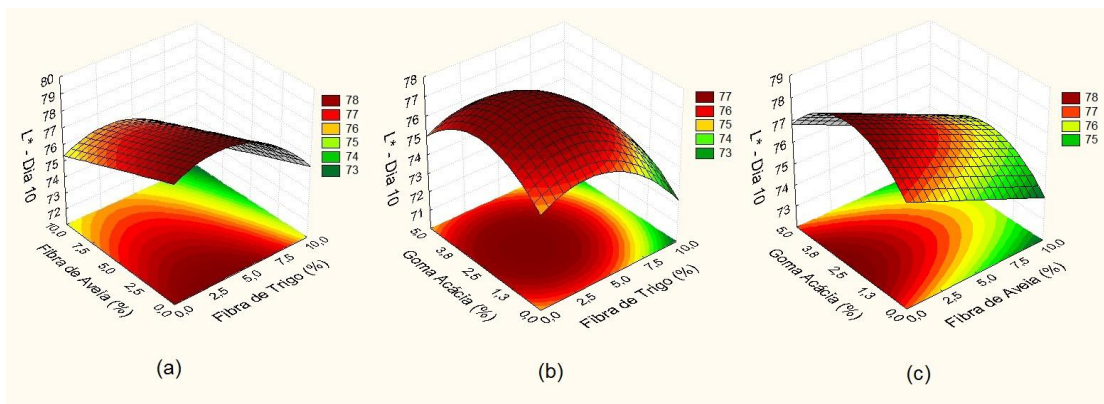


Figura 2.13. Superfícies de resposta do parâmetro de cor L* dos pães armazenados no Dia 10

(a): Fibra de trigo x Fibra de aveia; (b): Fibra de trigo x goma acácia; e (c): Fibra de aveia x goma acácia. Para todos os gráficos a terceira variável foi mantida no ponto central.

FC obteve valor a^* de 0,35 a 0,54 e os ensaios do DCCR de 0,36 a 1,25 nos dias de análise. Após a análise dos coeficientes de regressão (**ANEXOS G.23 a G.26**) foi possível obter o modelo preditivo apenas para os dias 7 e 10. a^* no dia 1 apresentou falta de ajuste do modelo ($F_{\text{falta de ajuste calculado}} > F_{\text{tabelado}}$). Já no dia 4 o R^2 foi de 46,00% abaixo do valor mínimo estipulado.

Através das equações do valor a^* nos dias 7 e 10 (**Tabela 2.18**), a fibra de trigo e a fibra de aveia apresentaram efeito positivo, indicando que elas aumentaram o valor de a^* nas faixas de concentração estudadas ($p < 0,10$), apesar das três fibras apresentarem valor menor de a^* ($p < 0,05$) que a farinha de trigo nas análises das matérias-primas.

A análise das superfícies de resposta dos dois dias (**Figura 2.14**) indica que de forma geral (pois a goma acácia só foi significativa no dia 10), a^* é mínimo com a fibra de trigo variando de 0 a 2,5%, fibra de aveia de 2,5 a 7,5% e a goma acácia de 1,3 a 3,8% ($p < 0,10$). Os erros relativos dos valores obtidos pelo modelo entre os valores experimentais para o dia 7 chegam a até 36% e para o dia 10 chegam a até 23% indicando baixa correlação (**ANEXO G.27**).

Tabela 2.18. Modelos codificados para o valor a^* dos pães armazenados no Dias 7 e 10

Parâmetros	Modelos codificados	R^2 (%)	$F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}}$
a^* – Dia 7	$y = 0,71 + 0,16 x_1 + 0,094 x_2 + 0,11 x_2^2$	78,66	6,83
a^* – Dia 10	$y = 0,64 + 0,13 x_1 + 0,084 x_2 + 0,13 x_2^2 + 0,092 x_3^2 + 0,093 x_1 x_2$	79,93	4,00

Valores estatisticamente significativos a 90% de significância ($p < 0,10$). Valores codificados = x_1 : Fibra de trigo; x_2 : Fibra de aveia; e x_3 : Goma acácia.

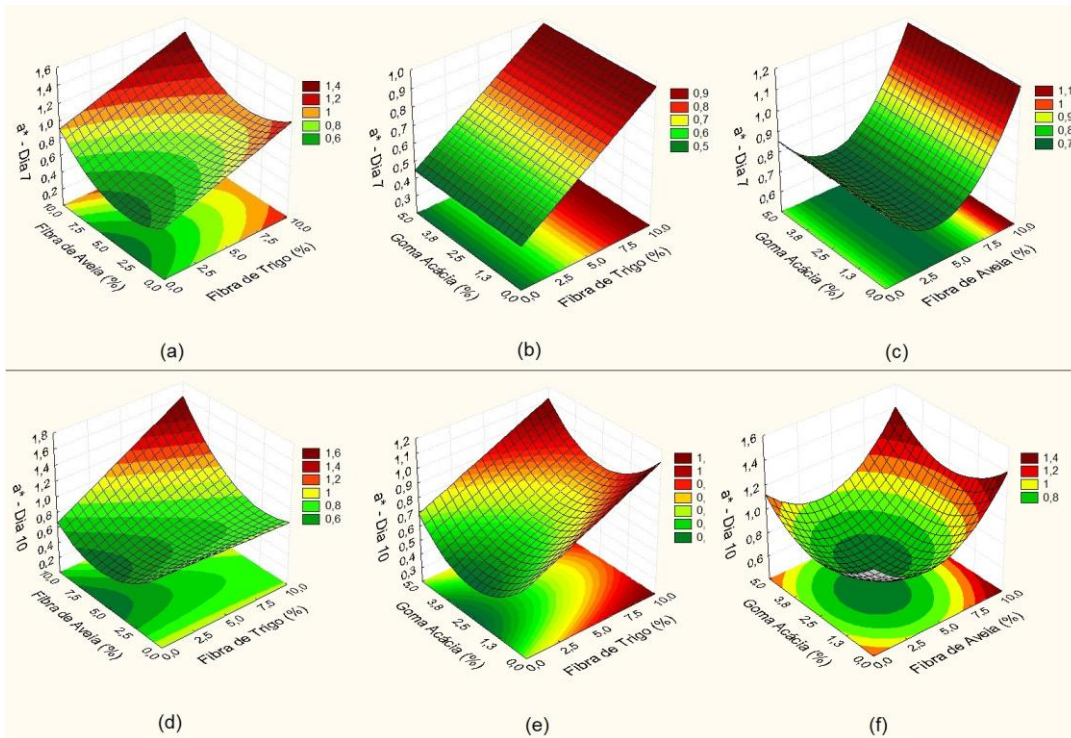


Figura 2.14. Superfícies de resposta do parâmetro de cor a^* dos pães

armazenados nos Dias 7 e 10

(a),(b) e (c): Dia 7; (d), (e) e (f): Dia 10. (a) e (d): Fibra de trigo x Fibra de aveia; (b) e (e) :Fibra de trigo x goma acácia; e (c) e (f): Fibra de aveia x goma acácia. Para todos os gráficos a terceira variável foi mantida no ponto central.

FC obteve valor b^* de 14,90 a 15,69 e os ensaios do DCCR de 15,93 a 18,93 nos dias de análise. Após a análise dos coeficientes de regressão (**ANEXOS G.28 a G.31**) foi possível obter o modelo preditivo apenas para os dias 4 e 7. O valor b^* no dia 1 apresentou falta de ajuste do modelo ($F_{\text{falta de ajuste calculado}} > F_{\text{tabelado}}$). Já no dia 10 o R^2 foi de 55,54% abaixo do valor mínimo estipulado.

Através das equações do valor de b^* nos dia 4 e 7 (**Tabela 2.19**), a fibra de trigo e a fibra de aveia apresentaram efeito positivo, indicando que elas aumentaram o valor de b^* nas faixas de concentração estudadas ($p < 0,10$). A goma acácia apenas no dia 4 apresentou valores significativos, aumentando o valor de b^* . A análise da cor das fibras indicou valor b^* maior que a farinha de trigo para a fibra de aveia e a goma acácia, confirmando o aumento do valor de b^* nos

pães, já a fibra de trigo aumentou o valor de b^* mesmo tendo seu valor menor como matéria-prima.

Tabela 2.19. Modelos codificados para o parâmetro de cor b^* dos pães armazenados nos Dias 4 e 7

Parâmetros	Modelos codificados	R^2 (%)	$F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}}$
b^* – Dia 4	$y = 17,06 + 0,38 x_1 + 0,65 x_2 + 0,39 x_3$	73,48	5,13
b^* – Dia 7	$y = 17,11 + 0,34 x_1 + 0,64 x_2 + 0,27 x_2^2$	78,35	6,70

Valores estatisticamente significativos a 90% de significância ($p < 0,10$). Valores codificados = x_1 : Fibra de trigo; x_2 : Fibra de aveia; e x_3 : Goma acácia.

A análise das superfícies de resposta dos dois dias (**Figura 2.15**), 4 e 7, indica que de forma geral (pois a goma acácia só foi significativa no dia 4), o valor de b^* é mínimo com a fibra de trigo variando de 0 a 2,5%, a fibra de aveia de 0 a 2,5% e a goma acácia de 0 a 1,3% ($p < 0,10$). Os erros relativos dos valores obtidos pelo modelo entre os valores experimentais para os dias 4 e 7 foram menores que 10%, ou seja, alta correlação (**ANEXO G.32**).

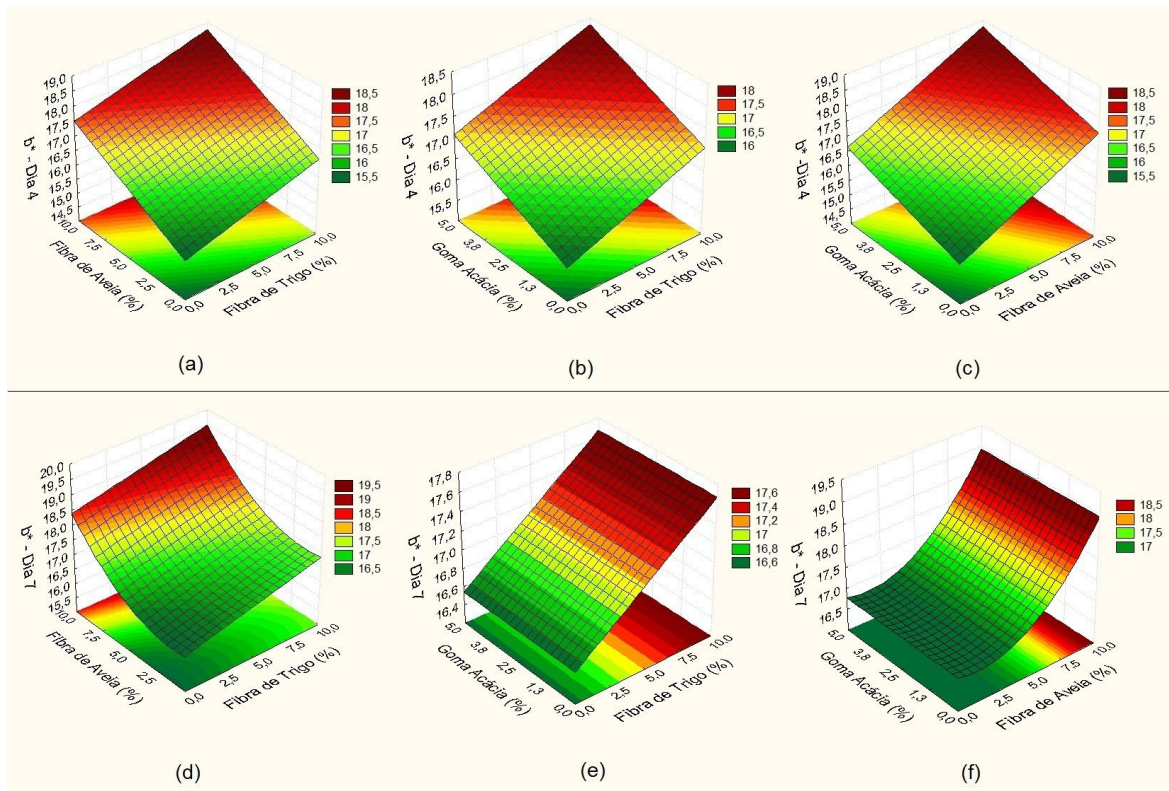


Figura 2.15. Superfícies de resposta do parâmetro de cor b^* dos pães armazenados nos Dias 4 e 7

(a),(b) e (c): Dia 4; (d), (e) e (f): Dia 7. (a) e (d): Fibra de trigo x Fibra de aveia; (b) e (e) :Fibra de trigo x goma acácia; e (c) e (f): Fibra de aveia x goma acácia. Para todos os gráficos a terceira variável foi mantida no ponto central.

A diferença total de cor – ΔE é a expressão da soma das diferenças dos valores de L^* , a^* e b^* entre um padrão (neste caso FC) e uma amostra (cada ensaio do planejamento).

ΔE variou de 1,71 a 6,62 nos ensaios do DCCR nos quatro dias de análise (Tabela 2.20). Esta diferença é relativamente pequena, quando comparada a outros trabalhos que utilizaram fibras brancas em pães, devido às diferenças dos valores de L^* , a^* e b^* também terem sido pequenas, por isso ocorreram poucos modelos preditivos para estes parâmetros e a não uniformidade de dias (modelos obtidos apenas para L^* - dia 10; a^* - dias 7 e 10 e; b^* - dias 4 e 7).

Tabela 2.20. Diferença de cor – ΔE dos pães armazenados nos Dias 1, 4, 7 e 10

	Dia1	Dia 4	Dia 7	Dia 10
F1	3,28 ± 1,23	1,48 ± 0,38	2,50 ± 0,61	3,81 ± 0,88
F2	2,53 ± 0,64	1,60 ± 0,57	2,71 ± 0,28	2,71 ± 0,63
F3	3,68 ± 0,57	2,54 ± 0,35	3,82 ± 0,76	3,75 ± 0,58
F4	6,62 ± 0,88	4,35 ± 0,82	5,76 ± 0,67	6,32 ± 1,04
F5	2,06 ± 0,09	1,44 ± 0,72	2,36 ± 0,29	2,05 ± 0,84
F6	3,80 ± 0,41	3,40 ± 0,27	3,75 ± 0,82	3,34 ± 1,02
F7	5,76 ± 0,56	3,98 ± 0,63	4,41 ± 1,08	4,92 ± 0,57
F8	5,23 ± 0,41	5,97 ± 0,60	4,11 ± 0,47	6,28 ± 0,48
F9	1,69 ± 0,50	0,77 ± 0,44	1,16 ± 0,78	2,00 ± 0,74
F10	5,35 ± 1,05	4,24 ± 0,50	4,13 ± 0,07	6,27 ± 1,31
F11	3,01 ± 0,54	1,29 ± 0,57	1,97 ± 0,49	1,80 ± 0,24
F12	4,78 ± 0,43	2,75 ± 0,61	4,13 ± 0,70	3,83 ± 0,89
F13	3,81 ± 0,43	3,15 ± 0,73	2,12 ± 0,45	4,29 ± 1,03
F14	4,47 ± 0,37	3,80 ± 0,27	3,50 ± 1,14	4,51 ± 0,46
F15	5,25 ± 0,68	3,12 ± 0,25	3,72 ± 0,20	3,27 ± 0,63
F16	3,00 ± 0,42	2,02 ± 0,82	2,66 ± 0,95	1,85 ± 0,33
F17	3,10 ± 0,49	2,08 ± 0,37	2,86 ± 0,38	4,08 ± 0,44
F18	3,46 ± 0,07	1,71 ± 0,37	3,49 ± 0,69	2,41 ± 0,62

Média ± desvio padrão (n=4).

Pomeranz *et al.* (1977) encontraram ΔE de 0,81 a 9,09 utilizando fibras de celulose, trigo e aveia (7,5% e 15% de substituição). Peressini & Sensidoni (2009) utilizando 2 tipos de inulina de graus de polimerização diferentes (0%, 2,5%, 5,0% e 7,5% de substituição) encontraram ΔE de 3,87 a 20,67.

Após a análise dos coeficientes de regressão (**ANEXOS G.33 a G.36**) foi possível obter o modelo preditivo apenas para o dia 4. ΔE nos dias 1, 7 e 10 apresentou R^2 abaixo do valor mínimo estipulado, 59,79%, 63,67% e 64,56% respectivamente.

Através da equação de ΔE no dia 4 (**Tabela 2.21**), a fibra de trigo, a fibra de aveia e a goma acácia apresentaram efeito positivo, indicando que elas aumentaram o valor de ΔE nas faixas de concentração estudadas ($p < 0,10$).

Tabela 2.21. Modelos codificados para ΔE dos pães armazenados no Dia 4

Parâmetro	Modelos codificados	R ² (%)	F _{calculado} /F _{tabelado}
ΔE – Dia 4	$y = 2,38 + 0,86 x_1 + 0,83 x_2 + 0,43 x_3 + 0,49 x_3^2$	81,13	5,75

Valores estatisticamente significativos a 90% de significância ($p < 0,10$). Valores codificados = x_1 : Fibra de trigo; x_2 : Fibra de aveia; e x_3 : Goma acácia.

A análise das superfícies de resposta de ΔE no dia 4 (**Figura 2.16**) indica que ΔE apresentou valores mínimos com a fibra de trigo variando de 0 a 2,5%, a fibra de aveia de 0 a 2,5% e a goma acácia de 0 a 2,5% ($p < 0,10$). Os erros relativos dos valores obtidos entre o modelo e os valores experimentais foram até 47% (**ANEXO G.37**), ou seja, baixa correlação, talvez porque a variação explicada pelo modelo foi de 81,13% ou porque realmente as diferenças nos valores de L^* , a^* e b^* são mínimas e não uniformes. A **Figura 2.17** mostra a imagem das fatias das amostras do planejamento, com as diferentes fontes de fibra, e da formulação controle (FC), sem fibras.

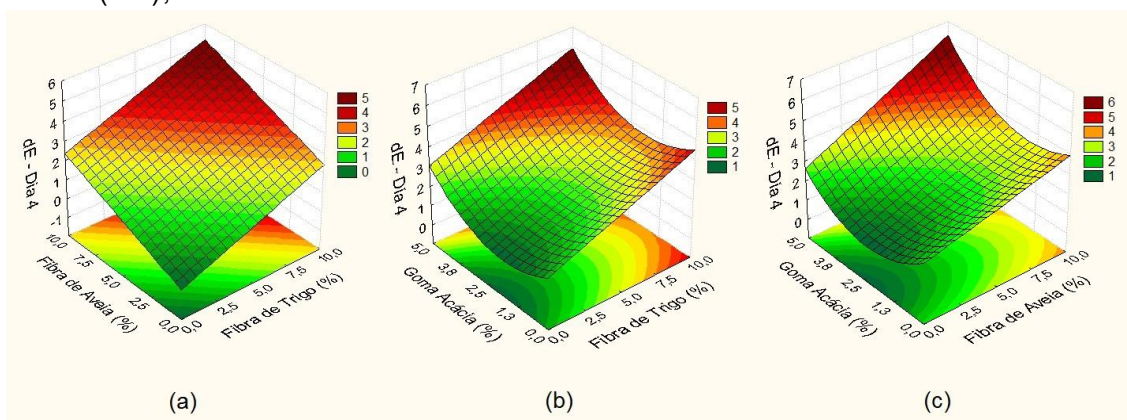


Figura 2.16. Superfícies de resposta de ΔE dos pães armazenados no Dia 4

(a): Fibra de trigo x Fibra de aveia; (b) :Fibra de trigo x goma acácia; e (c): Fibra de aveia x goma acácia. Para todos os gráficos a terceira variável foi mantida no ponto central.

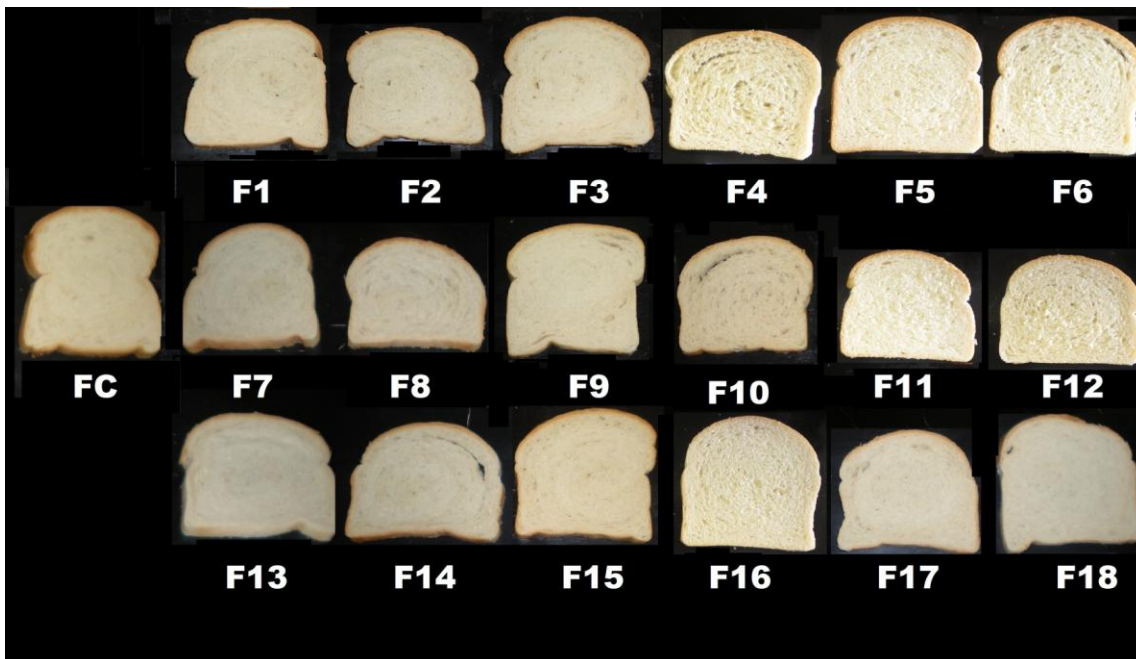


Figura 2.17. Fatias dos pães da formulação controle (FC) e dos ensaios (F1 a F18) do planejamento

FC: controle sem adição de fibras; F1: 2%TR, 2%AV e 1%GA; F2: 8%TR, 2%AV e 1%GA; F3: 2%TR, 8%AV e 1%GA; F4: 8%TR, 8%AV e 1%GA; F5: 2%TR, 2%AV e 4%GA; F6: 8%TR, 2%AV e 4%GA; F7: 2%TR, 8%AV e 4%GA; F8: 8%TR, 8%AV e 4%GA; F9: 0%TR, 5%AV e 2,5%GA; F10: 10%TR, 5%AV e 2,5%GA; F11: 5%TR, 0%AV e 2,5%GA; F12: 5%TR, 10%AV e 2,5%GA; F13: 5%TR, 5%AV e 0%GA; F14: 5%TR, 5%AV e 5%GA; F15: 5%TR, 5%AV e 2,5%GA; F16: 5%TR, 5%AV e 2,5GA; F17: 5%TR, 5%AV e 2,5%GA; F18: 5%TR, 5%AV e 2,5GA.

TR: Fibra de trigo; AV: Fibra de aveia; GA: Goma acácia.

2.3.4. Escolha das formulações de interesse

De acordo com os resultados obtidos com os modelos preditivos de cada análise, e tendo em vista que o volume específico e a textura são itens essenciais para a qualidade de pães com fibras, foi feita uma análise para se obter uma faixa ótima de concentração de cada fibra, estabelecendo como parâmetros ter um máximo de volume específico e um mínimo de firmeza (Dia 1) usando a função “desejabilidade” do programa Statistica (**Figura 2.18**). Apesar dos parâmetros de cor $L^*a^*b^*$ terem gerado superfícies, visualmente a alteração foi mínima, o que pode ser confirmado pela análise dos dados de ΔE (1,71 a 6,62 nos quatro dias de

análise). A umidade e a atividade de água também não foram consideradas para a determinação do ponto ótimo, pois apresentaram faixas de 30 a 43% e 0,935 a 0,965 respectivamente, sendo adequadas para a conservação.

Após análise da **Figura 2.18**, chegou-se as faixas de 0 a 2,5% de fibra de trigo, 0 a 7,5% de fibra de aveia e 0 a 3,8% de goma acácia. Com as faixas de concentração foram escolhidas 3 combinações de fibras (**Tabela 2.22**) a fim de se obter uma formulação “fonte de fibras” (FF) e duas formulações de “alto teor de fibras” (FR1 e FR2) segundo a legislação brasileira (BRASIL, 1998).

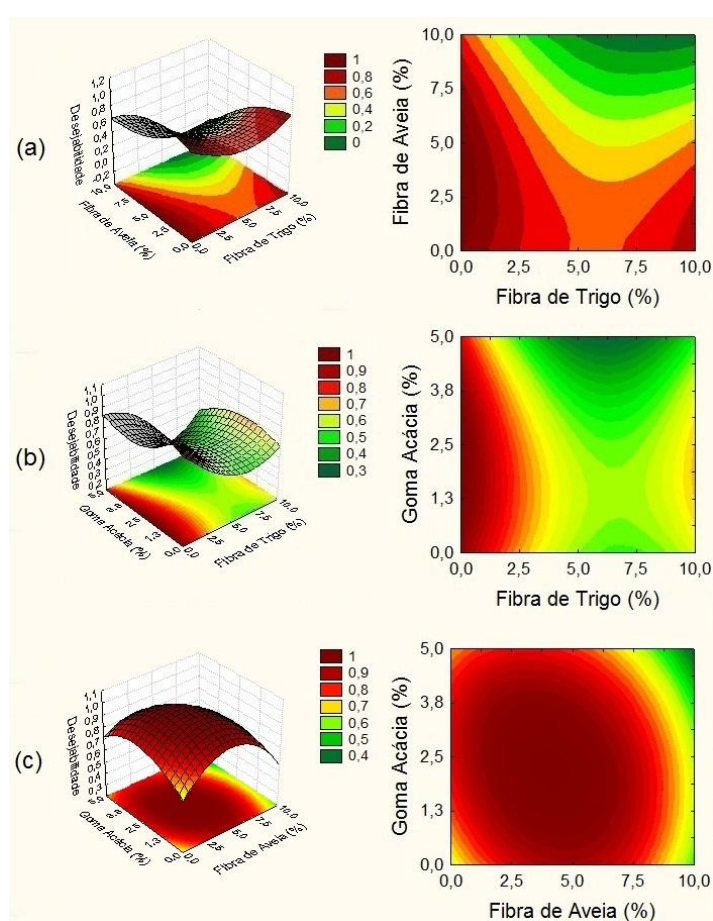


Figura 2.18. Análise da desejabilidade para o máximo volume do pão e mínima firmeza do miolo

(a): Fibra de trigo x Fibra de aveia; (b) :Fibra de trigo x goma acácia; e (c): Fibra de aveia x goma acácia.

Tabela 2.22. Concentração de fibras para as formulações dos pães

Formulações	Fibra de trigo (%)	Fibra de aveia (%)	Goma acácia (%)
FF	0	0	2,5
FR1	0	6	2,5
FR2	2	4	2,5

FF: formulação fonte de fibra ; FR: formulação rica em fibra (ou de alto teor).

Analisando somente o volume específico, a goma acácia apresentou faixa ótima mais restrita (0 a 2,5%) e como ela não foi significativa na análise da firmeza, pode-se usar qualquer valor de 0 a 5%, assim foi optado pelo valor de 2,5% de goma acácia na três formulações e também para conferir uma quantidade de fibras solúveis nos pães.

A fibra de trigo apresentou a mesma faixa ótima de concentração (0 a 2,5%) para máximo volume, mínima firmeza e pela função desejabilidade, assim optou-se por usar o mínimo (0%) em FF e FR1 e apenas usar 2% em FR2. Assim FF apresentou apenas fonte de fibra solúvel.

Com relação à fibra de aveia, ela apresentou faixas de 0 a 5% para máximo volume, de 0 a 2,5% para mínima firmeza e de 0 a 7,5% pela função desejabilidade, assim optou-se por 0% em FF, um valor mais alto (6%) para FR1 e um menor para FR2 (4%) para que esta última formulação apresentasse as três fontes de fibras.

Em relação a custos das fontes de fibras utilizadas neste trabalho, que são importadas para o Brasil, a fibra de aveia tem o menor preço entre as três fibras. Adotando “x” como o valor desta fibra, a fibra de trigo custa “1,2 x” e a goma acácia “1,9 x”. Após o cálculo dos custos das formulações com fibras e da formulação controle, ocorreu aumento em relação ao controle sem fibras de 15,77%, 24,17% e 25,23% para FF, FR1 e FR2 respectivamente. Também pensando em custos, realizou-se uma pesquisa de preços dos pães brancos (n = 20) e dos pães integrais (n = 40) do mercado brasileiro, foi encontrada uma

variação de 111,21% no preço por kg de pão de forma entre pães integrais e pães brancos.

2.3.5. Validação

Para proceder com a validação dos modelos preditivos gerados no planejamento foram realizados novos processamentos com as formulações escolhidas no item anterior e a formulação controle (sem fibras): FF, FR1, FR2 e FC.

As análises farinográficas (**Tabela 2.23**) mostraram que FF (só com goma acácia), apresentou absorção de água menor que FC (sem fibras). FR1 (com fibra de aveia e goma acácia) e FR2 (com fibra de trigo, fibra de aveia e goma acácia) apresentaram os valores maiores. As formulações com fibras apresentaram maiores valores para TC, TD, TS, TE e ITM. Os erros entre os valores experimentais e os preditos pelos modelos estão no **ANEXO H.1** e, apresentam valores baixos (< 10%) apenas para absorção de água. TC obteve valores preditos muito diferentes (erros de até 513%) dos experimentais. TD e TS apresentaram erros de até 68%. Apenas a absorção de água (Abs) obteve o modelo matemático validado.

As análises extensográficas (**Tabela 2.24**) mostraram que FF apresentou menores valores de R, Rm e D (45 min) enquanto FR1 e FR2 apresentaram valores maiores para estes parâmetros. Como nas formulações do planejamento, para os tempos de 90 min e 135 min, os valores de R e Rm foram > 1000 UE para a maioria dos ensaios. Os erros entre os valores experimentais e os preditos pelos modelos estão no **ANEXO H.2** e todos os parâmetros (D - 45 min, E - 45 min, E - 90 min e E - 135 min) apresentaram erros maiores que 10%. E - 45 min, E- 90 min e E - 135 min tiveram erros até 35%, que para este tipo de análise, é possível considerar como bom e validar estes modelos, já que apresentam grande variação entre as replicatas.

Tabela 2.23. Parâmetros farinográficos da farinha de trigo e das pré-misturas de FF, FR1, FR2 e FC

Amostras	Abs (%)	TC (min)	TD (min)	TS (min)	TE (min)	ITM (UF)
FF	54,2 ± 0,1	2,1 ± 0,1	9,0 ± 0,5	14,4 ± 0,2	12,4 ± 0,1	30 ± 5
FR1	59,8 ± 0,1	2,4 ± 0,1	9,8 ± 0,3	14,5 ± 0,5	11,7 ± 0,2	30 ± 5
FR2	59,1 ± 0,1	2,3 ± 0,1	9,3 ± 0,3	14,3 ± 0,3	12,0 ± 0,4	25 ± 5
FC	55,3 ± 0,3	1,2 ± 0,1	5,5 ± 0,5	12,5 ± 0,1	11,4 ± 0,1	10 ± 2

Abs: absorção de água, TC: tempo de chegada, TD: tempo de desenvolvimento, TS: tempo de saída, TE: tempo de estabilidade, ITM: índice de tolerância a mistura, UF: unidades farinográficas; FF: 2,5% goma acácia; FR1: 6% fibra de aveia e 2,5% goma acácia ; FR2: 2% fibra de trigo, 4% fibra de aveia e 2,5% de goma acácia e; FC: controle sem adição de fibras.

Tabela 2.24. Parâmetros extensográficos da farinha de trigo e das pré-misturas de FF, FR1, FR2 e FC

Amostras	45 min				90 min				135 min			
	R (UE)	Rm (UE)	E (mm)	D = R/E	R (UE)	Rm (UE)	E (mm)	D = R/E	R (UE)	Rm (UE)	E (mm)	D = R/E
FF	507	833	140	3,4	887	>1000	128	6,9	967	>1000	119	8,1
FR1	618	819	148	5,0	960	>1000	98	9,8	>1000	>1000	92	>10,9
FR2	680	845	124	6,2	>1000	>1000	102	>9,5	>1000	>1000	85	>11,7
FC	660	935	140	4,7	>1000	>1000	117	>8,6	930	>1000	122	7,6

R: resistência à extensão, Rm: resistência máxima, E: extensibilidade, D: número proporcional, UE: unidades extensográficas. FF: 2,5% goma acácia; FR1: 6% fibra de aveia e 2,5% goma acácia ; FR2: 2% fibra de trigo, 4% fibra de aveia e 2,5% de goma acácia e; FC: controle sem adição de fibras.

Os resultados das análises do volume específico estão na **Tabela 2.25**. FF e FR2 apresentaram volumes específicos mais próximos que o padrão. As imagens das fatias de FF, FR1, FR2 e FC foram digitalizadas e transformadas em preto e branco para observar os alvéolos (**Figura 2.19**) e, por elas podemos observar que FF apresenta estrutura do miolo parecida com FC, porém com alvéolos maiores. FR1 e FR2 apresentaram um número menor de alvéolos e miolo menos denso. A adição das fibras alterou as propriedades reológicas da massa, alterou a estrutura da rede de glúten e conseqüentemente diminuiu o volume dos pães.

Os erros entre os valores experimentais e os preditos pelo modelo estão no **ANEXO I.1** que apresentam valores em módulo de 6,9 a 20,5%. FF apresentou o maior erro (-20,50%) e FR2 o menor (-6,90%).

Tabela 2.25. Volume específico (mL/g) dos pães das formulações FF, FR1, FR2 e FC

Formulações	Volume específico (mL/g)
FF	4,60 ± 0,02 ^b
FR1	4,32 ± 0,01 ^c
FR2	4,48 ± 0,09 ^b
FC	4,94 ± 0,05 ^a

FF: 2,5% goma acácia; FR1: 6% fibra de aveia e 2,5% goma acácia ; FR2: 2% fibra de trigo, 4% fibra de aveia e 2,5% de goma acácia e; FC: controle sem adição de fibras; Média ± desvio padrão (n=3). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

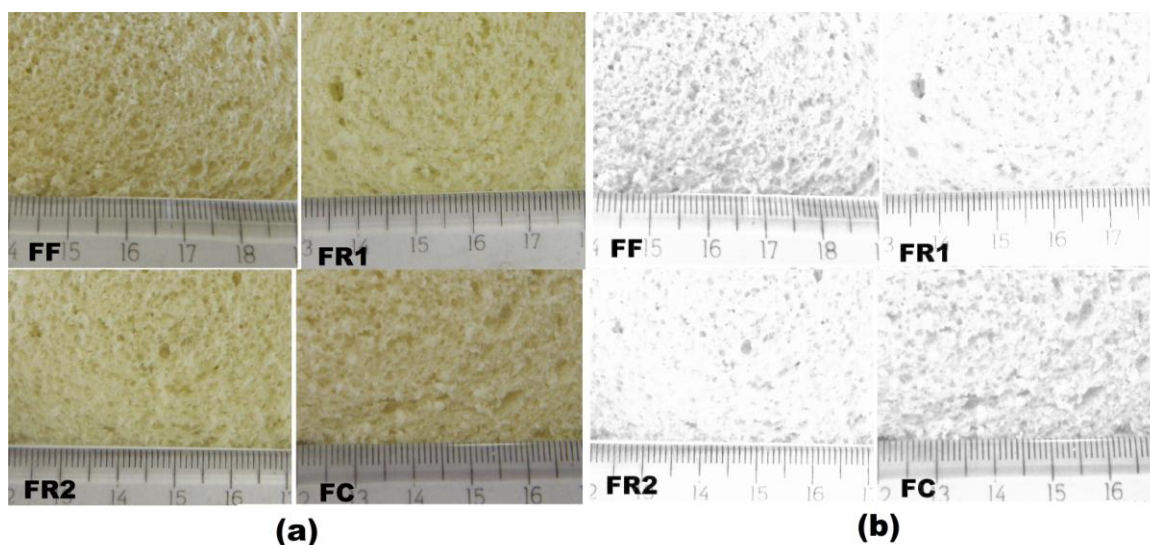


Figura 2.19. Imagens digitalizadas dos pães das formulações FF, FR1, FR2 e FC

(a) Imagem colorida ; (b) Imagem preto e branco;

FF: 2,5% goma acácia; FR1: 6% fibra de aveia e 2,5% goma acácia e; FR2: 2% fibra de trigo, 4% fibra de aveia e 2,5% de goma acácia.

Os resultados das análises de umidade estão na **Tabela 2.26**. FF apresentou umidade menor que o padrão em todos os dias de análise, enquanto FR1 e FR2 apresentaram umidade maior que FC, ou seja, estes resultados seguem a tendência apresentada pelos modelos preditivos onde a goma acácia reduziu a umidade e as fibras de trigo e aveia aumentaram este parâmetro, pois FF apresentou apenas a goma acácia na formulação e FR1 e FR2 apresentaram as outras duas fibras além da goma acácia. Os erros entre os valores experimentais e os preditos pelo modelo estão no **ANEXO I.2** que apresentaram valores em módulo 0,04 a 2,49% nos dias 1, 4 e 7 (dias com modelo preditivo).

Tabela 2.26. Umidade (%) dos pães das formulações FF, FR1, FR2 e FC armazenados nos Dias 1, 4, 7 e 10

Formulações	Umidade (%) -	Umidade (%) -	Umidade (%) -	Umidade (%) -
	Dia 1	Dia 4	Dia 7	Dia 10
FF	36,25 ± 0,15 ^{c,A}	33,55 ± 0,04 ^{d,B}	32,53 ± 0,02 ^{d,C}	31,37 ± 0,03 ^{d,D}
FR1	38,94 ± 0,02 ^{a,A}	36,98 ± 0,06 ^{a,B}	35,97 ± 0,07 ^{a,C}	35,12 ± 0,11 ^{a,D}
FR2	38,76 ± 0,06 ^{a,A}	36,48 ± 0,03 ^{b,B}	35,32 ± 0,05 ^{b,C}	34,36 ± 0,01 ^{b,D}
FC	38,40 ± 0,09 ^{b,A}	35,97 ± 0,02 ^{c,B}	34,07 ± 0,02 ^{c,C}	33,42 ± 0,02 ^{c,D}

FF: 2,5% goma acácia; FR1: 6% fibra de aveia e 2,5% goma acácia ; FR2: 2% fibra de trigo, 4% fibra de aveia e 2,5% de goma acácia e; FC: controle sem adição de fibras; Média ± desvio padrão (n=3). Letras minúsculas se referem à comparação no mesmo dia, letras maiúsculas se referem a comparação entre os dias. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Os resultados das análises de atividade de água estão na **Figura 2.20**. FF apresentou atividade de água menor que o padrão em todos os dias de análise. Os erros entre os valores experimentais e os preditos pelo modelo estão no **ANEXO I.3** que apresentaram valores em módulo de 0,03 a 1,68% nos 4 dias de análise.

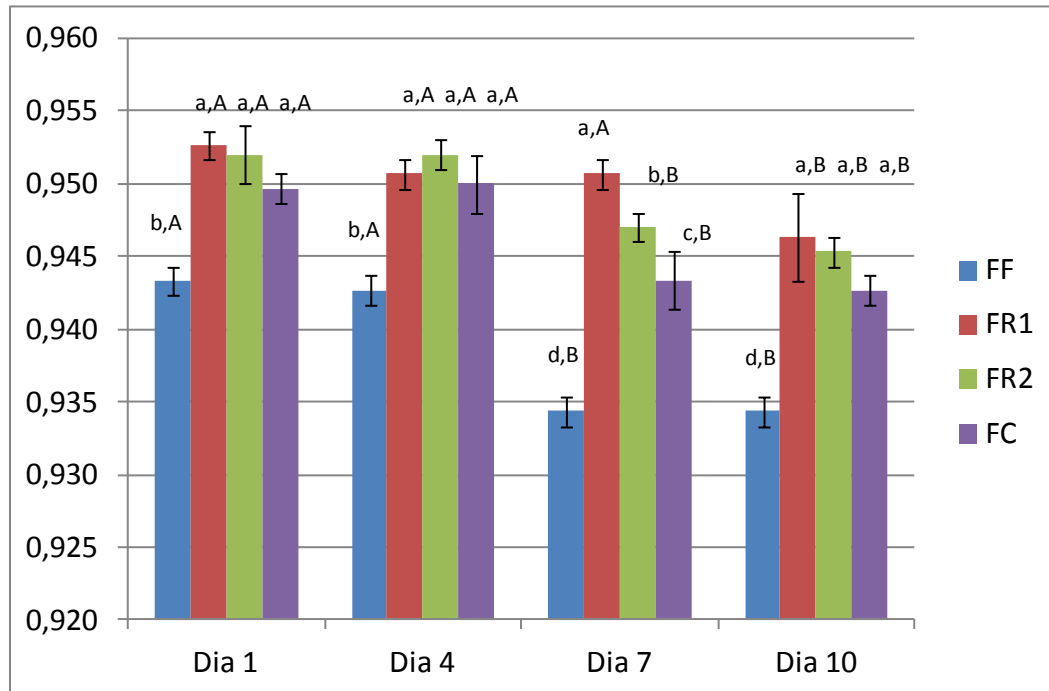


Figura 2.20. Atividade de água dos pães das formulações FF, FR1, FR2 e FC armazenados nos Dias 1, 4, 7 e 10

FF: 2,5% goma acácia; FR1: 6% fibra de aveia e 2,5% goma acácia ; FR2: 2% fibra de trigo, 4% fibra de aveia e 2,5% de goma acácia e; FC: controle sem adição de fibras. As barras representam o desvio padrão das médias (n=3). Letras minúsculas se referem à comparação no mesmo dia, letras maiúsculas se referem a comparação entre os dias. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Os dados relativos à firmeza estão na **Figura 2.21**. FR2 apresentou menor valor de firmeza que o padrão no dia 7 e, no fim da estocagem (dia 10), não houve diferença estatística ($p < 0,05$) entre FR1, FR2 e FC. Os erros entre os valores experimentais e os preditos pelo modelo estão no **ANEXO I.4** que apresentaram valores de 28,02 a 30,12% no dia 1.

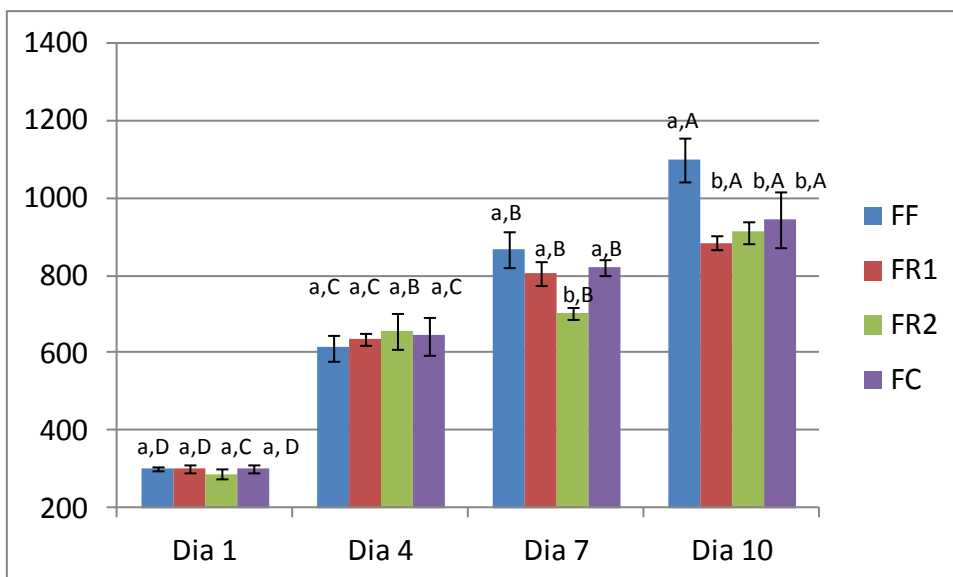


Figura 2.21. Firmeza (gf) dos pães das formulações FF, FR1, FR2 e FC armazenados nos Dias 1, 4, 7 e 10

FF: 2,5% goma acácia; FR1: 6% fibra de aveia e 2,5% goma acácia ; FR2: 2% fibra de trigo, 4% fibra de aveia e 2,5% de goma acácia e; FC: controle sem adição de fibras. As barras representam o desvio padrão das médias (n=6). Letras minúsculas se referem à comparação no mesmo dia, letras maiúsculas se referem a comparação entre os dias. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Os dados relativos aos parâmetros de cor: L^* , a^* , b^* e ΔE estão na **Figura 2.22**. A diferença total de cor foi baixa (menor que 4) para todas as formulações. Os erros entre os valores experimentais e os preditos pelos modelos estão no **ANEXO I.5** a **I.8**. O valor L^* - Dia10 apresentou erros de 2,19 a 2,84%. O valor a^* apresentou erros em módulo de 3,00 a 56,44. Os erros do valor b^* foram menores que 10%. Já os valores dos erros de ΔE foram os mais altos (de 65,76 a 123,70%).

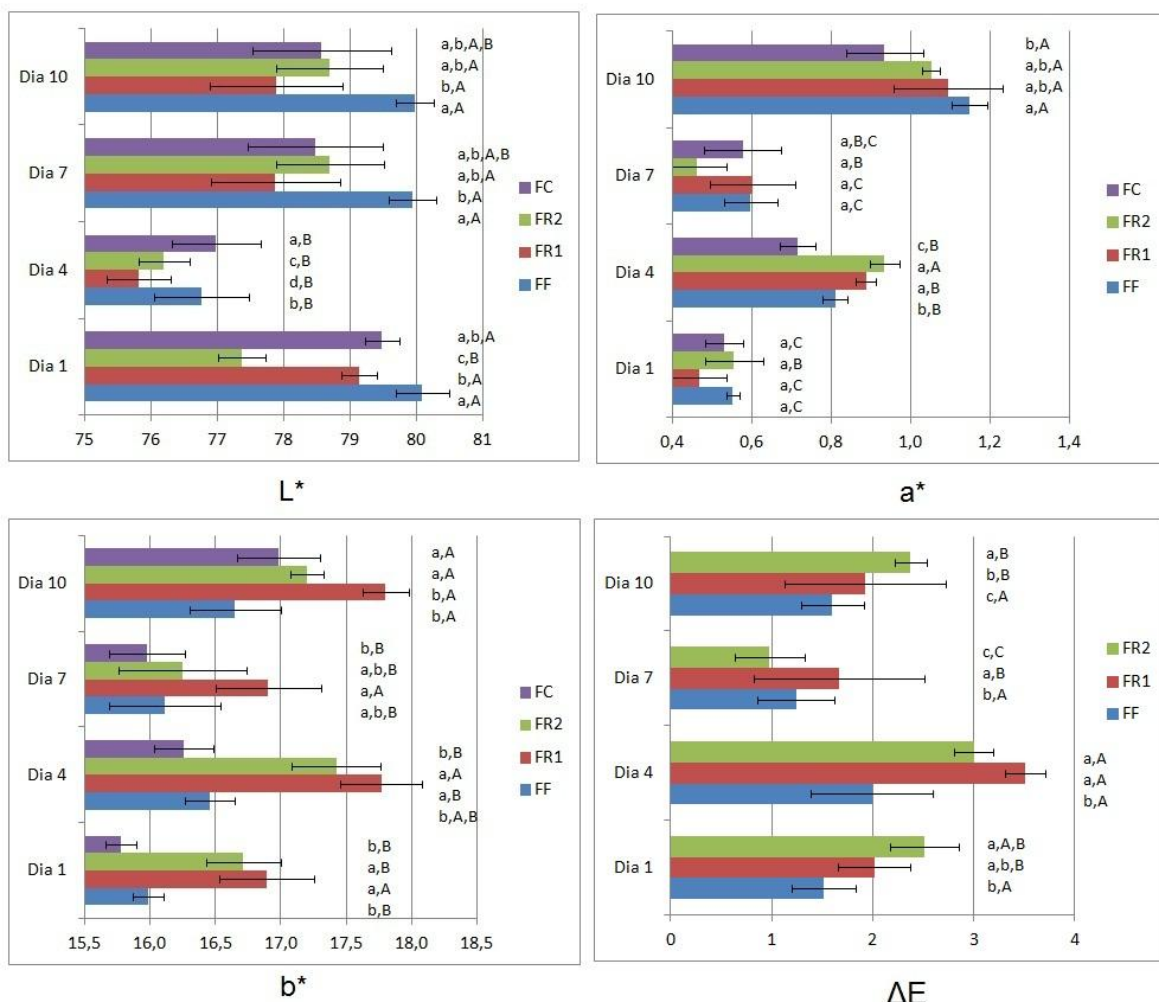


Figura 2.22. Parâmetros de cor: L^* , a^* , b^* e ΔE dos pães das formulações FF, FR1, FR2 e FC armazenados nos Dias 1, 4, 7 e 10

FF: 2,5% goma acácia; FR1: 6% fibra de aveia e 2,5% goma acácia ; FR2: 2% fibra de trigo, 4% fibra de aveia e 2,5% de goma acácia e; FC: controle sem adição de fibras. As barras representam o desvio padrão das médias (n=4). Letras minúsculas se referem a comparação no mesmo dia, letras maiúsculas se referem a comparação entre os dias. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Os resultados das análises da validação demonstraram que as equações geradas para umidade (dias 1, 4 e 7), a_w (dias 1, 4, 7, e 10), valor L^* (dia 10) e valor b^* (dias 4 e 7) predizem valores com alta correlação com os valores experimentais (erros < 10%); enquanto as equações do volume específico, firmeza (dia 1), valor a^* (dias 7 e 10) e ΔE (dia 4) apresentaram valores preditos com baixa

correlação com os valores experimentais (erros > 10%). Apesar da análise do volume ter gerado erros maiores que 10% (valor considerado limite neste trabalho), eles apresentaram erros de até 21% que é considerado bom para esse parâmetro. Já a firmeza, apresentou erros até 30%, devido a esta análise gerar coeficientes de variação mais altos que as outras análises, implicando em repetições para atingir mínimo desvio. Com relação aos parâmetros de cor, os valores de a^* são próximos a zero e por isso geram mais desvios. Já ΔE é consequência da variação total e por isso tende ao maior erro relativo.

2.3.6. Índice glicêmico *in vitro*

A análise do índice glicêmico (IG) é realizada através de uma sequência de reações enzimáticas que simulam o processo de digestão do amido no nosso organismo utilizando as enzimas pepsina suína, α -amilase e amiloglicosidase. A leitura é feita medindo-se a glicose a cada 30 minutos na última reação enzimática. Com os dados constrói-se a curva da hidrólise do amido x tempo. A área sob a curva é calculada e a relação da área de uma amostra pela área de um padrão de glicose ou um pão branco (considerado de alto índice glicêmico) representa o índice de hidrólise (IH). Através de uma equação ($IG (\%) = 39,71 + 0,549 \times IH (\%)$) o índice glicêmico é calculado (GOÑI *et al.*,1997; LEORO *et al.*, 2010).

Os dados da hidrólise do amido x tempo das amostras de FF, FR1, FR2 e FC estão na **Figura 2.23** e os valores de IH (%) e IG (%) estão na **Tabela 2.27**. Através destes resultados percebemos que o índice de hidrólise e o índice glicêmico de FF e FR1 não diferiram estatisticamente ($p < 0,05$) do controle sem fibras (FC) e que FR2 apresentou redução no IH de 24,8% e no IG de 14,4%. Esperava-se uma diferença maior entre o pão controle (FC) e as amostras com fibras, assim foi feita uma análise microscópica (Microscópio Olympus BX51 TF) de FF, FR1, FR2 e FC. Foi observada a presença de cruz de malta, que indica a birrefringência do grânulo de amido não gelatinizado, em todas as formulações analisadas (**Figura 2.24**), mostrando que o amido não foi totalmente gelatinizado durante o processamento do pão. Grânulos de amido não gelatinizado são

resistentes à digestão enzimática e, quanto mais amido gelatinizado existe no produto maior a taxa de hidrólise do amido (LEORO *et al.*, 2010).

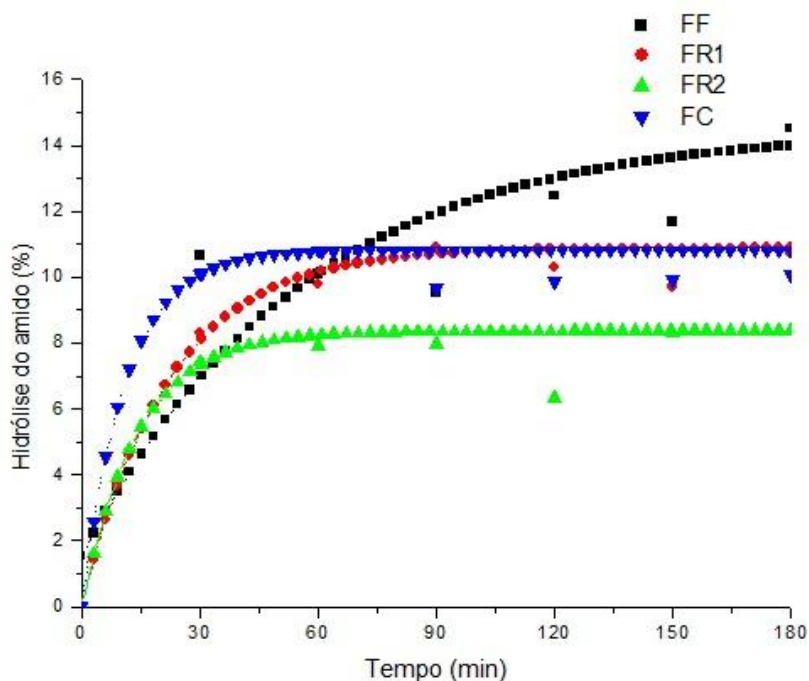


Figura 2.23. Hidrólise do amido (%) x tempo (min) dos pães das formulações FF, FR1, FR2 e FC

FF: 2,5% goma acácia; FR1: 6% fibra de aveia e 2,5% goma acácia; FR2: 2% fibra de trigo, 4% fibra de aveia e 2,5% de goma acácia e; FC: controle sem adição de fibras.

Tabela 2.27. Índice de hidrólise e índice glicêmico dos pães das formulações FF, FR1, FR2 e FC

Formulações	IH (%)	IG (%)
FF	109,7 ± 7,8 ^a	99,9 ± 4,6 ^a
FR1	97,7 ± 6,6 ^a	93,4 ± 6,1 ^a
FR2	75,2 ± 8,3 ^b	81,0 ± 7,1 ^b
FC	100,0 ± 9,1 ^a	94,6 ± 5,0 ^a

FF: 2,5% goma acácia; FR1: 6% fibra de aveia e 2,5% goma acácia; FR2: 2% fibra de trigo, 4% fibra de aveia e 2,5% de goma acácia e; FC: controle sem adição de fibras; n= 3, médias na mesma coluna seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05). IG: índice glicêmico; IH: índice de hidrólise; IH (%) = (área sob a curva da formulação/área média sob a curva de FC) x100; IG (%) = 39,71 + 0,549 x IH (%).

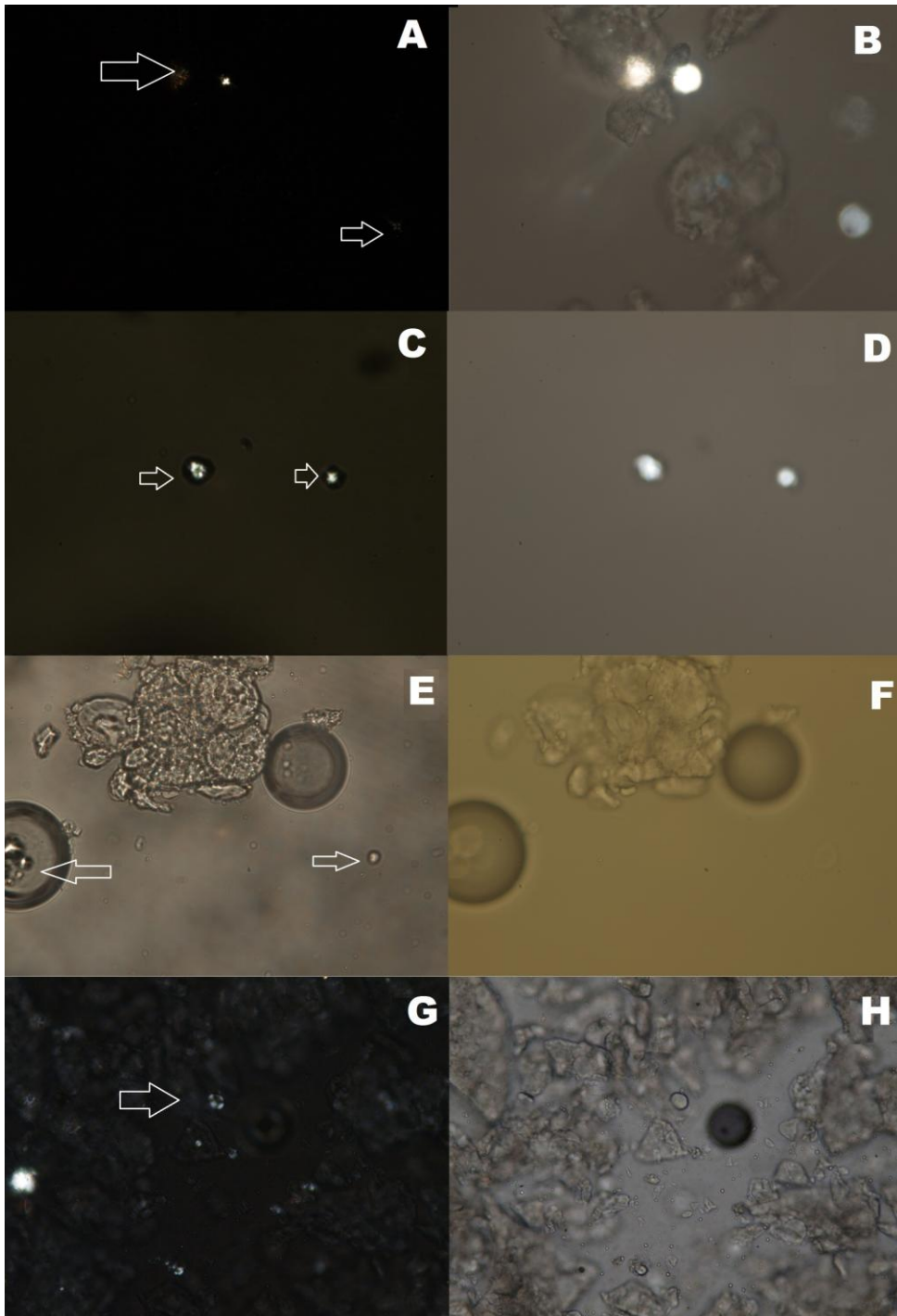


Figura 2.24. Imagens microscópicas da formulação controle e da farinha de trigo
 A e B: FF; C e D: FR1; E e F: FR2; G e H: FC; A,C, E e G: com luz polarizada; B, D, F e H: sem luz polarizada; Aumento de 40x. FF: 2,5% goma acácia; FR1: 6% fibra de aveia e 2,5% goma acácia; FR2: 2% fibra de trigo, 4% fibra de aveia e 2,5% de goma acácia e; FC: controle sem adição de fibras.

Leoro *et al.* (2010) também obtiveram curvas de hidrólise do amido x tempo (análise de IG *in vitro*) similares a obtidas neste estudo trabalhando com cereal extrusado de farinha de milho enriquecido com fibra de maracujá, porém o controle sem fibras utilizado nos cálculos foi um pão branco de referência da literatura (GOÑI *et al.*, 1997), que apresentou ~ 80% de hidrólise do amido no final da digestão, quando foram calculados IH e IG, estes foram menores que os obtidos neste estudo.

Menezes *et al.* (2009) encontraram 97% de IG em pão de forma de trigo refinado e 60% de IG em pão de forma de grãos integrais de baixa caloria, usando com padrão um pão tipo Francês (com 16 adultos sadios). A redução no índice glicêmico foi devido a diferença de total de carboidratos disponíveis: 41,9 % e 27,9% para pão de forma de trigo refinado e pão integral de baixa caloria, respectivamente.

Nilsson *et al.* (2006) estudaram o índice glicêmico *in vivo* (com 12 adultos sadios) das refeições a base de cereais e encontraram 100% de IG em pão de trigo refinado (4,3% de fibra total b.s.), 93% de IG em pão de trigo com fibra de cevada (12,9% de fibra total b.s.) e 49% de IG em grãos de cevada (9,1% de fibra total b.s.). Observaram que refeições enriquecidas com grãos de cevada e de centeio melhoram a resposta glicêmica não somente após a refeição, mas melhoraram a tolerância à glicose do organismo ao longo do dia.

Kristensen *et al.* (2010) encontraram 100% de IG (estudo *in vivo* com 20 adultos sadios) para pão de trigo refinado (3,6 g de fibras/50 g de carboidratos) e 105% de IG para pão de grãos integrais (11,7 g de fibras/50 g de carboidratos) Apesar da não redução de IG no pão com fibras em relação ao pão sem adição de fibras, houve aumento da sensação de saciedade e redução da sensação de fome entre os voluntários da pesquisa.

Embora a formulação FR2 tenha apresentado um valor de índice glicêmico menor que o controle o valor foi maior que 70% e, pela classificação apresentada por Brand-Miller *et al.* (2003) valores de IG > 70% são considerados de alto índice glicêmico. Já pela classificação de Menezes & Lajolo (2006) os produtos de alto índice glicêmico são os de IG \geq 95% e os de baixo índice glicêmico os de IG \leq

75%. Segundo esta classificação, FR2 é considerado de índice glicêmico intermediário.

A combinação contida em FR2 de fibra de trigo, fibra de aveia e a goma acácia apresentou efeito na redução do IG. Segundo Jenkins *et al.* (2000) as fibras solúveis contribuem mais com a redução do índice glicêmico que as fibras insolúveis. Isto ocorre devido ao aumento da viscosidade dos produtos que promove uma liberação mais lenta dos carboidratos. Porém Nilsson *et al.* (2006), verificaram que as fibras solúveis apresentam maior liberação de glicose na fase pós-prandial (60 a 120 minutos no estudo *in vivo*) e este fato é considerado bom para a fase hipoglicêmica do organismo. Este efeito da liberação maior da glicose na fase final do estudo foi observada em FF (2,5 % de goma acácia - fibra solúvel). FR1 (goma acácia e fibra de aveia) como FF, não apresentou redução significativa do controle, apesar de ter conteúdo de fibras totais considerado alto.

2.3.7. Composição centesimal e fibra alimentar

Os dados relativos às fibras solúvel, insolúvel e total (**Tabela 2.28**) confirmam que a formulação controle tem baixo teor de fibras não sendo classificada como fonte e nem de alto teor de fibras. A formulação FF (2,5% de goma acácia), apresentou 4,43 g de fibra alimentar/100 g de produto acabado sendo, portanto, considerada “fonte de fibras”. FR1 e FR2, tendo valores maiores que 6 g/100 g são consideradas de “alto teor de fibras”. FF apresentou, em relação às fibras totais, 76% de fibras solúveis, FR1 e FR2 apresentaram 34% e 36% respectivamente.

A composição centesimal dos pães FF, FR1, FR2 e FC está apresentada na **Tabela 2.29**. Observa-se que o teor de proteínas das formulações com fibras (FF, FR1, FR2) foi menor que o controle sem fibras (FC), confirmando a diluição das proteínas do glúten. O teor de lipídios não apresentou diferença. Cinzas e carboidratos variaram muito pouco.

Tabela 2.28. Fibra alimentar solúvel, insolúvel e total dos pães das formulações FF, FR1, FR2 e FC

Formulações	Fibra solúvel (%)	Fibra Insolúvel (%)	Fibra Total (%)
	b.u.	b.u.	b.u.
FF	3,25 ± 0,08 ^a	1,18 ± 0,02 ^c	4,43 ± 0,09 ^c
FR1	2,05 ± 0,03 ^c	4,04 ± 0,06 ^b	6,09 ± 0,01 ^b
FR2	2,39 ± 0,07 ^b	4,31 ± 0,04 ^a	6,70 ± 0,09 ^a
FC	0,84 ± 0,09 ^d	0,88 ± 0,03 ^d	1,72 ± 0,06 ^d

FF: 2,5% goma acácia; FR1: 6% fibra de aveia e 2,5% goma acácia; FR2: 2% fibra de trigo, 4% fibra de aveia e 2,5% de goma acácia e; FC: controle sem adição de fibras. Média ± desvio padrão (n=3). Médias na mesma coluna seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Tabela 2.29. Composição centesimal dos pães das formulações FF, FR1, FR2 e FC

Formulações	Umidade (%)	Proteínas (%)	Lipídios (%)	Cinzas (%)	Carboidratos ¹
	b.u.	b.s.	b.s.	b.s.	(%) b.s.
FF	33,55 ± 0,04 ^d	11,10 ± 0,06 ^b	4,37 ± 0,24 ^a	2,61 ± 0,02 ^{ab}	81,92
FR1	36,98 ± 0,06 ^a	11,09 ± 0,09 ^b	4,35 ± 0,15 ^a	2,63 ± 0,03 ^a	81,93
FR2	36,48 ± 0,03 ^b	10,99 ± 0,08 ^b	4,20 ± 0,03 ^a	2,62 ± 0,01 ^a	82,20
FC	35,97 ± 0,02 ^c	11,62 ± 0,20 ^a	4,20 ± 0,69 ^a	2,56 ± 0,02 ^b	81,62

FF: 2,5% goma acácia; FR1: 6% fibra de aveia e 2,5% goma acácia; FR2: 2% fibra de trigo, 4% fibra de aveia e 2,5% de goma acácia e; FC: controle sem adição de fibras. Média ± desvio padrão (n=3). Médias na mesma coluna seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

¹Carboidratos se referem a 100 - (%proteínas +%lipídios+%cinzas). b.u.: Base úmida

2.3.8. Análise sensorial – teste de aceitação

Dos 121 consumidores, 37,2% foram do sexo masculino e 62,8% do sexo feminino, 82,6% tinham entre 18 e 30 anos e 17,4% de 31 a 50 anos (**Figura 2.25**).

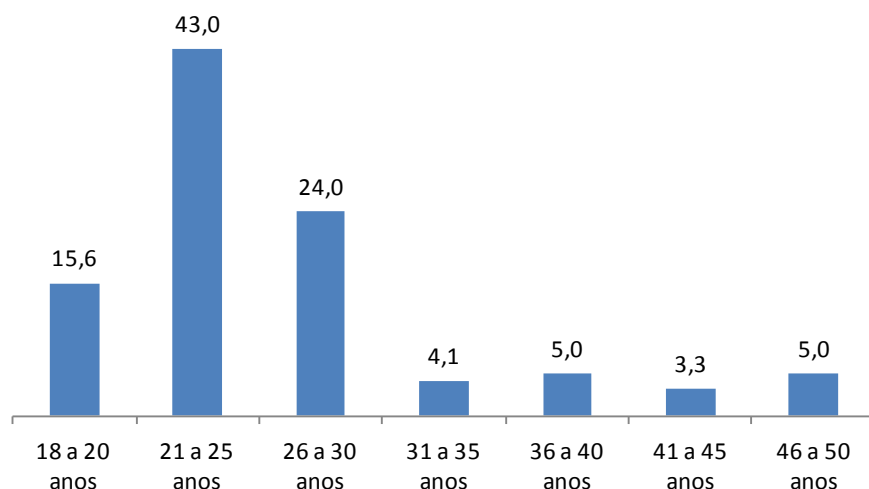


Figura 2.25. Distribuição por faixa etária dos consumidores de pão de forma (%)

A **Tabela 2.30** mostra as médias das notas atribuídas a cada amostra em relação aos atributos avaliados. Não houve diferença ($p < 0,05$) na aceitação do pão sem fibras (FC) e os pães com fibras (FF, FR1, FR2, F13 e F15) para os atributos aparência, aroma, sabor e impressão global. Apenas para textura, FC (sem fibras) e F15 (5% de fibra de trigo, 5% de fibra de aveia e 2,5% de goma acácia) apresentaram valores menores que os outros pães.

Esperava-se, neste trabalho, avaliar se a diferença total de cor (ΔE) seria perceptível sensorialmente, pois não se tem uma escala de valores de ΔE para pão de forma para baixo, médio ou alto em relação à percepção sensorial. Encontramos que o ΔE (1,5 a 3,5) das 5 amostras no dia 4 após o processamento (a análise sensorial também foi realizada no dia 4 após a fabricação dos pães) em relação a FC não foi percebida pelos provadores, pois os valores de aparência e impressão global não foram diferentes entre as amostras avaliadas ($p < 0,05$).

As amostras FF, FR1 e FR2 apresentaram maior aceitação de textura sensorial que FC ($p < 0,05$) enquanto que a textura experimental (firmeza) não apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) no dia 4 após o processamento entre FC, FF, FR1 e FR2. As amostras F13 e F15 apresentaram firmeza de 483 gf e 385 gf, respectivamente enquanto que FC, FF, FR1 e FR2 apresentaram valores de firmeza de 613 a 654 gf. Apesar destes valores, FC (com firmeza maior) e F15 (com firmeza menor) apresentaram menor aceitação da textura sensorial em relação às outras amostras (**Figura 2.26**).

Tabela 2.30. Médias do teste de aceitação dos pães das formulações FF, FR1, FR2, F13, F15 e FC

Amostras	Aparência	Aroma	Sabor	Textura	Impressão Global
FF	6,6 ^a	6,6 ^a	6,6 ^{a,b,c}	6,5 ^a	6,6 ^a
FR1	6,5 ^a	6,6 ^a	6,6 ^{a,b,c}	6,5 ^a	6,5 ^a
FR2	6,3 ^a	6,6 ^a	6,4 ^{a,b,c}	6,5 ^a	6,5 ^a
F13	6,6 ^a	6,6 ^a	6,1 ^{b,c}	6,6 ^a	6,4 ^a
F15	6,6 ^a	6,6 ^a	6,1 ^{b,c}	6,0 ^b	6,3 ^a
FC	6,5 ^a	6,6 ^a	6,6 ^{a,b,c}	5,9 ^b	6,5 ^a

Médias do teste de aceitação ($n=121$) para amostras de pão de forma usando escala não estruturada de 9 cm. Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). FF: 2,5% goma acácia; FR1: 6% fibra de aveia e 2,5% goma acácia; FR2: 2% fibra de trigo, 4% fibra de aveia e 2,5% de goma acácia; F13: 5% fibra de trigo e 5% fibra de aveia; F15: 5% fibra de trigo, 5% fibra de aveia e 2,5% goma acácia e; FC: controle sem adição de fibras.

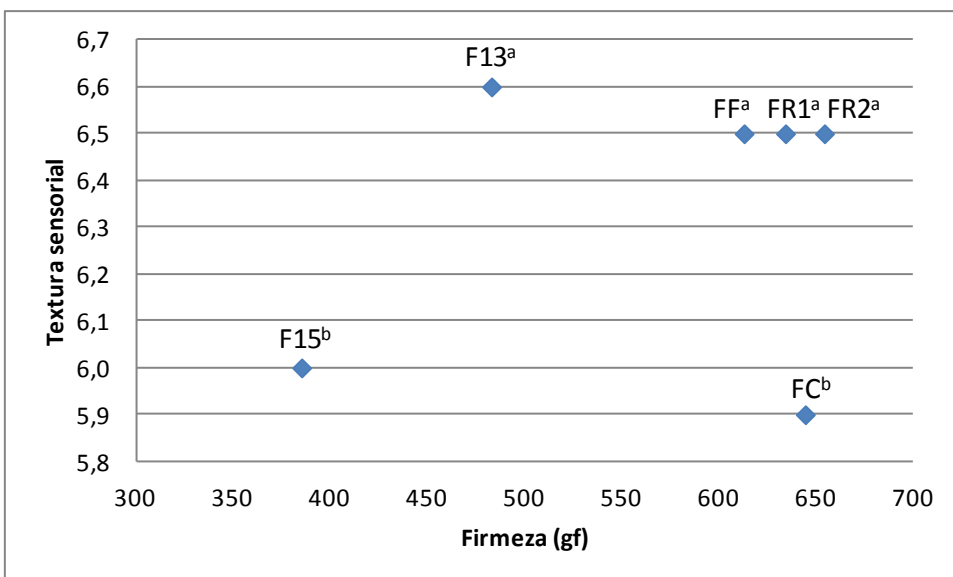


Figura 2.26. Firmeza (gf) x textura sensorial dos pães das formulações FF, FR1, FR2, F13, F15 e FC

FF: 2,5% goma acácia; FR1: 6% fibra de aveia e 2,5% goma acácia; FR2: 2% fibra de trigo, 4% fibra de aveia e 2,5% de goma acácia; F13: 5% fibra de trigo e 5% fibra de aveia; F15: 5% fibra de trigo, 5% fibra de aveia e 2,5% goma acácia e; FC: controle sem adição de fibras. Formulações identificadas com letras iguais não diferem entre si em relação a textura sensorial.

Com os valores de impressão global foi possível obter o Mapa de Preferência Interno dos consumidores em relação às amostras de pão de forma avaliadas através da Análise de Componentes Principais (ACP). Os dois componentes principais explicam 51,43% da variação entre as amostras em relação à impressão global (**Figura 2.27**), valor considerado adequado para este tipo de análise. Pela ACP observa-se que os pães com fibras foram bem aceitos como o pão controle. Embora todas as formulações tenham um grau de aceitação, observa-se que FF (só com goma acácia) foi menos aceito que os outros.

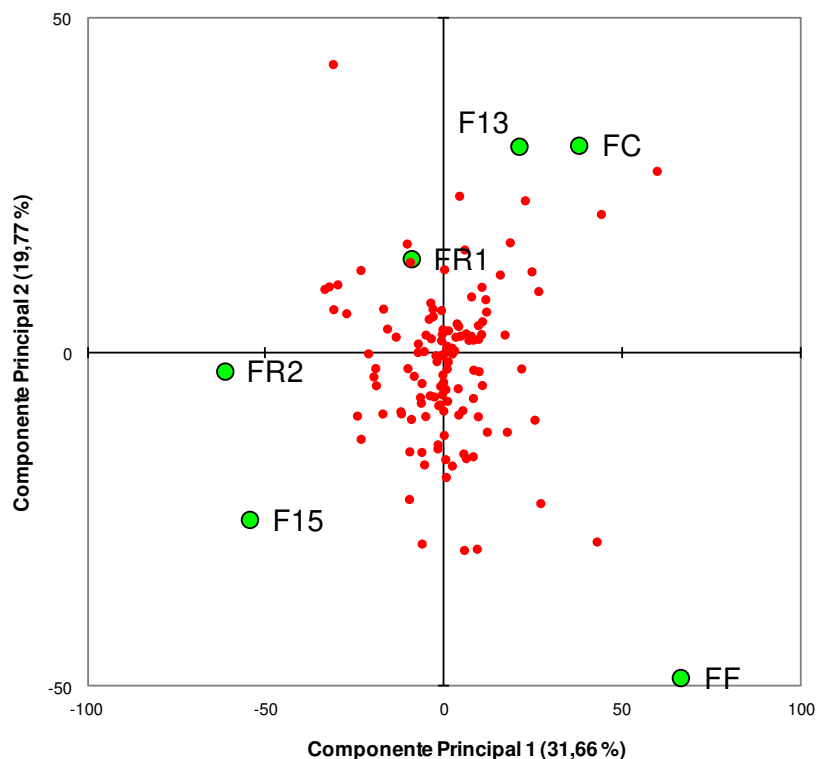


Figura 2.27. Mapa de Preferência Interno para as amostras de pão de forma em relação à impressão global

Pontos verdes se refere a amostras (FC, FF, FR1, FR2, F13 E F15), pontos vermelhos se referem aos 121 provadores. FF: 2,5% goma acácia; FR1: 6% fibra de aveia e 2,5% goma acácia ; FR2: 2% fibra de trigo, 4% fibra de aveia e 2,5% de goma acácia; F13:5% fibra de trigo e 5% fibra de aveia; F15: 5% fibra de trigo, 5% fibra de aveia e 2,5% goma acácia e; FC: controle sem adição de fibras.

Sobre a intenção de compra das amostras de pão de forma (**Figura 2.28**), 74,4% dos consumidores dizem que provavelmente ou certamente comprariam FF, 69,4% para FR2 e 68,62% para FR1. Os pães com valores menores de atitudes positivas foram F13 e F15 (os dois com 58,7%). FC apresentou 63,6% de atitudes positivas. Este resultado contraria o Mapa de Preferência Interno que mostra que FF foi a amostra menos preferida pelos consumidores, porém todas as amostras apresentaram intenções positivas de compra maiores que 58%.

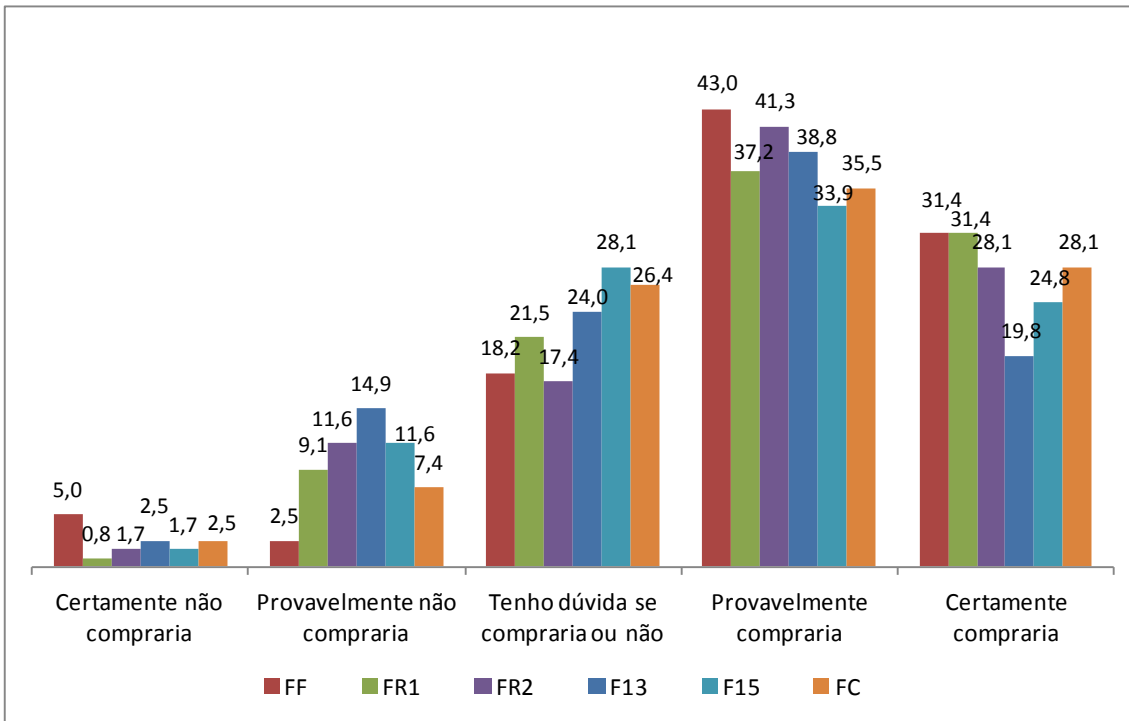


Figura 2.28. Intenção de compra (%) das amostras de pão de forma de “certamente não compraria” a “certamente compraria”

FF: 2,5% goma acácia; FR1: 6% fibra de aveia e 2,5% goma acácia ; FR2: 2% fibra de trigo, 4% fibra de aveia e 2,5% de goma acácia; F13: 5% fibra de trigo e 5% fibra de aveia; F15: 5% fibra de trigo, 5% fibra de aveia e 2,5% goma acácia e; FC: controle sem adição de fibras.

2.3.9. Comparação da formulação FR2 com os pães de mercado

Comparando-se as análises de FR2 com os valores médios dos pães comerciais brancos e integrais (**Tabela 2.31**) do **Capítulo 1**, observa-se que FR2 apresentou volume específico menor que os pães comerciais, devido a não utilização de aditivos como agentes oxidantes, emulsificantes e/ou outros ingredientes para melhorar o volume específico. A umidade de FR2 no primeiro dia foi maior que a dos pães brancos e menor que a dos pães integrais, e no décimo dia apresentou valor mais próximo que a umidade dos pães brancos. A atividade de água de FR2 foi mais próxima dos pães brancos. A firmeza do primeiro dia também foi similar à dos pães brancos, porém com o passar do tempo FR2 apresentou maior firmeza, também por causa da ausência de aditivos, coadjuvantes e ingredientes utilizados comercialmente para retardar a retrogradação do amido. Os valores de L^* , a^* e b^* de FR2 foram similares aos pães brancos. Também foi calculada a diferença total de cor (ΔE) usando-se como controle os pães brancos comerciais. ΔE dos pães integrais comerciais em relação aos pães brancos comerciais foi muito maior (11,39), como era de se esperar, do que FR2 (2,90), indicando que a formulação com fibras brancas apresentou pouca diferença total de cor em relação aos pães brancos comerciais.

Em relação aos dados sensoriais, apesar dos provadores que avaliaram os pães comerciais e os produzidos com fibras brancas, terem sido diferentes, apenas para a aceitação do atributo “aparência” FR2 obteve nota muito menor que os pães brancos, para os outros atributos as notas foram muito similares. A nota menor neste atributo pode ser explicada pela “aparência de seco” nos pães produzidos neste experimento, relatada por alguns consumidores. A intenção de compra positiva (soma de “certamente compraria” e “provavelmente compraria”) para FR2 (69,4%) foi muito próxima à média dos pães brancos (70,5%). Após análise dos dados sensoriais, conclui-se que foi possível produzir um pão branco com fibras, FR2 (2% fibra de trigo, 4% fibra de aveia e 2,5% goma acácia), com dados de aceitação sensorial e de intenção de compra superiores aos pães integrais comerciais.

Tabela 2.31. Resultados médios das análises de FR2 e dos pães comerciais

Análises	Pães brancos comerciais	Pães integrais comerciais	FR2 ⁴
Volume específico (mL/g)	4,73	4,70	4,47
Umidade – Dia 1 (%)	37,00	41,23	38,76
Umidade – Dia 10 (%)	34,14	37,22	34,36
a _w – Dia 1	0,954	0,965	0,952
a _w – Dia 10	0,943	0,956	0,945
Firmeza – Dia 1 (gf)	267,83	512,15	287,90
Firmeza – Dia 10 (gf)	276,27	496,87	910,92
L*	74,73	64,45	77,37
a*	0,37	3,85	0,56
b*	15,51	18,98	16,71
ΔE ¹		11,39	2,90
<i>Teste de aceitação²</i>			
Aparência	7,1	6,8	6,3
Aroma	6,4	5,8	6,6
Sabor	6,5	5,6	6,4
Textura	6,9	6,0	6,5
Impressão global	6,7	5,9	6,5
Intenção de compra positiva ³ (%)	70,5	49,0	69,4

¹ΔE foi calculado usando-se como controle os valores médios dos pães brancos comerciais;² O grupo de provadores dos pães comerciais (brancos e integrais) foi diferente de FR2 e;³ refere-se a soma de “certamente compraria” e “provavelmente compraria”; ⁴FR2: 2% fibra de trigo, 4% fibra de aveia e 2,5% de goma acácia

2.4. Conclusões

A adição de fibras de trigo e aveia aumentou a absorção de água, o tempo de chegada e o tempo de saída das massas nas análises farinográficas nas faixas de concentração estudadas. A goma acácia reduziu estes parâmetros. As três fibras alteraram a estabilidade e o ITM, porém não foi possível obter um modelo preditivo para estes fatores. Nos três tempos da análise extensográfica (45, 90 e 135 min) a adição das três fibras aumentou a resistência (R) e a resistência máxima (Rm) e alterou a extensibilidade. Porém só foi possível obter modelos preditivos para: D - 45 min (fibras de trigo e aveia tiveram efeito positivo neste valor; goma acácia não influenciou); E - 45 min, E - 90 min e E - 135 min (nos três casos, as fibras de trigo e aveia diminuíram a extensibilidade e a goma acácia aumentou este parâmetro).

No processamento dos pães de forma, as fibras alteraram o tempo de mistura rápida. A perda de umidade no forno foi de 9,1 a 12,3%.

Foi possível obter modelos preditivos para volume específico, umidade (dias 1,4 e 7), a_w (dias 1,4,7 e 10), firmeza instrumental (dia 1), valor L^* (dia 10), valor a^* (dias 7 e 10), valor b^* (dias 4 e 7) e ΔE (dia 4).

O volume específico foi reduzido com a adição das três fibras, devido ao enfraquecimento das proteínas da rede de glúten, diminuindo a capacidade de retenção dos gases pela massa. As fibras de trigo e aveia aumentaram umidade, a_w e firmeza do miolo, enquanto que a goma acácia reduziu umidade, a_w e não influenciou na firmeza do miolo ($p < 0,10$).

Os parâmetros de cor variaram muito pouco, resultando em ΔE máximo de 6,62. As três fibras diminuíram L^* e aumentaram os parâmetros a^* e b^* .

Com o envelhecimento dos pães houve aumento de firmeza e diminuição de umidade e atividade de água para todas as formulações em estudo e para o controle sem adição de fibras (FC).

A validação mostrou que nas análises reológicas, apenas a absorção de água apresentou erros menores que 10% entre os valores preditos e os experimentais. Nas análises dos pães, a umidade, a a_w , o valor L^* e o valor b^*

tiveram valores preditos com alta correlação entre os valores experimentais (erros < 10%)

Das formulações com fibras escolhidas para a validação, FF (2,5% de goma acácia) apresentou teor de fibras de 4,43 g/100 g de pão, reduziu pouco o índice glicêmico e foi a menos preferida pelos consumidores pela ACP apesar de ter apresentado maior volume específico. Pães contendo 6% de fibra de aveia e 2,5% de goma acácia (FR1) com alto teor de fibras (6,09 g/100 g) reduziram pouco o IH e o IG e foram bem aceitos pelos consumidores. Pães contendo 2% de fibra de trigo, 4% de fibra de aveia e 2,5% de goma acácia (FR2), também com alto teor de fibras (6,70 g/100 g), contendo as três fibras, apresentaram a maior redução no IH, no IG e na firmeza nos dias 7 e 10. A análise de índice glicêmico *in vivo* poderia ajudar numa avaliação mais precisa do IG.

No teste de aceitação sensorial não houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre os pães com fibras brancas e o pão sem fibras.

Com relação aos custos das formulações, ocorreu aumento em relação ao controle sem fibras de 15,77%, 24,17% e 25,23% para FF, FR1 e FR2 respectivamente, devido às três fibras serem importadas para o Brasil. Apesar do aumento de custo das matérias-primas, o preço dos pães integrais praticados no mercado brasileiro são maiores que os pães brancos. Assim é possível aumentar o preço do produto, agregando valor nutricional aos pães brancos com a adição de fibras brancas, sem elevar tanto os custos como os pães integrais.

Quando os resultados obtidos para FR2 foram comparados com a média das análises físico-químicas e sensoriais dos pães comerciais avaliados, este apresentou-se muito similar aos pães brancos e superior sensorialmente aos pães integrais.

Concluindo, a formulação FR2, constituída de 2% de fibra de trigo, 4% de fibra de aveia e 2,5% de goma acácia, apresentou as melhores condições tecnológicas, nutricionais e sensoriais para ser uma alternativa de enriquecimento de fibras brancas ao pão de forma.

2.5. Referências bibliográficas

AACC, American Association of Cereal Chemists. **Approved methods**, 11th ed., St. Paul, AACC, 2010.

AACC, American Association of Cereal Chemists. The definition of dietary fiber. **Cereal Foods World**, v. 46, n. 3, p. 112-125, 2001.

ADA, Position of the American Dietetic Association: Health implications of dietary fiber. **Journal of the American Dietetic Association**, v.108, n.10, October, 2008.

ADDINSOFT, XLSTAT 2007.8.03 for Excel, **Addinsoft SARL**, 2007.

ALAUNYTE, I.; STOJCESKA, V.; PLUNKETT, A.; AINSWORT, P.; DERBYSHIRE, E. Improving the quality of nutrient-rich Teff (*Eragrostis tef*) breads by combination of enzymes in straight dough and sourdough breadmaking. **Journal of Cereal Science**, v. 55, p. 22-30, 2012.

ALMEIDA, E.L. **Efeito da adição de fibra alimentar sobre a qualidade de pão pré-assado congelado**. 2006. 370p. Tese (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade de Campinas, Campinas, 2006.

AOAC, Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis of Association of Official Analytical Chemists**. 16 ed., 3. rev. Gaithersburg: AOAC International, 1997.

ASGHAR, A.; ANJUM, F.M.; BUTT, M.S.; TARIQ, M.W.; HUSSAIN, S. Rheological and storage effect of hydrophilic gums on the quality of frozen dough pizza. **Food Sci. Technol. Res.**, v. 13, n. 2, p. 96-102, 2007.

ATALAY, M.H.; BILGIÇLI, N.; ELGÜN, A.; DEMIR, M.K. Effects of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* moench) milling products transglutaminase and sodium stearoyl-2-lactylate on bread properties. **Journal of Food Processing and Preservation**. Article in Press, 2012.

- AUNE, D.; CHAN, D.S.M.; LAU, R.; VIEIRA, R.; GREENWOOD, D.C.; KAMPMAN, E.; NORAT, T. Dietary fibre, whole grains, and risk of colorectal cancer: systematic review and dose-response meta-analysis of prospective studies. **British Medical Journal**, v. 343, 20p. Publish 10 November, 2011 doi: 10.1136/bmj.d6617.
- BOBBIO, P.A.; BOBBIO, F.O. **Química do Processamento de Alimentos**. 2ª Edição, São Paulo: Varela, 151p., 1995.
- BRAND-MILLER, J.; FOSTER-POWELL, K.; WOLEVER, T.M.S.; CALAGIURI, S. **The new glucose revolution: The authoritative guide to the glycemic index**. New York: Marlowe & Company, 2003.
- BRASIL, Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria SVS/MS nº 27, de 13 de janeiro de 1998. **Regulamento Técnico referente à Informação Nutricional Complementar**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 de janeiro de 1998. Disponível em: < <http://www.anvisa.gov.br> >. Acesso em: 05 de setembro de 2009.
- BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 8, de 02 de junho de 2005. **Regulamento técnico de identidade e qualidade de farinha de trigo**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 03 de junho de 2005. Disponível em:< <http://www.agricultura.gov.br> >. Acesso em: 10 de janeiro de 2012.
- CAUVAIN, .P. Improving the control of staling in frozen bakery products. **Trend in Food Science & Technology**, v. 9, p. 56-61, 1998.
- CAUVAIN, S.P.; YOUNG, L.S. (Ed.) **Technology of Breadmaking**. Aspen Publishers (Gaitersburg, Maryland), 354p., 1999.
- CNI, **Colloids Naturels International**. "Acacia gum". Disponível em:< <http://www.cniworld.com/index.php/en/about-cni/gum-acacia> >. Acesso em: 15 de novembro de 2010.

- CONTO, L.C.; OLIVEIRA, R.S.P.; MARTIN, L.G.P.; CHANG, Y.K.; STEEL, C.J. Effects of the addition of microencapsulated omega-3 and rosemary extract on the technology and sensory quality of white pan bread. **LWT- Food Science and Technology**, v. 45, n. 1, p. 103-109, 2012.
- CORNELL, H. The chemistry and biochemistry of wheat. In: CAUVAIN, S.P. (Ed.) **Bread making: improving quality**. England: Woodhead Publishing Limited, cap. 3, 2003.
- COSTA, M.G.; SOUZA, E.L.; STAMFORD, T.L.M.; ANDRADE, S.A.C. Qualidade tecnológica de grãos e farinhas de trigo nacionais e importados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 1, p. 220-225, 2008.
- DE MATTOS, L.L.; MARTINS, I.S. Consumo de fibras alimentares em população adulta. **Revista de Saúde Pública**, v. 34, n. 1, p. 50-55, 2000.
- DE MELLO, V.D.; LAAKSONEN, D.E. Fibras na dieta: tendências atuais e benefícios à saúde na síndrome metabólica e no diabetes melito tipo 2. **Arq. Bras. Endocrinol. Metab.**, v. 53, n. 5, p. 509-518, 2009.
- FELLOWS, P.J. **Tecnologia do Processamento de Alimentos: Princípios e Práticas**. 2ª. Edição, Porto Alegre: Artmed, 602p., 2006.
- GÓMEZ, M.; RONDA, F.; BLANCO, C.A.; CABALLERO, P.A.; APESTEGUÍA, A. Effect of dietary fibre on dough rheology and Bread quality. **European Food Research Technology**, v. 216, p. 51-56, 2003.
- GOÑI, I.; GARCIA-ALONSO, A.; SAURA-CALIXTO, F. A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. **Nutrition Research**, v. 17, n. 3, p.427-437, 1997.
- GOESAERT, H.; SLADE, L.; LEVINE, H.; DELCOUR, J.A. Amylases and bread firming – an integrated view. **Journal of Cereal Science**, v. 50, p. 345-352, 2009.
- HUNG, P.V.; MAEDA, T.; MORITA, N. Dough and bread qualities of flours with whole waxy wheat flour substitution. **Food Research International**, v. 40, p. 273-279, 2007.

- HUNTERLAB (Hunter Associates Laboratory, Inc), Insight on color: CIE L*a* b* Color Scale. **Applications - note**, v.8, n.7, p. 1-4, 2008. Disponível em:< <http://www.hunterlab.com> >Acesso em 10 de maio de 2010.
- HOSSEINPOUR-NIAZI, S.; MIRMIRAN, P.; SOHRAB, G. HOSSEINI-ESFAHANI, F.; AZIZI, F. Inverse association between fruit, legume, and cereal fiber and the risk of metabolic syndrome: Tehran lipid and glucose study. **Diabetes Research and Clinical Practice**, v. 99, n. 2, p. 276-283, November, 2011.
- JENKINS, D.J.A.; AXELSEN, M.; KENDALL, C.W.C.; AUGUSTIN, L.S.A.; VUKSAN, V.; SMITH, U. Dietary fibre, lente carbohydrate and the insulin resistance disease. **British Journal of Nutrition**, v. 83, p. S157-S163, 2000.
- JRS, **J.RETTENMAIER & SÖHNE**. "Wheat fiber". Disponível em: < <http://www.jrs.de/wEnglisch/anwend/food/weizen.shtml> >. Acesso em: 15 de novembro de 2010.
- KIP, P.; MEYER, D.; JELLEMA R. Inulina improve sensoric and textural properties of low fat yogurts. **Int. Dairy J**, v. 16, p. 1098-1103, 2005.
- KOKUBO, Y.; ISO, H.; SAITO, I.; YAMAGISHI, K.; ISHIHARA, J.; INOUE, M.; TSUGANEAND, S. Dietary fiber intake and risk of cardiovascular disease in the Japanese population: the Japan Public Health Center-based study cohort. **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 65, p. 1233-1241, November, 2011.
- KRISTENSEN, M.; JENSEN, M.G.; RIBOLDI, G.; PETRONIO, M.; BÜGEL, S.; TOUBRO, S.; TENTENS, I.; ASTRUP, A. Wholegrain VS. refined wheat bread and pasta. Effect on postprandial glycemia appetit, and subsequent ad libitum energy intake in young healthy adults. **Appetite**, v. 54, p. 163-169, 2010.
- KUSHI, L.H.; DOYLE, C.; McCULLOUGH, M.; ROCK, C.L.; DEMARK-WAHNEFRIED, W.; BANDERA, E. V.; GAPSTUR, S.; PATEL, A.V.; ANDREWS, K.; GANSLER, T. American Cancer Society Guidelines on nutrition and physical activity for cancer prevention. **CA Cancer J Clin**, n. 62, p. 30-67, 2012.

- LEORO, M.G.V.; CLERICI, M.T.P.S.; CHANG, Y.K.; STEEL, C.J. Evaluation of the in vitro glycemic index of a fiber-rich extruded breakfast cereal produced with organic passion fruit fiber and corn flour. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 4, p. 964-968, out.-dez., 2010.
- LOOSVELD, A.-M.A.; DELCOUR J.A. The significance of Arabinogalactan-peptide for wheat flour bread-making. **Journal of Cereal Science**, v. 32, p. 147-157, 2000.
- MENEZES, E.W.; LAJOLO, F.M. Marcadores in vivo e in vitro de carbídratos. In: LAJOLO, F.M. MENEZES, E.W.(Eds.). **Carbóhidratos en alimentos regionales iberoamericanos**. Proyecto CYTED/CNPq XI.18. Composición, estructura propiedades biológicas de carbóhidratos y su utilización en alimentos, EDUSP, São Paulo, p. 309-334, 2006.
- MENEZES, E.W.; GIUNTINI,E.B.; DAN, M.C.T.; LAJOLO,F.M. New information on carbohydrates in the Brazilian Food Composition Database. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 22, n. 5, p. 446-452, 2009.
- MICROCAL ORIGIN, ORIGIN for Windows – Version 6.0, Microcal Software, Inc. Tulsa, Northampton, USA, 1999.
- MUNHOZ, M.P. **Influência dos hidrocolóides na qualidade tecnológica de pães**. 2003. 116p. Tese (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade de Campinas, Campinas, 2003.
- NILSSON, A.; GRANFELDT, Y.; ÖSTMAN, E.; PRESTON, T.; BJÖRCK, I. Effects of GI and content of indigestible carbohydrates of cereal-based evening meals on glucose tolerance at a subsequent standardized breakfast. **Eur J Clin Nutr**, v. 60, p. 1092-1099, 2006.
- NILUFER, D.; BOYACIOGLU, D.; VODOVOTZ, Y. Functionality of soymilk power and its components in fresh soy bread. **Journal of Food Science**, v. 73, n. 4, p. 275-281, 2008.

- PARK, K.J.; BIN, A.; BROD, F.P.R. Obtenção das isotermas de sorção e modelagem matemática para a pêra bartlett (*Pyrus sp.*) com e sem desidratação osmótica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 1, p. 73-77, 2001.
- PERESSINI, D.; SENSIDONI, A. Effect of soluble dietary fiber addition on rheological and breadmaking properties of wheat doughs. **Journal of Cereal Science**, v. 49, p. 190-201, 2009.
- PHILLIPS, G.O.; OGASAWARA, T.; USHIDA, K. The regulatory and scientific approach to defining gum arabic (*Acacia senegal* and *Acacia seyal*) as a dietary fibre. **Food Hydrocolloids**, v. 22, p. 24-35, 2008.
- PIZZINATO, A.; MAGNO, C.P.R.S. Avaliação e controle de qualidade da farinha de trigo. Campinas: **Instituto de Tecnologia de Alimentos – ITAL**, 1995.
- POMERANZ, M.D.; SHOGREN, K.; FINNEY, K.F.; BECHTEL, D.B. Fiber in breadmaking – Effects on functional properties. **Cereal Chemistry**, v. 54, n. 1, p. 25-41, 1977.
- POST, R.E.; MAINOUS III, A.CG.; KING, D.E.; SIMPSON, K.N. Dietary fiber for the treatment of type 2 diabetes mellitus: a meta-analysis. **JABFM**, v. 25, n. 1, January-February, p. 16-23, 2012.
- PURHAGEN, J.K.; SJÖÖ, M.E.; ELIASSON, A.-C. Fibre-rich additives – the effect on staling and their function in free-standing and pan-baked bread. **J.Sci. Food Agric.**, Published on line in Wiley /online /library DOI 10.1002/jsfa.4684, 2011.
- RODRIGUES, M.I.; IEMMA, A.F. **Planejamento de Experimentos & Otimização de Processos**, 2ª. Edição, Campinas-SP: Casa do Espírito Amigo Fraternidade Fé e Amor, 358p., 2009.
- SANCHEZ, C.; RENARD, D.; ROBERT, P.; SCHMITT, C.; LEFEBVRE, J. Structure and rheological properties of acacia gum dispersions. **Food Hydrocolloids**, v. 16, p. 257-267, 2002.
- SAS, Base SAS® 9.2 Procedures Guide, Second Edition. Cary, NC, USA: **SAS Institute Inc**, 2009.

- SHARADANANT, R.; KHAN, K. Effect of hydrophilic gums on the quality of frozen dough: I. Dough Quality. **Cereal Chemistry**, v. 80, n. 6, p. 764-772, 2003.
- SIDHU, J.P.S.; BAWA, A.S. Effects of Gum Acacia incorporation on the bread making performance of Punjab Wheat. **International Journal of Food Properties**, v. 7, n. 2, p. 175-183, 2004.
- SILVA, L.H.; PAUCAR-MENACHO, L.M.; VICENTE, C.A.; SALLES, A.S.; STEEL, C.J.; CHANG, Y.P. Desenvolvimento de pão de forma com a adição de farinha de “okara”. **Braz. J. Food Technol.**, v. 12, n. 4, p. 315-322, 2009a.
- SILVA, R.F.; ASCHERI, J.L.R.; PEREIRA, R.G.F.A.; MODESTA, R.C.D. Aceitabilidade de biscoitos e bolos à base de arroz com café extrusados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 4, p.815-819, 2009b.
- SIVAM, A.S.; SUN-WATERHOUSE, D.; WATERHOUSE, G.I.N.; QUEK, S.Y.; PERERA, C.O. Physicochemical properties of bread dough and finished bread with added pectin fiber and phenolic antioxidants. **Journal of Food Science**, v. 76, n. 3, 2011.
- SKENDI, A.; BILIADERIS, C.G.; PAPAGEORGIU, M.; IZYDORCZYK, M.S. Effects of two barley β -glucan isolates on wheat flour dough and bread properties. **Food Chemistry**, v. 119, p.1159-1167, 2010.
- SLUIMER, P. **Principles of breadmaking**: Functionality of raw materials and process steps, St Paul: AACC Inc., 212p., 2005.
- STATSOFT, STATISTICA for Windows – Release 7.1, **StatSoft**, Inc. Tulsa, OK, USA, 2005.
- SULLIVAN, P.; O’FLAHERTY, J.; BRUNTON, N.; ARENDT, E.; GALLAGHER, E. Fundamental rheological and texture properties of doughs and breads produced from milled pearled barley flour. **Eur. Food Technol.**, v. 231, p. 441-453, 2010.
- WANG, J., ROSELL, C.M.; BARBER, C.B. Effect of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality. **Food Chemistry**, v. 79, p. 221-226, 2002.

YADAV, M.P.; IGARTUBURU, J.M.; YAN, Y.; NOTHNAGEL, E.A. Chemical investigation of the structural basis of the emulsifying activity of gum Arabic. **Food Hydrocolloids**, v. 21, p. 297-308, 2007.

ZOBEL, H.F.; KULP, K. The staling mechanism. In: HEBEDA, R.E; ZOBEL, H.F.(ED) **Baked goods freshness. Technology, evaluation and inhibition of staling**, chap 1, p. 1-64, 1996.

ANEXOS

ANEXO A.1. Termo de Consentimento Livre e Esclarecido – pães de mercado TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

Nome: _____ Idade: _____ Data: _____

PROJETO DE MESTRADO:

Efeito de diferentes fontes de fibras brancas na qualidade de pão de forma

A pesquisa visa avaliar as características sensoriais de pães de forma brancos e integrais do mercado brasileiro.

Os pães de forma **CONTÊM GLÚTEN e podem conter LEITE EM PÓ**, assim não são adequados para o consumo por portadores de doença celíaca e pessoas alérgicas ao leite.

A análise sensorial será conduzida com amostras de pão de forma brancos e com fibras, que foram adquiridos no comércio local em condições de higiene e de segurança alimentar, adequados para o consumo humano, não acarretando risco à saúde do consumidor (providor).

Você está de acordo com os termos da pesquisa e concorda em participar?
() sim ; () não.

Assinatura do provedor

Eng. Alimentos Patricia Mello Garrido Ishida

Pesquisadora responsável pelo projeto

Contatos: pgarrido@fea.unicamp.br

Fones: (19) 3521-4004 – Laboratório de Cereais (FEA-UNICAMP)
(19) 8150-6855, celular

Comitê de Ética em Pesquisa – UNICAMP

Rua: Tessália Vieira de Camargo, 126

Caixa Postal 6111; CEP: 13084-971 Campinas – SP

Fone: (19) 3521-8936

FAX: (19) 3521-7187

cep@fcm.unicamp.br

ANEXO A.2. Termo de Consentimento Livre e Esclarecido – pães com fibra de trigo, aveia e goma acácia

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

Nome: _____ Idade: _____ Data: _____

PROJETO DE MESTRADO:

Efeito de diferentes fontes de fibras brancas na qualidade de pão de forma

A pesquisa visa avaliar as características sensoriais de pão de forma formulado com fibras brancas de trigo, aveia e goma acácia.

Os pães de forma **CONTÊM GLÚTEN e LEITE EM PÓ**, assim não são adequados para o consumo por portadores de doença celíaca e pessoas alérgicas ao leite.

A análise sensorial será conduzida com amostras de pão de forma com fibras de trigo, aveia e goma acácia, que foram preparadas em condições de higiene e de segurança alimentar, com matéria prima de qualidade e em condições de processo adequados para o consumo humano, não acarretando risco à saúde do consumidor (provador).

Você está de acordo com os termos da pesquisa e concorda em participar?

() sim ; () não.

Assinatura do provador

Eng. Alimentos Patricia Mello Garrido Ishida

Pesquisadora responsável pelo projeto

Contatos: pgarrido@fea.unicamp.br

Fones: (19) 3521-4004 – Laboratório de Cereais (FEA-UNICAMP)

(19) 8150-6855, celular

Comitê de Ética em Pesquisa – UNICAMP

Rua: Tessália Vieira de Camargo, 126

Caixa Postal 6111; CEP: 13084-971 Campinas – SP

Fone: (19) 3521-8936

FAX: (19) 3521-7187

cep@fcm.unicamp.br

ANEXO A.3. Aprovação do projeto pelo Comitê de Ética – página 1



FACULDADE DE CIÊNCIAS MÉDICAS
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA

www.fcm.unicamp.br/pesquisa/etica/index.html

CEP, 18/01/11
(Grupo III)

PARECER CEP: N° 1243/2010 (Este n° deve ser citado nas correspondências referente a este projeto).
CAAE: 0974.0.146.000-10

I - IDENTIFICAÇÃO:

PROJETO: “EFEITO DE DIFERENTES FONTES DE FIBRAS BRANCAS NA QUALIDADE DE PÃO DE FORMA”.

PESQUISADOR RESPONSÁVEL: Patrícia Mello Garrido Ishida

INSTITUIÇÃO: Faculdade de Engenharia de Alimentos/UNICAMP

APRESENTAÇÃO AO CEP: 10/12/2010

APRESENTAR RELATÓRIO EM: 18/01/12 (O formulário encontra-se no *site* acima).

II - OBJETIVOS

Estudar os efeitos de fibras brancas aplicadas em pão de forma avaliando as características físico-químicas de pães brancos e integral comerciais. Da mesma forma avaliar a aceitação pelos consumidores, além de estudar o efeito das fibras brancas sobre a qualidade do pão de forma

III - SUMÁRIO

Projeto de pesquisa que visa avaliar a possibilidade de emprego de fibras brancas no pão de forma dado que possivelmente as fibras convencionais escuras são rejeitadas pelos consumidores, pela aparência (não há pesquisa neste sentido) e as fibras brancas seriam uma alternativa, mas não se conhece as características físico-químicas de pães com estas fibras, nem a aceitação de consumidores ou o efeito destas fibras sobre a qualidade do pão de forma, como aroma, umidade, textura, sabor, maciez. Cuidados serão tomados quanto aos possíveis riscos de alergias alimentares recrutando somente provadores habituados ao consumo destes produtos, além de alerta neste sentido no Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

IV - COMENTÁRIOS DOS RELATORES

Projeto de pesquisa com finalidades de mestrado, enfoques quali-quantitativos e desdobramentos comerciais. Será realizado em 3 etapas que estão bem definidas, tendo dois Termos de Consentimento Livre e Esclarecido diferentes para as situações que se impoem. projeto bem estruturado, técnico e com objetivos claros e bem definidos.

V - PARECER DO CEP

O Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Ciências Médicas da UNICAMP, após acatar os pareceres dos membros-relatores previamente designados para o presente caso e atendendo todos os dispositivos das Resoluções 196/96 e complementares, resolve aprovar sem

Comitê de Ética em Pesquisa - UNICAMP
Rua: Tessália Vieira de Camargo, 126
Caixa Postal 6111
13083-887 Campinas – SP

FONE (019) 3521-8936
FAX (019) 3521-7187
cep@fcm.unicamp.br

ANEXO A.4. Aprovação do projeto pelo Comitê de Ética – página 2



FACULDADE DE CIÊNCIAS MÉDICAS
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA

www.fcm.unicamp.br/pesquisa/etica/index.html

restrições o Protocolo de Pesquisa, o Termo do Consentimento Livre e Esclarecido, bem como todos os anexos incluídos na pesquisa supracitada.

O conteúdo e as conclusões aqui apresentados são de responsabilidade exclusiva do CEP/FCM/UNICAMP e não representam a opinião da Universidade Estadual de Campinas nem a comprometem.

VI - INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES

O sujeito da pesquisa tem a liberdade de recusar-se a participar ou de retirar seu consentimento em qualquer fase da pesquisa, sem penalização alguma e sem prejuízo ao seu cuidado (Res. CNS 196/96 – Item IV.1.f) e deve receber uma cópia do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, na íntegra, por ele assinado (Item IV.2.d).

Pesquisador deve desenvolver a pesquisa conforme delineada no protocolo aprovado e descontinuar o estudo somente após análise das razões da descontinuidade pelo CEP que o aprovou (Res. CNS Item III.1.z), exceto quando perceber risco ou dano não previsto ao sujeito participante ou quando constatar a superioridade do regime oferecido a um dos grupos de pesquisa (Item V.3.).

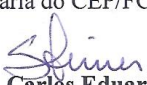
O CEP deve ser informado de todos os efeitos adversos ou fatos relevantes que alterem o curso normal do estudo (Res. CNS Item V.4.). É papel do pesquisador assegurar medidas imediatas adequadas frente a evento adverso grave ocorrido (mesmo que tenha sido em outro centro) e enviar notificação ao CEP e à Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA – junto com seu posicionamento.

Eventuais modificações ou emendas ao protocolo devem ser apresentadas ao CEP de forma clara e sucinta, identificando a parte do protocolo a ser modificada e suas justificativas. Em caso de projeto do Grupo I ou II apresentados anteriormente à ANVISA, o pesquisador ou patrocinador deve enviá-las também à mesma junto com o parecer aprovatório do CEP, para serem juntadas ao protocolo inicial (Res. 251/97, Item III.2.e).

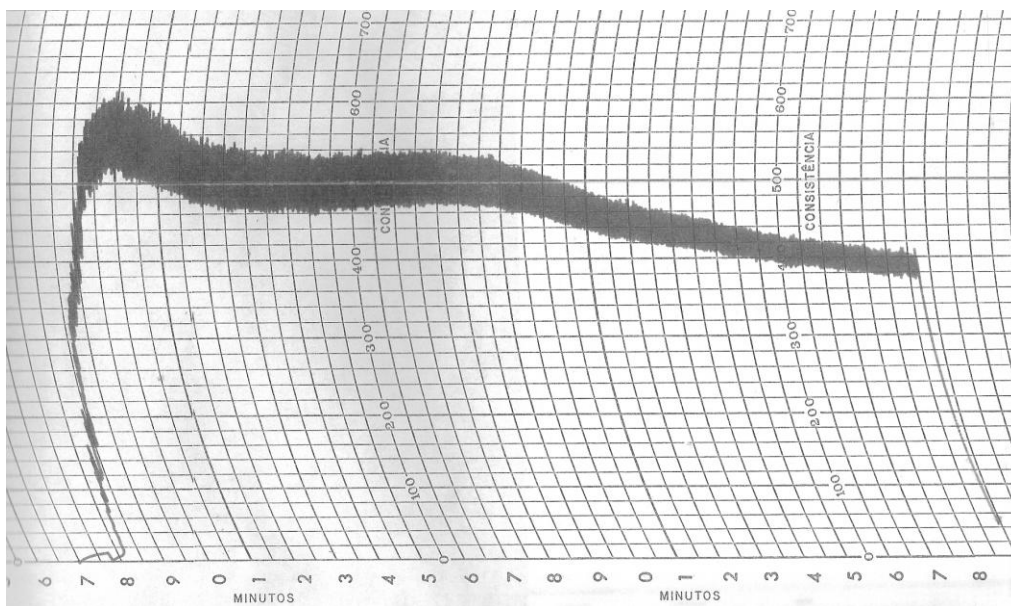
Relatórios parciais e final devem ser apresentados ao CEP, de acordo com os prazos estabelecidos na Resolução CNS-MS 196/96.

VII – DATA DA REUNIÃO

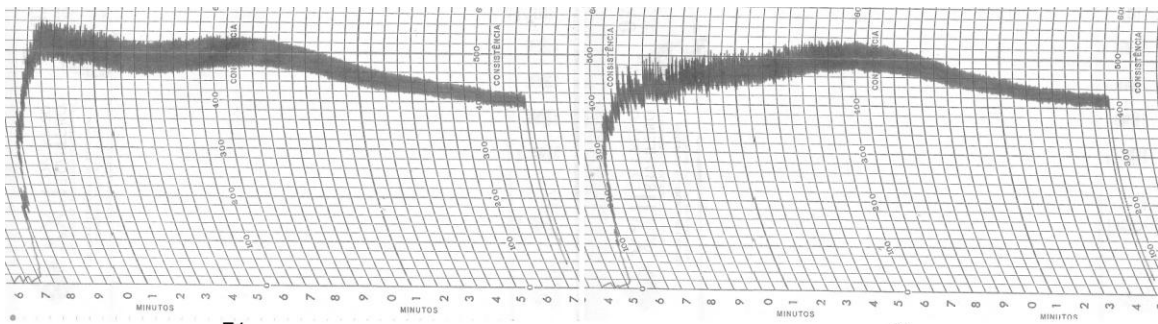
Homologado na I Reunião Ordinária do CEP/FCM, em 18 de janeiro de 2011.


Prof. Dr. Carlos Eduardo Steiner
PRESIDENTE do COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA
FCM / UNICAMP

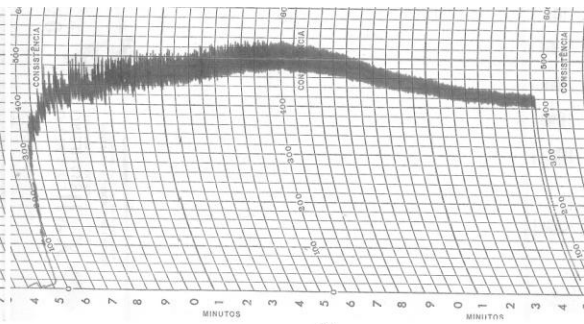
ANEXO B.1. Farinograma da farinha de trigo



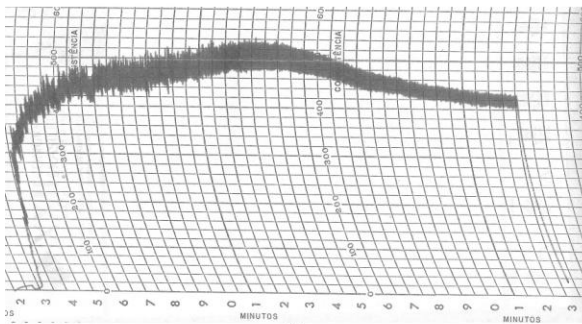
ANEXO B.2. Farinogramas das pré-misturas dos ensaios F1 a F6



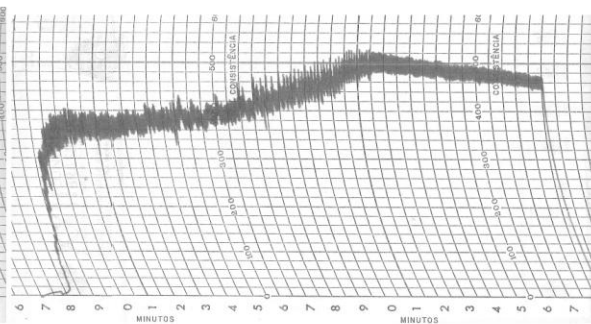
F1



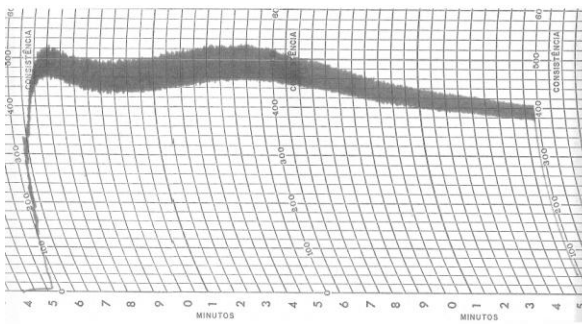
F2



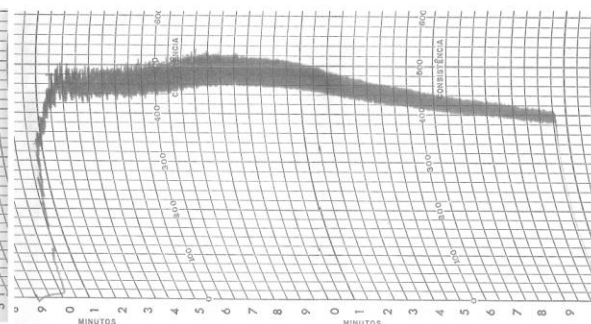
F3



F4

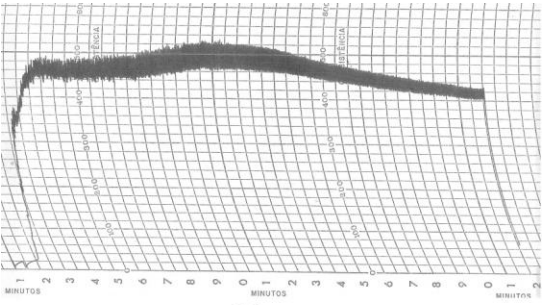


F5

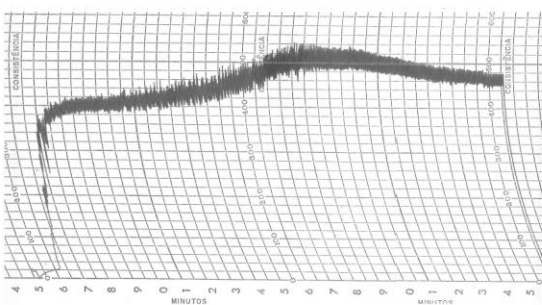


F6

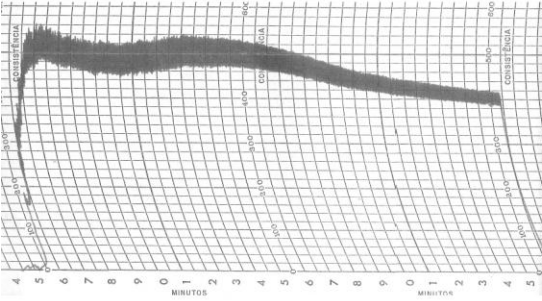
ANEXO B.3. Farinogramas das pré-misturas dos ensaios F7 a F12



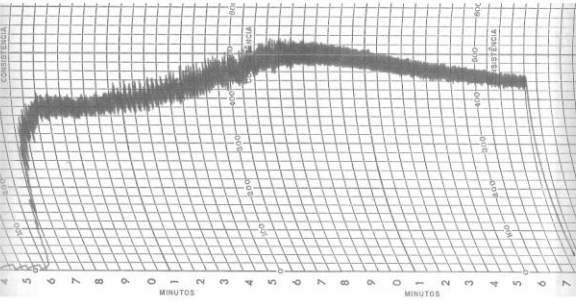
F7



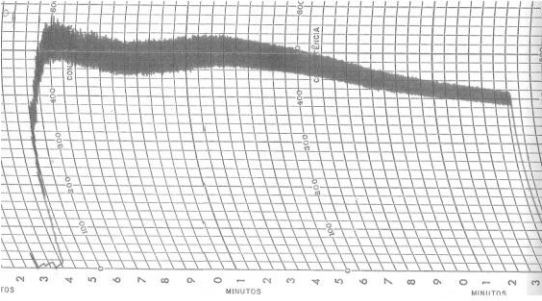
F8



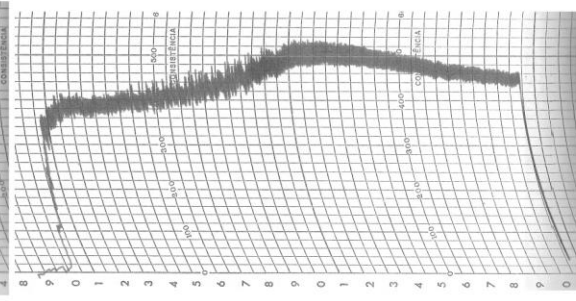
F9



F10

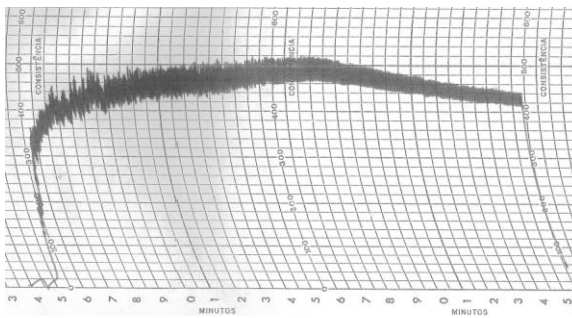


F11

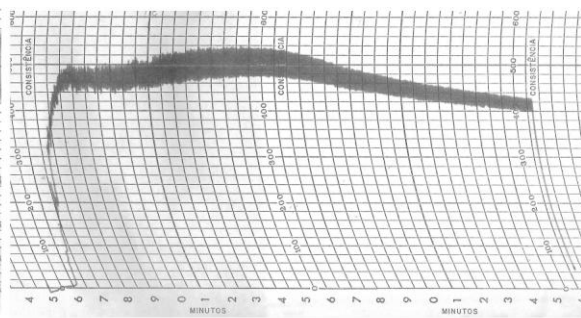


F12

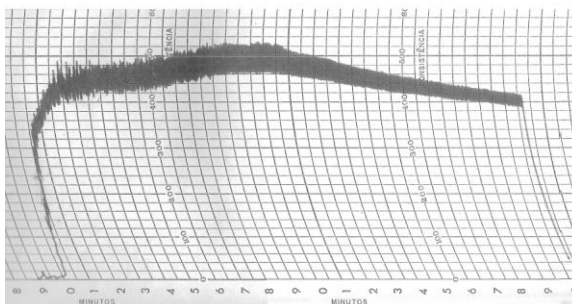
ANEXO B.4. Farinogramas das pré-misturas dos ensaios F13 a F18



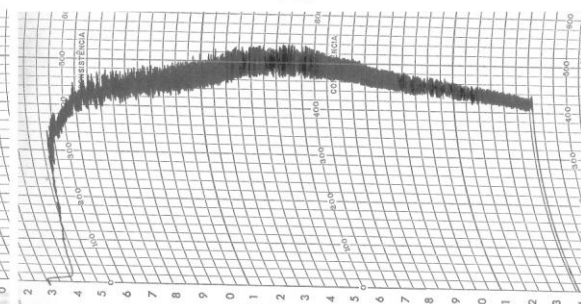
F13



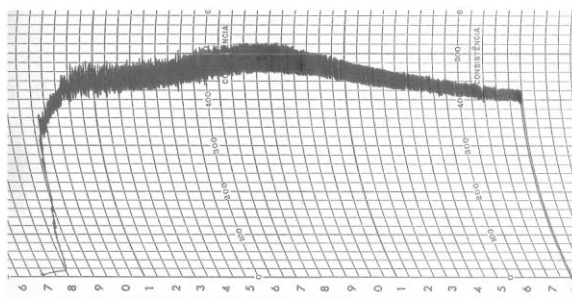
F14



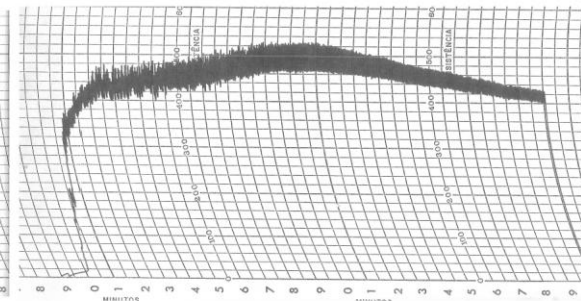
F15



F16

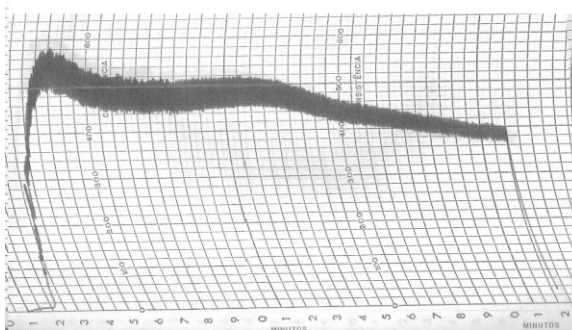


F17

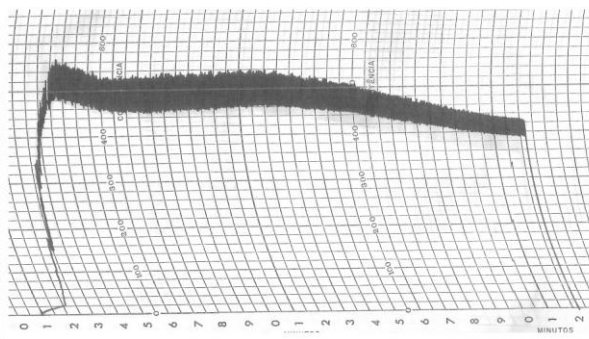


F18

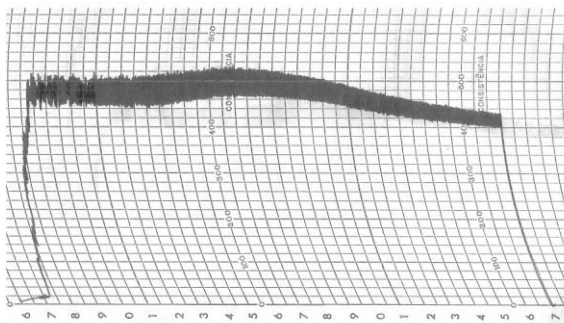
ANEXO B.5. Farinogramas da repetição da farinha de trigo (FC) e das pré-misturas do ponto ótimo (FF, FR1 e FR2)



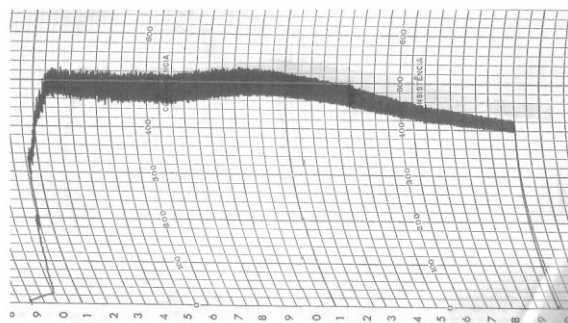
FC



FF

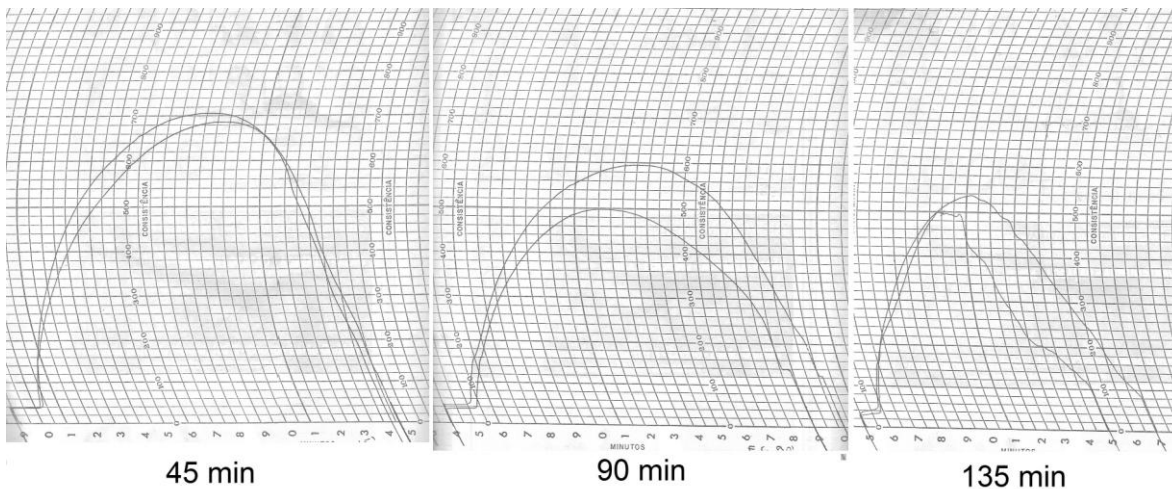


FR1

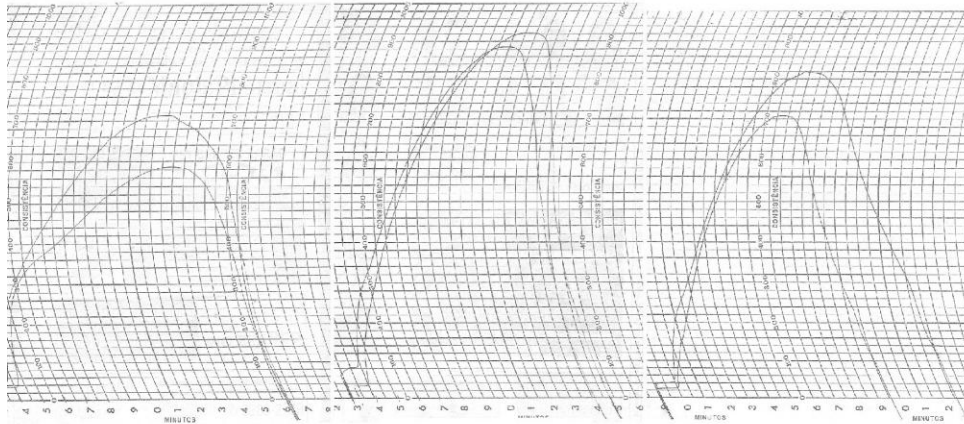


FR2

ANEXO C.1. Extensograma da farinha de trigo em 45, 90 e 135 minutos



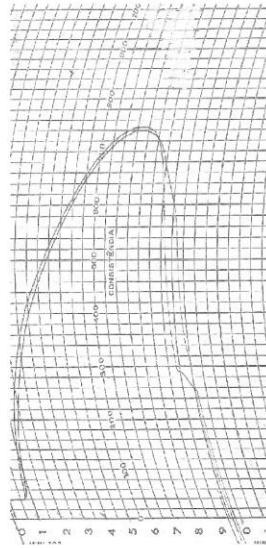
ANEXO C.2. Extensogramas das pré-misturas dos ensaios F1, F2 e F3 em 45, 90 e 135 minutos



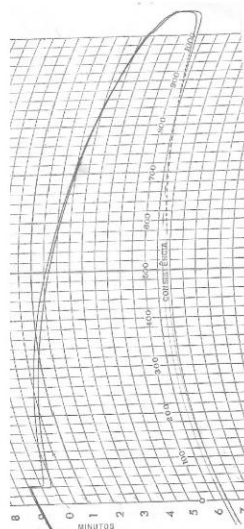
F1 - 45 min

F1 - 90 min

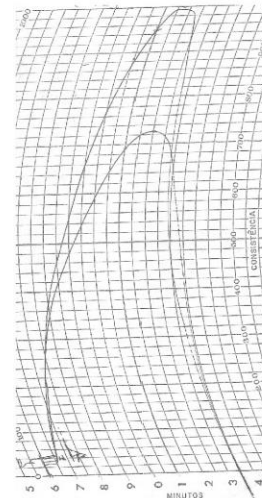
F1 - 135 min



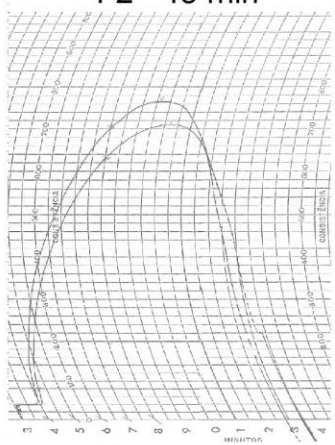
F2 - 45 min



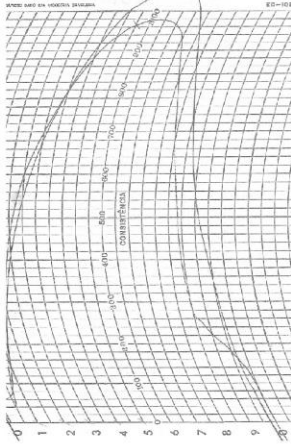
F2 - 90 min



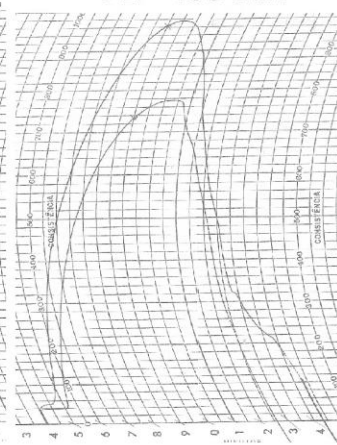
F2 - 135 min



F3 - 45 min

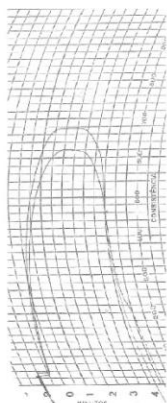


F3 - 90 min

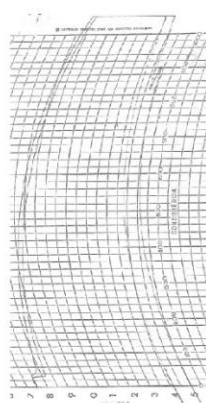


F3 - 135 min

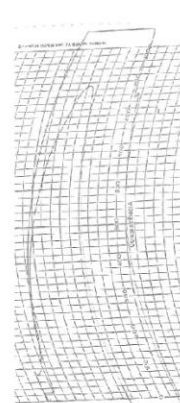
ANEXO C.3. Extensogramas das pré-misturas dos ensaios F4, F5 e F6 em 45, 90 e 135 minutos



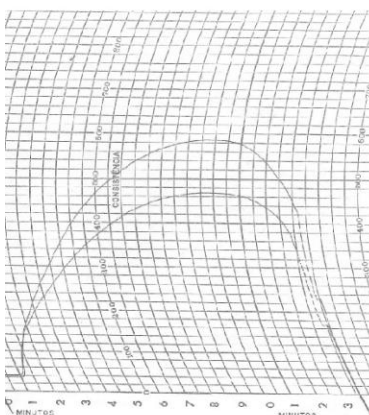
F4 - 45 min



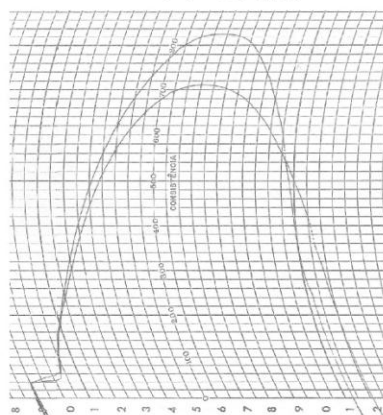
F4 - 90 min



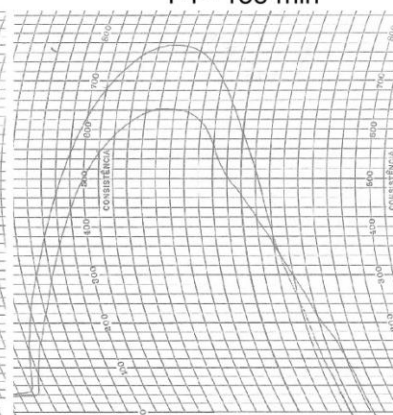
F4 - 135 min



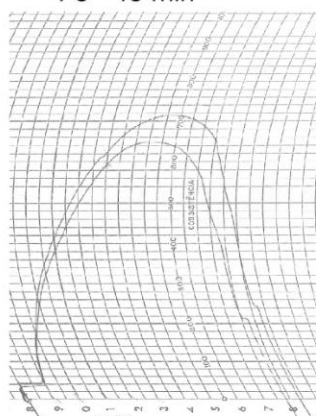
F5 - 45 min



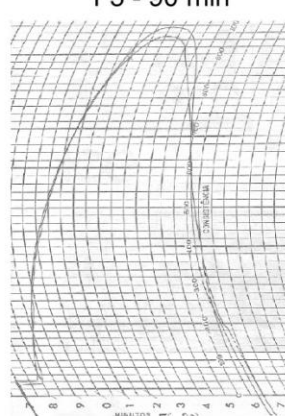
F5 - 90 min



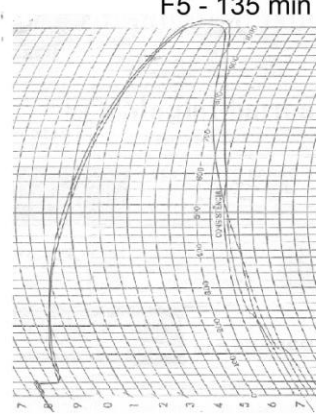
F5 - 135 min



F6 - 45 min

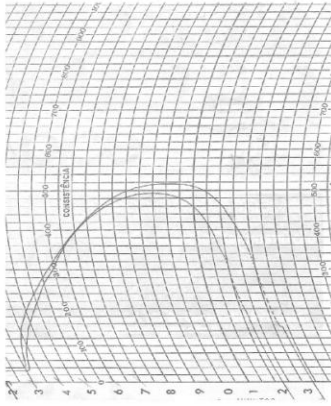


F6 - 90 min

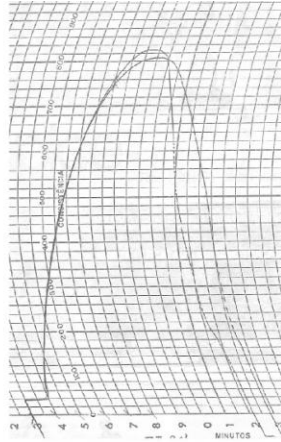


F6 - 135 min

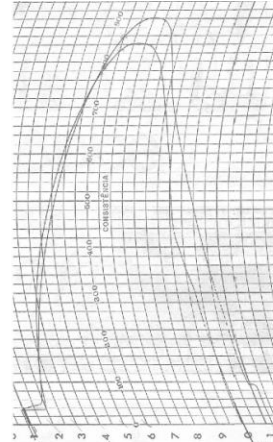
ANEXO C.4. Extensogramas das pré-misturas dos ensaios F7, F8 e F9 em 45, 90 e 135 minutos



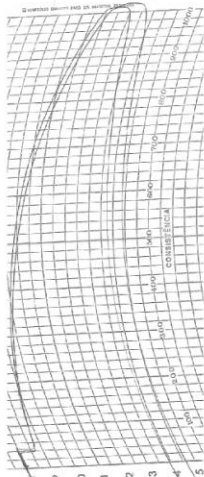
F7 - 45 min



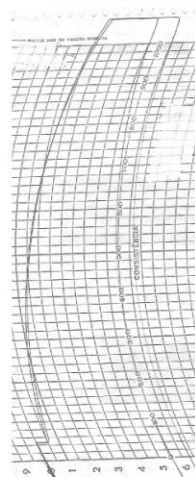
F7 - 90 min



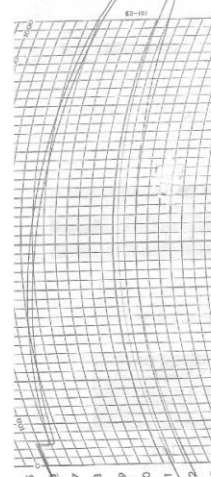
F7 - 135 min



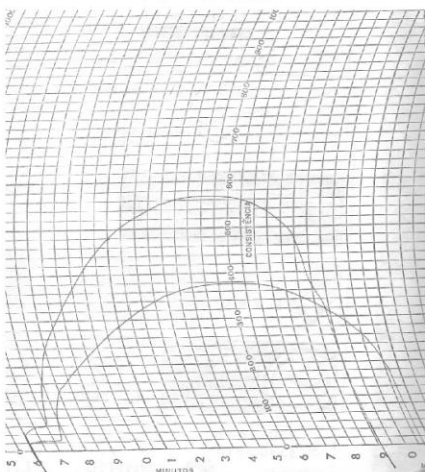
F8 - 45 min



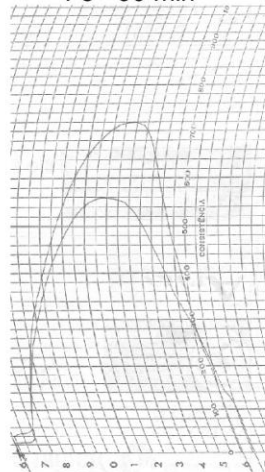
F8 - 90 min



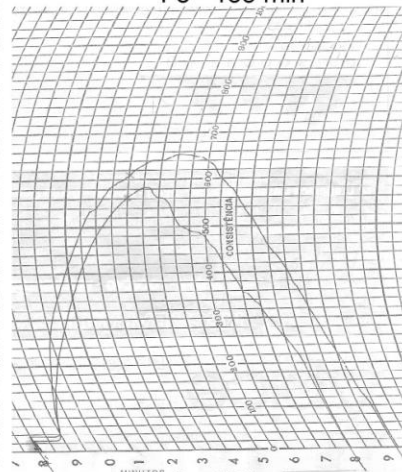
F8 - 135 min



F9 - 45 min

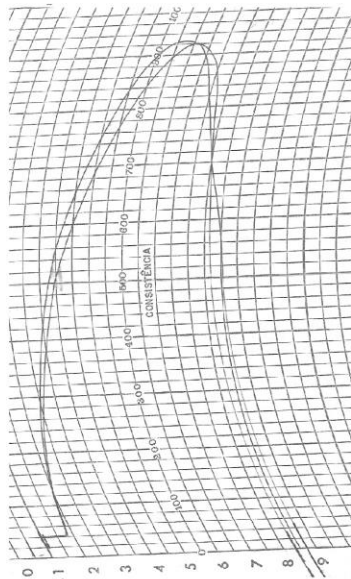


F9 - 90 min

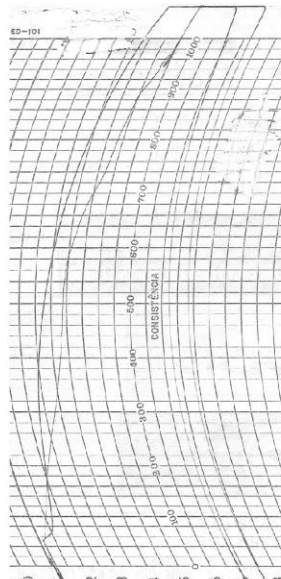


F9 - 135 min

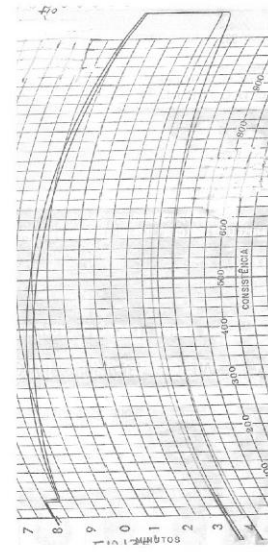
ANEXO C.5. Extensogramas das pré-misturas dos ensaios F10, F11 e F12 em 45, 90 e 135 minutos



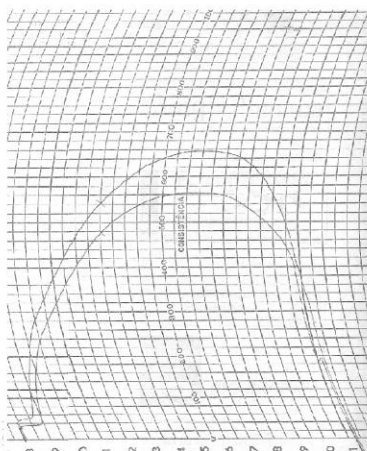
F10 - 45 min



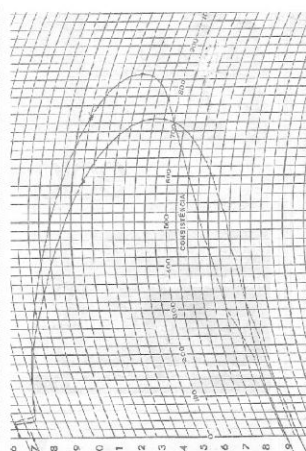
F10 - 90 min



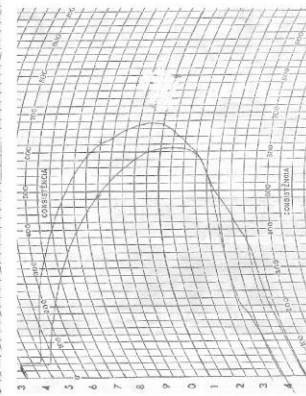
F10 - 135 min



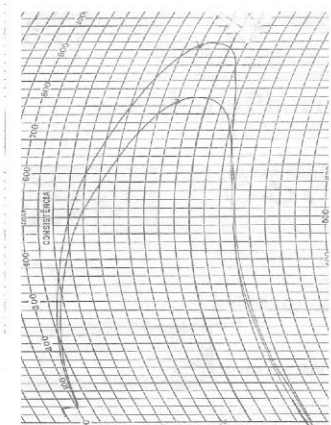
F11 - 45 min



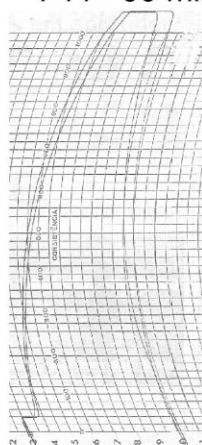
F11 - 90 min



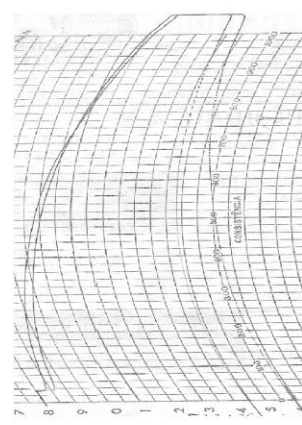
F11 - 135 min



F12 - 45 min

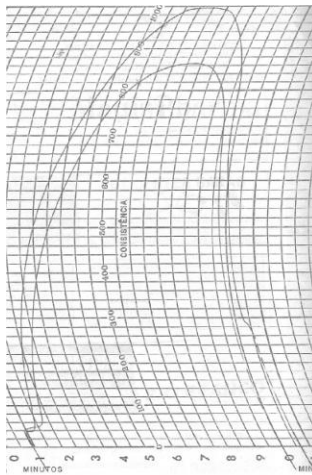


F12 - 90 min

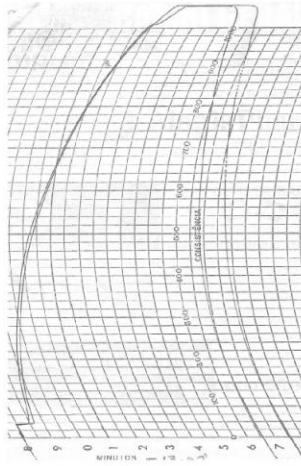


F12 - 135 min

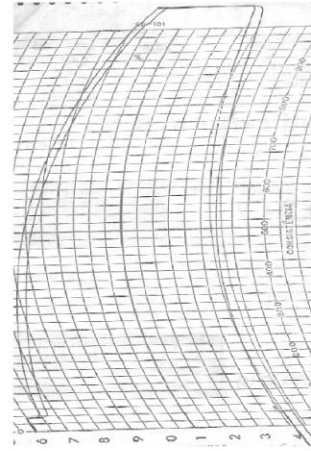
ANEXO C.6. Extensogramas das pré-misturas dos ensaios F13, F14 e F15 em 45, 90 e 135 minutos



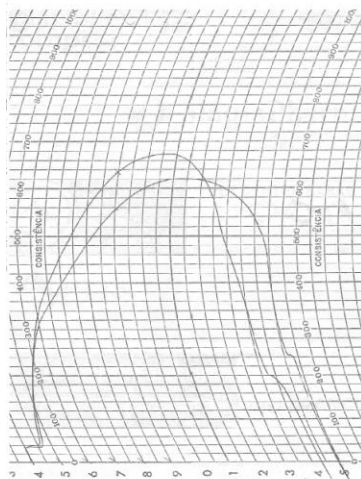
F13 - 45 min



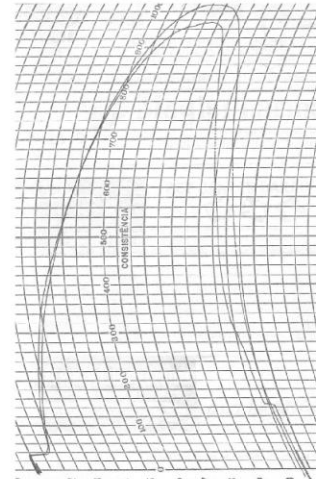
F13 - 90 min



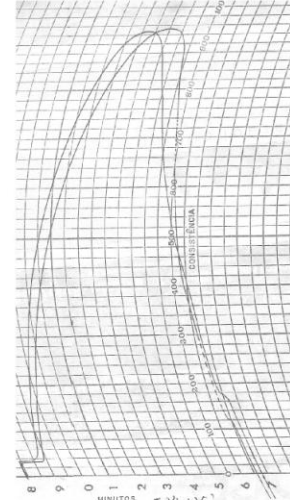
F13 - 135 min



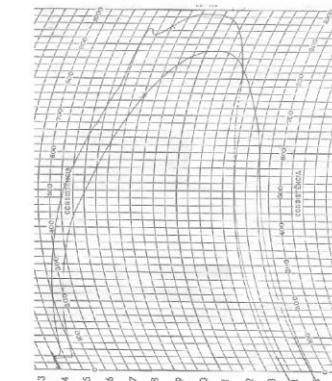
F14 - 45 min



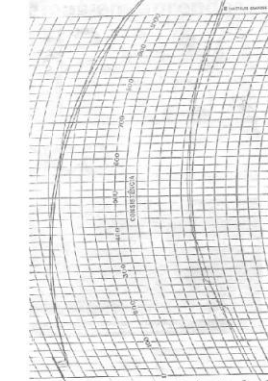
F14 - 90 min



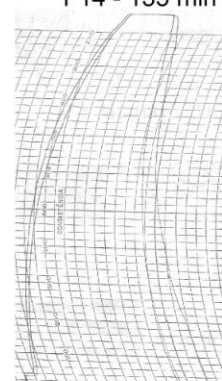
F14 - 135 min



F15 - 45 min

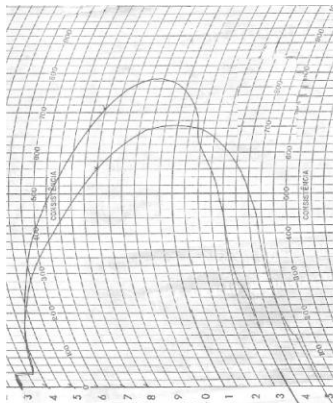


F15 - 90 min

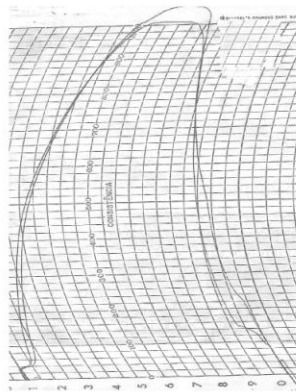


F15 - 135 min

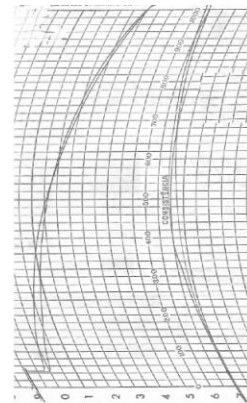
ANEXO C.7. Extensogramas das pré-misturas dos ensaios F16, F17 e F18 em 45, 90 e 135 minutos



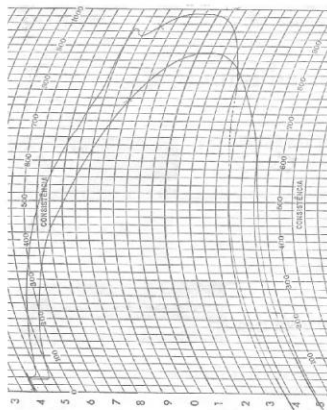
F16 - 45 min



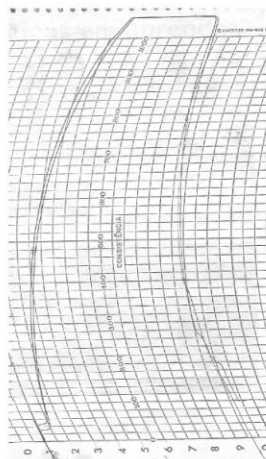
F16 - 90 min



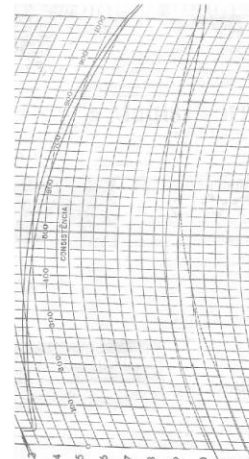
F16 - 135 min



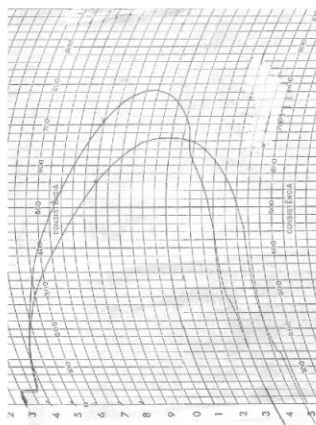
F17 - 45 min



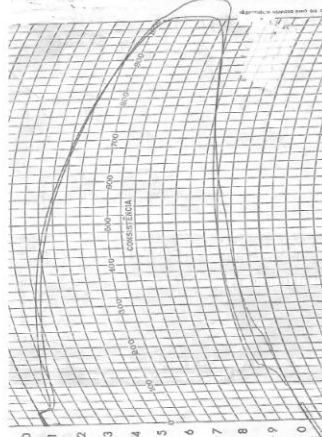
F17 - 90 min



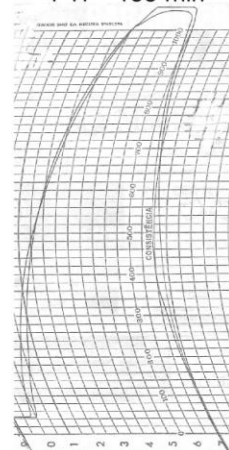
F17 - 135 min



F18 - 45 min

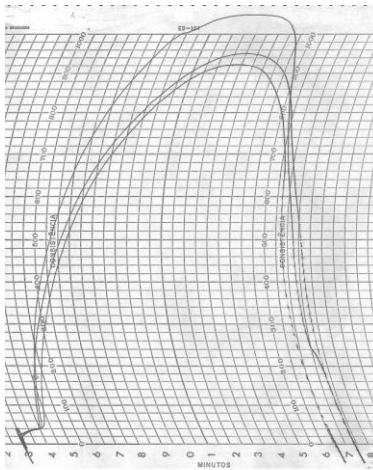


F18 - 90 min

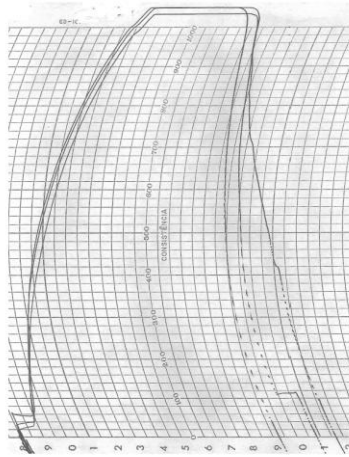


F18 - 135 min

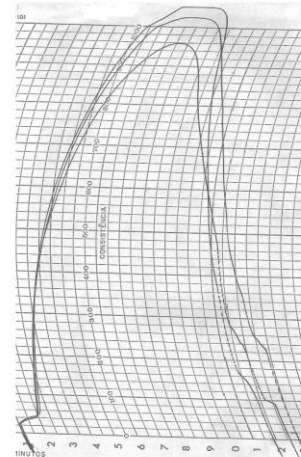
ANEXO C.8. Extensogramas da repetição da farinha de trigo em 45, 90 e 135 minutos



45 min

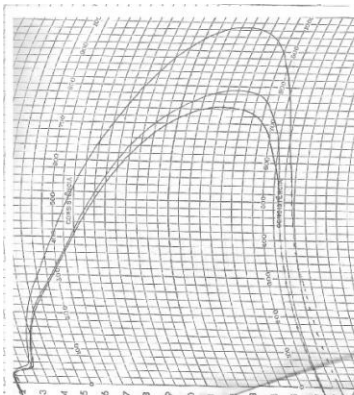


90 min

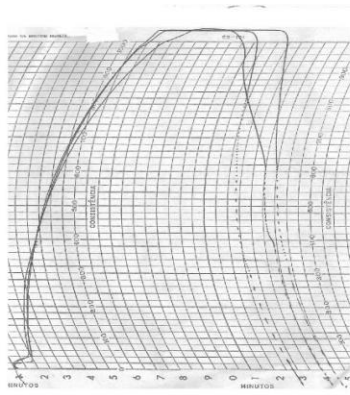


135 min

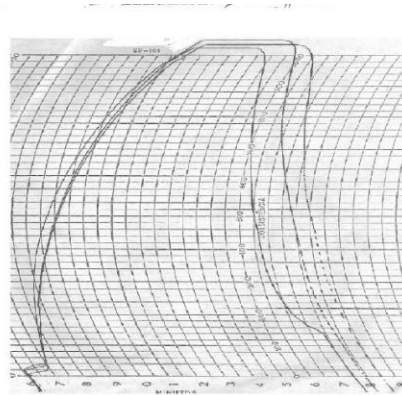
ANEXO C.9. Extensogramas das pré-misturas do ponto ótimo (FF, FR1 e FR2) em 45, 90 e 135 minutos



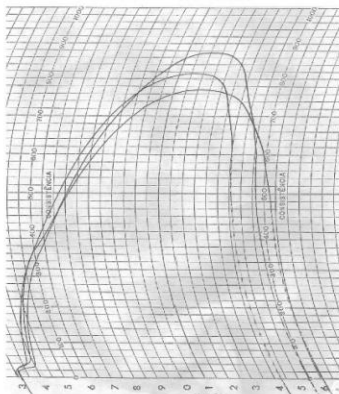
FF - 45 min



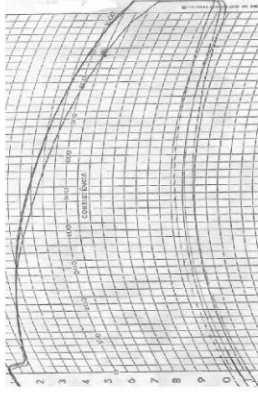
FF - 90 min



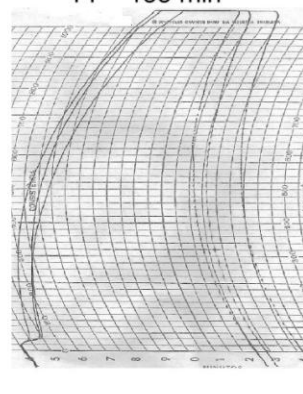
FF - 135 min



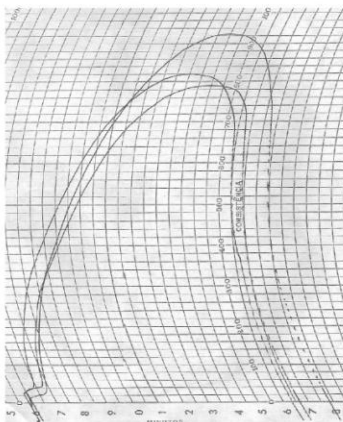
FR1 - 45 min



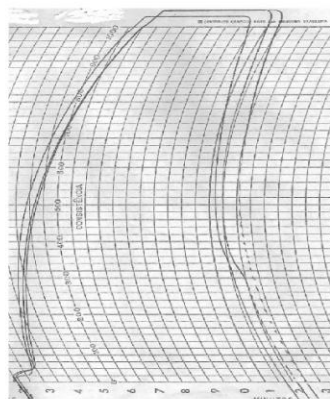
FR1 - 90 min



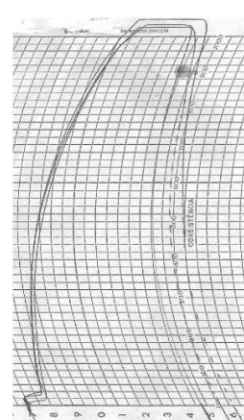
FR1 - 135 min



FR2 - 45 min



FR2 - 90 min



FR2 - 135 min

ANEXO D.1. Coeficientes de regressão e ANOVA para Abs (Absorção de água)

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t(14)	p-valor		
Média	62,08	0,10	634,69	<0,0001		
x ₁ L	2,04	0,11	18,16	<0,0001		
x ₂ L	2,92	0,11	25,99	<0,0001		
x ₃ L	-1,05	0,11	-9,31	<0,0001		
ANOVA	Soma de Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F _{calculado}	F _{Tabelado}	
Regressão	187,98	3	62,66	363,83	2,52	
Resíduos	2,41	14	0,17			
Falta de ajuste	2,04	11	0,19	1,49	5,23	
Erro puro	0,37	3	0,12			
Total	190,39	17				
R ² = 98,74%						

*Valores estatisticamente significativos a 90% de significância (p<0,10). Valores codificados = x₁: Fibra de trigo; x₂: Fibra de aveia; e x₃: Goma acácia.

ANEXO D.2. Coeficientes de regressão e ANOVA para TC (Tempo de chegada)

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t(14)	p-valor		
Média	5,87	0,36	16,57	<0,0001		
x ₁ L	1,89	0,31	6,17	<0,0001		
x ₂ L	2,72	0,31	8,86	<0,0001		
x ₃ Q	-1,02	0,31	-3,31	0,0051		
ANOVA	Soma de Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F _{calculado}	F _{Tabelado}	
Regressão	163,96	3	56,65	42,49	2,52	
Resíduos	18,01	14	1,29			
Falta de ajuste	17,41	11	1,58	7,89	5,23	
Erro puro	0,60	3	0,20			
Total	181,97	17				
R ² = 90,10%						

*Valores estatisticamente significativos a 90% de significância (p<0,10). Valores codificados = x₁: Fibra de trigo; x₂: Fibra de aveia; e x₃: Goma acácia.

ANEXO D.3. Coeficientes de regressão e ANOVA para TD (Tempo de desenvolvimento)

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t(11)	p-valor		
Média	9,25	0,25	36,51	<0,0001		
x ₁ L	0,88	0,17	5,10	0,0003		
x ₂ L	1,05	0,17	6,12	0,0001		
x ₃ L	-0,74	0,17	-4,27	0,0013		
x ₁ x ₂	0,71	0,23	3,15	0,0091		
ANOVA	Soma de Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F _{calculado}	F _{Tabelado}	
Regressão	38,88	4	9,72	28,20	2,43	
Resíduos	4,48	13	0,34			
Falta de ajuste	3,61	10	0,36	1,24	5,23	
Erro puro	0,88	3	0,29			
Total	43,36	17				
R ² = 89,66%						

*Valores estatisticamente significativos a 90% de significância (p<0,10). Valores codificados = x₁: Fibra de trigo; x₂: Fibra de aveia; e x₃: Goma acácia.

ANEXO D.4. Coeficientes de regressão e ANOVA para TS (Tempo de saída)

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t(10)	p-valor		
Média	12,07	0,29	41,38	<0,0001		
x ₁ L	0,99	0,16	6,23	0,0001		
x ₁ Q	0,49	0,16	2,97	0,0140		
x ₂ L	0,99	0,16	6,26	0,0001		
x ₂ Q	0,56	0,16	3,40	0,0067		
x ₃ L	-0,46	0,16	-2,89	0,0162		
x ₃ Q	0,45	0,16	2,76	0,0202		
x ₁ x ₂	0,55	0,21	2,66	0,0238		
ANOVA	Soma de Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F _{calculado}	F _{Tabelado}	
Regressão	38,71	7	5,53	16,19	2,41	
Resíduos	3,42	10	0,38			
Falta de ajuste	1,62	7	0,23	0,38	5,27	
Erro puro	1,80	3	0,60			
Total	42,13	17				
R ² = 91,89%						

*Valores estatisticamente significativos a 90% de significância (p<0,10). Valores codificados = x₁: Fibra de trigo; x₂: Fibra de aveia; e x₃: Goma acácia.

ANEXO D.5. Coeficientes de regressão e ANOVA para TE (Tempo de estabilidade)

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t(14)	p-valor		
Média	7,20	0,36	19,96	<0,0001		
x ₁ L	-0,89	0,31	-2,86	0,0126		
x ₂ L	-1,83	0,31	-5,88	<0,0001		
x ₃ Q	1,21	0,31	3,89	0,0016		
ANOVA	Soma de Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F _{calculado}	F _{Tabelado}	
Regressão	76,90	3	5,53	19,28	2,52	
Resíduos	18,61	14	0,38			
Falta de ajuste	18,22	11	0,23	12,66	5,23	
Erro puro	0,39	3	0,60			
Total	95,51	17				
R ² = 80,51%						

*Valores estatisticamente significativos a 90% de significância (p<0,10). Valores codificados = x₁: Fibra de trigo; x₂: Fibra de aveia; e x₃: Goma acácia.

ANEXO D.6. Coeficientes de regressão e ANOVA para ITM (Índice de tolerância à mistura)

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t(16)	p-valor		
Média	45,44	2,10	21,67	<0,0001		
x ₂ L	-5,23	2,41	-2,17	0,0453		
ANOVA	Soma de Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F _{calculado}	F _{Tabelado}	
Regressão	373,38	1	373,88	4,71	3,05	
Resíduos	1267,06	16	79,19			
Falta de ajuste	1192,06	13	81,70	3,66	5,22	
Erro puro	75,00	3	25,00			
Total	1640,44	17				
R ² = 22,76%						

*Valores estatisticamente significativos a 90% de significância (p<0,10). Valores codificados = x₂: Fibra de aveia.

ANEXO D.7. Parâmetros farinográficos experimentais, preditos pelo modelo, erros relativos e variáveis codificadas

Amostras	Valores codificados			Abs (%)			TC (min)			TD (min)			TS (min)		
	X ₁	X ₂	X ₃	Vexp	Vpred	ER*(%)	Vexp	Vpred	ER*(%)	Vexp	Vpred	ER*(%)	Vexp	Vpred	ER*(%)
F1	-1	-1	-1	58,9	62,2	-5,6	1,4	0,2	82,9	9,0	8,8	2,7	12,2	12,6	-3,7
F2	1	-1	-1	62,3	66,3	-6,3	5,3	4,0	23,4	10,0	9,1	9,0	13,3	13,5	-1,7
F3	-1	1	-1	64,2	68,0	-5,9	6,3	5,7	9,1	10,0	9,5	5,4	13,2	13,5	-2,5
F4	1	1	-1	68,0	72,1	-6,1	11,0	9,5	4,0	13,0	12,6	2,8	16,3	16,6	-1,9
F5	-1	-1	1	55,7	60,1	-7,9	1,4	0,2	82,9	9,0	7,3	19,1	12,3	11,7	4,7
F6	1	-1	1	60,2	64,2	-6,7	1,8	4,0	-129,7	7,8	7,6	1,7	12,7	12,6	0,7
F7	-1	1	1	62,2	65,9	-6,0	5,6	5,7	-1,4	9,0	8,0	11,3	12,5	12,6	-0,9
F8	1	1	1	65,9	70,0	-6,3	10,0	9,5	5,4	11,5	11,2	3,0	15,3	15,6	-2,6
F9	-1,68	0	0	58,4	62,7	-7,4	1,2	2,7	-134,3	7,8	7,8	0,0	11,8	11,8	0,0
F10	1,68	0	0	65,8	69,5	-5,6	8,6	9,0	-5,2	11,8	10,7	8,7	15,4	15,1	1,5
F11	0	-1,68	0	57,1	61,2	-7,1	1,1	1,3	-18,2	7,8	7,5	3,6	11,8	12,0	-2,0
F12	0	1,68	0	67,0	71,0	-6,0	9,5	10,4	-9,9	11,8	11,0	6,1	15,8	15,3	2,8
F13	0	0	-1,68	62,9	67,8	-7,9	2,9	3,0	-5,0	11,2	10,5	5,9	14,7	14,1	3,7
F14	0	0	1,68	60,0	64,3	-7,3	1,7	3,0	-76,0	8,0	8,0	0,0	12,3	12,6	-2,6
F15	0	0	0	62,0	66,1	-6,6	5,8	5,9	-2,1	8,5	9,3	-8,8	12,0	12,1	-0,6
F16	0	0	0	62,6	66,1	-5,6	5,5	5,9	-6,7	8,8	9,3	-5,7	12,5	12,1	3,4
F17	0	0	0	61,9	66,1	-6,8	6,3	5,9	6,1	9,0	9,3	-2,8	11,0	12,1	-9,7
F18	0	0	0	62,5	66,1	-5,7	6,5	5,9	9,7	9,8	9,3	5,1	12,8	12,1	5,3

Abs: absorção de água; TC: tempo de chegada; TD: tempo de desenvolvimento da massa; Vexp : valor experimental; Vpred: valor predito pelo modelo com as variáveis codificadas; ER: erro relativo. Valores codificados = x₁: Fibra de trigo; x₂: Fibra de aveia; e x₃: Goma acácia.

* ER = $(V_{exp} - V_{pred}) / V_{exp} \times 100$

ANEXO E.1. Coeficientes de regressão e ANOVA para R- 45 min (Resistência)

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t(16)	p-valor		
Média	654,44	37,68	17,37	<0,0001		
x_1L	122,58	43,28	2,83	0,0120		
ANOVA	Soma de Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	$F_{\text{calculado}}$	F_{Tabelado}	
Regressão	205029,90	1	205029,90	8,02	3,05	
Resíduos	408902,00	16	25556,38			
Falta de ajuste	384502,00	13	29577,08	3,64	5,22	
Erro puro	24400,00	3	8133,33			
Total	613931,90	17				
$R^2 = 33,40\%$						

*Valores estatisticamente significativos a 90% de significância ($p < 0,10$). Valores codificados = x_1 :
Fibra de trigo.

ANEXO E.2. Coeficientes de regressão e ANOVA para R_m - 45min (Resistência máxima)

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t(16)	p-valor		
Média	732,67	32,32	22,67	<0,0001		
x_1L	113,48	37,12	3,06	0,0075		
ANOVA	Soma de Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	$F_{\text{calculado}}$	F_{Tabelado}	
Regressão	17511,10	1	17511,10	9,35	3,05	
Resíduos	300795,40	16	18799,71			
Falta de ajuste	278545,40	13	21426,57	2,89	5,22	
Erro puro	22250,00	3	7416,67			
Total	476506,50	17				
$R^2 = 36,88\%$						

*Valores estatisticamente significativos a 90% de significância ($p < 0,10$). Valores codificados = x_1 :
Fibra de trigo.

ANEXO E.3. Coeficientes de regressão e ANOVA para D – 45 min (Número proporcional)

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t(15)	p-valor		
Média	7,17	0,47	15,15	<0,0001		
x ₁ L	3,03	0,54	5,57	<0,0001		
x ₂ L	1,92	0,54	3,53	0,0030		
ANOVA	Soma de Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F _{calculado}	F _{Tabelado}	
Regressão	175,12	2	87,55	21,71	2,52	
Resíduos	60,51	15	4,03			
Falta de ajuste	56,79	12	4,73	3,82	5,23	
Erro puro	3,72	3	1,24			
Total	235,63	17				
R ² = 74,32%						

*Valores estatisticamente significativos a 90% de significância (p<0,10). Valores codificados = x₁: Fibra de trigo; x₂: Fibra de aveia.

ANEXO E.4. Coeficientes de regressão e ANOVA para E – 45 min

(Extensibilidade)

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t(12)	p-valor		
Média	106,53	1,76	60,58	<0,0001		
x ₁ L	-21,64	1,20	-18,05	<0,0001		
x ₁ Q	-3,12	1,22	-2,56	0,0251		
x ₂ L	-17,35	1,20	-14,48	<0,0001		
x ₃ L	2,85	1,20	2,38	0,0351		
x ₃ Q	-2,85	1,22	-2,34	0,0374		
ANOVA	Soma de Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F _{calculado}	F _{Tabelado}	
Regressão	10806,78	5	2161,36	110,26	2,39	
Resíduos	235,22	12	19,60			
Falta de ajuste	148,53	9	16,50	0,57	5,24	
Erro puro	86,69	3	28,90			
Total	11042,00	17				
R ² = 97,87%						

*Valores estatisticamente significativos a 90% de significância (p<0,10). Valores codificados = x₁: Fibra de trigo; x₂: Fibra de aveia; e x₃: Goma acácia.

ANEXO E.5. Coeficientes de regressão e ANOVA para E – 90 min

(Extensibilidade)

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t(13)	p-valor		
Média	96,68	1,65	58,61	<0,0001		
x ₁ L	-15,45	1,43	-10,82	<0,0001		
x ₁ Q	-4,85	1,43	-3,39	0,0048		
x ₂ L	-13,48	1,43	-9,44	<0,0001		
x ₂ x ₃	-5,94	1,86	-3,18	0,0072		
ANOVA	Soma de Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F _{calculado}	F _{Tabelado}	
Regressão	6336,53	4	1584,13	56,97	2,43	
Resíduos	361,47	13	27,81			
Falta de ajuste	324,78	10	32,48	2,66	5,23	
Erro puro	36,69	3	12,23			
Total	6698,00	17				
R ² = 94,60%						

*Valores estatisticamente significativos a 90% de significância (p<0,10). Valores codificados = x₁: Fibra de trigo; x₂: Fibra de aveia; e x₃: Goma acácia.

ANEXO E.6. Coeficientes de regressão e ANOVA para E – 135 min

(Extensibilidade)

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t(11)	p-valor		
Média	82,24	1,68	48,92	<0,0001		
x ₁ L	-16,64	1,15	-14,52	<0,0001		
x ₂ L	-11,84	1,15	-10,33	<0,0001		
x ₂ Q	3,83	1,17	3,28	0,0073		
x ₃ L	2,76	1,15	2,41	0,0347		
x ₃ Q	3,74	1,17	3,21	0,0084		
x ₂ x ₃	-3,44	1,50	-2,30	0,0422		
ANOVA	Soma de Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F _{calculado}	F _{Tabelado}	
Regressão	6208,71	6	1034,79	57,77	2,39	
Resíduos	197,02	11	17,91			
Falta de ajuste	171,02	8	21,38	2,47	5,25	
Erro puro	26,00	3	8,67			
Total	6405,74	17				
R ² = 96,92%						

*Valores estatisticamente significativos a 90% de significância (p<0,10). Valores codificados = x₁: Fibra de trigo; x₂: Fibra de aveia; e x₃: Goma acácia.

ANEXO E.7. Parâmetros extensográficos experimentais, preditos pelo modelo, erros relativos e variáveis codificadas

Amostras	Valores codificados			D – 45 min			E – 45 min (mm)			E – 90 min (mm)			E – 135 min (mm)		
	x ₁	x ₂	x ₃	Vexp	Vpred	ER*(%)	Vexp	Vpred	ER*(%)	Vexp	Vpred	ER*(%)	Vexp	Vpred	ER*(%)
F1	-1	-1	-1	3,5	2,2	36,2	135	137	-1,3	115	100	13,3	121	112	7,0
F2	1	-1	-1	6,8	8,3	-22,0	97	93	3,1	74	69	7,0	75	79	-5,1
F3	-1	1	-1	6,5	6,1	7,4	102	102	0,0	99	115	-16,6	95	95	0,0
F4	1	1	-1	8,4	12,1	-44,7	55	59	-6,9	71	84	-18,2	65	62	4,6
F5	-1	-1	1	2,9	2,2	23,0	137	142	-3,9	128	88	31,4	122	124	-2,0
F6	1	-1	1	6,0	8,3	-37,6	101	99	1,9	94	57	39,1	96	91	5,0
F7	-1	1	1	4,2	6,1	-45,7	103	108	-4,5	95	127	-33,4	97	94	3,2
F8	1	1	1	14,8	12,1	18,4	64	64	0,0	60	96	-61,0	58	61	-4,6
F9	-1,68	0	0	2,7	2,1	22,5	140	134	4,2	105	109	-4,3	107	110	-3,0
F10	1,68	0	0	16,0	12,3	23,2	60	61	-3,1	62	57	7,3	56	54	2,2
F11	0	-1,68	0	3,8	3,9	-2,9	133	136	-2,0	129	74	42,6	110	113	-2,7
F12	0	1,68	0	10,6	10,4	2,1	79	77	2,0	71	119	-68,1	73	73	0,0
F13	0	0	-1,68	9,5	7,2	24,2	94	94	0,0	97	97	0,0	85	88	-3,7
F14	0	0	1,68	5,6	7,2	-28,0	107	103	3,6	97	97	0,0	97	97	0,0
F15	0	0	0	8,3	7,2	13,4	103	107	-3,4	92	97	-5,7	84	82	2,1
F16	0	0	0	5,7	7,2	-26,3	112	107	4,5	97	97	0,0	80	82	-2,8
F17	0	0	0	7,3	7,2	2,4	103	107	-3,4	93	97	-4,5	85	82	3,2
F18	0	0	0	6,5	7,2	-10,0	113	107	5,7	99	97	2,3	79	82	4,1

D: número proporcional; E: extensibilidade; Vexp : valor experimental; Vpred: valor predito pelo modelo com as variáveis codificadas; ER: erro relativo. Valores codificados = x₁: Fibra de trigo; x₂: Fibra de aveia; e x₃: Goma acácia.

* ER = $(V_{exp} - V_{pred}) / V_{exp} \times 100$

ANEXO F.1. Coeficientes de regressão e ANOVA para Tempo de mistura rápida

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t(13)	p-valor	
Média	4,22	0,14	29,35	<0,0001	
x ₁ L	0,27	0,12	2,14	0,0523	
x ₁ L	0,35	0,12	2,83	0,0143	
x ₃ Q	-0,29	0,12	-2,36	0,0349	
x ₂ x ₃	-0,34	0,16	-2,12	0,0543	
ANOVA	Soma de Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F _{calculado}	F _{Tabelado}
Regressão	4,77	4	1,19	5,64	2,43
Resíduos	2,75	13	0,21		
Falta de ajuste	2,25	10	0,23	1,37	5,23
Erro puro	0,49	3	0,16		
Total	7,52	17			
R ² = 63,46%					

*Valores estatisticamente significativos a 90% de significância (p<0,10). Valores codificados = x₁: Fibra de trigo; x₂: Fibra de aveia; e x₃: Goma acácia.

ANEXO F.2. Coeficientes de regressão e ANOVA para Perda no forno

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t(15)	p-valor	
Média	10,31	0,17	62,56	<0,0001	
x ₃ L	0,41	0,19	2,18	0,0452	
x ₂ x ₃	-0,65	0,25	-2,61	0,0197	
ANOVA	Soma de Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F _{calculado}	F _{Tabelado}
Regressão	5,66	2	2,83	5,79	2,70
Resíduos	7,33	15	0,49		
Falta de ajuste	6,25	12	0,52	1,45	5,22
Erro puro	1,08	3	0,36		
Total	12,99	17			
R ² = 43,58%					

*Valores estatisticamente significativos a 90% de significância (p<0,10). Valores codificados = x₂: Fibra de aveia; e x₃: Goma acácia.

ANEXO G.1. Coeficientes de regressão e ANOVA para Volume específico

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t(13)	p-valor	
Média	3,72	0,08	49,40	<0,0001	
x ₁ L	-0,22	0,07	-3,32	0,0055	
x ₁ Q	0,30	0,07	4,58	0,0005	
x ₂ L	-0,28	0,07	-4,25	0,0010	
x ₃ L	-0,16	0,07	-2,48	0,0274	
ANOVA	Soma de Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F_{calculado}	F_{Tabelado}
Regressão	3,27	4	0,82	14,04	2,43
Resíduos	0,76	13	0,06		
Falta de ajuste	0,64	11	0,06	1,47	5,23
Erro puro	0,12	3	0,04		
Total	4,02	17			
R ² = 81,20%					

*Valores estatisticamente significativos a 90% de significância (p<0,10). Valores codificados = x₁:

Fibra de trigo; x₂: Fibra de aveia; e x₃: Goma acácia.

ANEXO G.2. Volume específico: valores experimentais, preditos pelo modelo, erros relativos e variáveis codificadas

Amostras	Valores codificados			Volume específico (mL/g)		
	x ₁	x ₂	x ₃	V _{exp}	V _{pred}	ER*(%)
F1	-1	-1	-1	4,97	4,68	5,77
F2	1	-1	-1	4,60	4,24	7,88
F3	-1	1	-1	4,19	4,12	1,61
F4	1	1	-1	3,61	3,68	-2,04
F5	-1	-1	1	4,44	4,36	1,86
F6	1	-1	1	4,10	3,92	4,34
F7	-1	1	1	3,76	3,80	-1,19
F8	1	1	1	3,30	3,36	-1,86
F9	-1,68	0	0	4,79	4,94	-2,98
F10	1,68	0	0	4,07	4,20	-3,07
F11	0	-1,68	0	3,78	4,19	-10,72
F12	0	1,68	0	3,47	3,25	6,48
F13	0	0	-1,68	3,66	3,99	-9,10
F14	0	0	1,68	3,39	3,45	-1,75
F15	0	0	0	3,87	3,72	3,88
F16	0	0	0	3,91	3,72	4,98
F17	0	0	0	3,47	3,72	-7,09
F18	0	0	0	3,73	3,72	0,28

V_{exp} : valor experimental; V_{pred}: valor predito pelo modelo com as variáveis codificadas; ER: erro relativo. Valores codificados = x₁: Fibra de trigo; x₂: Fibra de aveia; e x₃: Goma acácia.

* ER = ((V_{exp} – V_{pred}) / V_{exp}) x 100

ANEXO G.3. Coeficientes de regressão e ANOVA para Umidade – Dia 1

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t(13)	p-valor		
Média	40,62	0,17	233,59	<0,0001		
x ₁ L	0,94	0,15	6,24	<0,0001		
x ₂ L	1,27	0,15	8,46	<0,0001		
x ₂ Q	-0,35	0,15	-2,32	0,0371		
x ₃ L	-0,58	0,15	-3,86	0,0020		
ANOVA	Soma de Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F _{calculado}	F _{Tabelado}	
Regressão	40,39	4	10,10	32,66	2,43	
Resíduos	4,02	13	0,31			
Falta de ajuste	1,19	10	0,12	0,13	5,23	
Erro puro	2,83	3	0,94			
Total	44,4	17				
R ² = 90,95%						

*Valores estatisticamente significativos a 90% de significância (p<0,10). Valores codificados = x₁: Fibra de trigo; x₂: Fibra de aveia; e x₃: Goma acácia.

ANEXO G.4. Coeficientes de regressão e ANOVA para Umidade – Dia 4

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t(15)	p-valor		
Média	38,03	0,24	160,25	<0,0001		
x ₁ L	1,15	0,27	4,21	0,0008		
x ₂ L	1,65	0,27	6,07	<0,0001		
ANOVA	Soma de Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F _{calculado}	F _{Tabelado}	
Regressão	55,36	2	27,68	27,31	2,70	
Resíduos	15,20	15	1,01			
Falta de ajuste	11,03	12	0,92	0,66	5,22	
Erro puro	4,18	3	1,39			
Total	70,56	17				
R ² = 78,45%						

*Valores estatisticamente significativos a 90% de significância (p<0,10). Valores codificados = x₁: Fibra de trigo; x₂: Fibra de aveia.

ANEXO G.5. Coeficientes de regressão e ANOVA para Umidade – Dia 7

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t(14)	p-valor		
Média	37,15	0,33	112,95	<0,0001		
x ₁ L	1,38	0,28	4,86	0,0003		
x ₂ L	1,75	0,28	6,15	<0,0001		
x ₃ L	-0,71	0,28	-2,51	0,0261		
ANOVA	Soma de Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F _{calculado}	F _{Tabelado}	
Regressão	77,61	3	25,87	25,17	2,52	
Resíduos	14,39	14	1,03			
Falta de ajuste	9,54	11	0,87	0,54	5,23	
Erro puro	4,85	3	1,62			
Total	92,00	17				
R ² = 84,36%						

*Valores estatisticamente significativos a 90% de significância (p<0,10). Valores codificados = x₁:

Fibra de trigo; x₂: Fibra de aveia; e x₃: Goma acácia.

ANEXO G.6. Coeficientes de regressão e ANOVA para Umidade – Dia 10

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t(15)	p-valor		
Média	35,66	0,31	115,74	<0,0001		
x ₁ L	1,08	0,35	3,05	<0,0001		
x ₂ L	1,72	0,35	4,86			
ANOVA	Soma de Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F _{calculado}	F _{Tabelado}	
Regressão	56,36	3	18,79	10,26	2,52	
Resíduos	25,64	14	1,83			
Falta de ajuste	19,32	11	1,76	0,83	5,23	
Erro puro	6,32	3	2,11			
Total	81,99	17				
R ² = 68,74%						

*Valores estatisticamente significativos a 90% de significância (p<0,10). Valores codificados = x₁:

Fibra de trigo; x₂: Fibra de aveia.

ANEXO G.7. Umidade: valores experimentais, preditos pelo modelo, erros relativos e variáveis codificadas

Amostras	Valores codificados			Umidade (%) - Dia 1			Umidade (%) - Dia 4			Umidade (%) - Dia 7		
	x ₁	x ₂	x ₃	Vexp	Vpred	ER*(%)	Vexp	Vpred	ER*(%)	Vexp	Vpred	ER*(%)
F1	-1	-1	-1	38,75	38,63	0,32	35,22	35,23	-0,04	33,55	34,73	-3,51
F2	1	-1	-1	40,47	40,51	-0,10	37,58	37,53	0,13	37,20	37,49	-0,79
F3	-1	1	-1	41,19	41,17	0,04	38,69	38,53	0,41	38,14	38,23	-0,23
F4	1	1	-1	42,58	43,05	-1,10	40,26	40,83	-1,41	39,10	40,99	-4,82
F5	-1	-1	1	36,98	37,47	-1,33	33,93	35,23	-3,83	31,12	33,31	-7,05
F6	1	-1	1	39,16	39,35	-0,49	36,34	37,53	-3,28	35,17	36,07	-2,56
F7	-1	1	1	39,91	40,01	-0,26	38,24	38,53	-0,76	36,65	36,81	-0,44
F8	1	1	1	41,95	41,89	0,14	40,08	40,83	-1,88	38,79	39,57	-2,02
F9	-1,68	0	0	38,75	39,03	-0,72	35,48	36,10	-1,76	34,52	34,83	-0,92
F10	1,68	0	0	42,01	42,19	-0,42	39,93	39,96	-0,08	39,33	39,47	-0,34
F11	0	-1,68	0	37,71	37,49	0,59	35,43	35,26	0,48	34,17	34,21	-0,11
F12	0	1,68	0	41,94	41,76	0,44	40,41	40,80	-0,96	39,09	40,09	-2,55
F13	0	0	-1,68	41,94	41,58	0,84	40,30	38,03	5,63	38,76	38,34	1,08
F14	0	0	1,68	40,20	39,64	1,39	38,54	38,03	1,32	36,69	35,96	2,00
F15	0	0	0	40,56	40,61	-0,13	37,93	38,03	-0,26	37,73	37,15	1,53
F16	0	0	0	39,37	40,61	-3,15	37,22	38,03	-2,17	35,82	37,15	-3,72
F17	0	0	0	41,29	40,61	1,64	39,02	38,03	2,53	38,29	37,15	2,97
F18	0	0	0	41,54	40,61	2,24	39,90	38,03	4,67	38,69	37,15	3,98

Vexp : valor experimental; Vpred: valor predito pelo modelo com as variáveis codificadas; ER: erro relativo. Valores codificados = x₁: Fibra de trigo; x₂: Fibra de aveia; e x₃: Goma acácia.

* ER = $((V_{exp} - V_{pred}) / V_{exp}) \times 100$

ANEXO G.8. Coeficientes de regressão e ANOVA para a_w - Dia 1

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t(13)	p-valor		
Média	0,96	0,0006	1582,47	<0,0001		
x_1L	0,0029	0,0005	5,43	0,0001		
x_2L	0,0043	0,0005	8,09	<0,0001		
x_2Q	-0,0016	0,0005	-3,04	0,0096		
x_1x_2	-0,0018	0,0007	-2,67	0,0192		
ANOVA	Soma de Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	$F_{\text{calculado}}$	F_{Tabelado}	
Regressão	0,00042	4	0,00011	27,79	2,43	
Resíduos	0,000049	13	0,000004			
Falta de ajuste	0,000046	10	0,000005	4,60	5,23	
Erro puro	0,000003	3	0,000001			
Total	0,000468	17				
$R^2 = 89,54\%$						

* Valores estatisticamente significativos a 90% de significância ($p < 0,10$). a_w – atividade de água; Valores codificados = x_1 : Fibra de trigo; x_2 : Fibra de aveia.

ANEXO G.9. Coeficientes de regressão e ANOVA para a_w – Dia 4

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t(13)	p-valor		
Média	0,96	0,0004	2250,37	<0,0001		
x_1L	0,0029	0,0005	6,00	<0,0001		
x_2L	0,0041	0,0005	8,41	<0,0001		
x_3L	-0,0011	0,0005	-2,31	0,0380		
x_1x_2	-0,0024	0,0006	-3,79	0,0023		
ANOVA	Soma de Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	$F_{\text{calculado}}$	F_{Tabelado}	
Regressão	0,00041	4	0,00010	31,80	2,43	
Resíduos	0,000042	13	0,000003			
Falta de ajuste	0,000033	10	0,000003	1,10	5,23	
Erro puro	0,000009	3	0,000003			
Total	0,00045	17				
$R^2 = 90,67\%$						

*Valores estatisticamente significativos a 90% de significância ($p < 0,10$). a_w – atividade de água; Valores codificados = x_1 : Fibra de trigo; x_2 : Fibra de aveia; e x_3 : Goma acácia.

ANEXO G.10. Coeficientes de regressão e ANOVA para a_w – Dia 7

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t(10)	p-valor		
Média	0,96	0,0007	1372,31	<0,0001		
x ₁ L	0,0033	0,0006	5,40	0,0003		
x ₂ L	0,0054	0,0006	8,90	<0,0001		
x ₂ Q	-0,0029	0,0006	-4,81	0,0007		
x ₃ L	-0,0027	0,0006	-4,51	0,0011		
x ₁ x ₂	-0,0020	0,0008	-2,60	0,0268		
x ₁ x ₃	0,0017	0,0008	2,17	0,0551		
x ₂ x ₃	0,0020	0,0008	2,49	0,0321		
ANOVA	Soma de Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F _{calculado}	F _{Tabelado}	
Regressão	0,00085	7	0,00012	27,43	2,41	
Resíduos	0,000044	10	0,000004			
Falta de ajuste	0,000047	7	0,000006	9,00	5,27	
Erro puro	0,000002	3	0,0000007			
Total	0,00089	17				
R ² = 94,49%						

*Valores estatisticamente significativos a 90% de significância (p<0,10). a_w – atividade de água; Valores codificados = x₁: Fibra de trigo; x₂: Fibra de aveia; e x₃: Goma acácia.

ANEXO G.11. Coeficientes de regressão e ANOVA para a_w – Dia 10

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t(12)	p-valor		
Média	0,95	0,0010	994,28	<0,0001		
x ₁ L	0,0039	0,0008	4,68	0,0005		
x ₂ L	0,0057	0,0008	6,89	<0,0001		
x ₂ Q	-0,0017	0,0008	-1,99	0,0703		
x ₃ L	-0,0032	0,0008	-3,90	0,0021		
x ₁ x ₂	-0,0028	0,0011	-2,62	0,0224		
ANOVA	Soma de Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F _{calculado}	F _{Tabelado}	
Regressão	0,00089	5	0,00018	19,14	2,39	
Resíduos	0,00011	12	0,000009			
Falta de ajuste	0,00011	9	0,000012	18,33	5,24	
Erro puro	0,000002	3	0,0000007			
Total	0,0010	17				
R ² = 88,82%						

*Valores estatisticamente significativos a 90% de significância (p<0,10). a_w – atividade de água; Valores codificados = x₁: Fibra de trigo; x₂: Fibra de aveia; e x₃: Goma acácia.

ANEXO G.12. a_w : valores experimentais, preditos pelo modelo, erros relativos e variáveis codificadas

Amostras	Valores codificados			a_w - Dia 1			a_w - Dia 4			a_w - Dia 7			a_w - Dia 10		
	x_1	x_2	x_3	Vexp	Vpred	ER*(%)	Vexp	Vpred	ER*(%)	Vexp	Vpred	ER*(%)	Vexp	Vpred	ER*(%)
F1	-1	-1	-1	0,950	0,953	-0,28	0,949	0,952	-0,28	0,947	0,953	-0,58	0,943	0,939	0,37
F2	1	-1	-1	0,960	0,955	0,50	0,959	0,962	-0,34	0,956	0,960	-0,42	0,955	0,953	0,29
F3	-1	1	-1	0,963	0,958	0,48	0,962	0,965	-0,25	0,959	0,964	-0,44	0,958	0,956	0,15
F4	1	1	-1	0,961	0,967	-0,63	0,959	0,966	-0,70	0,956	0,963	-0,75	0,958	0,958	-0,04
F5	-1	-1	1	0,948	0,953	-0,53	0,947	0,950	-0,26	0,935	0,940	-0,50	0,933	0,933	0,00
F6	1	-1	1	0,957	0,955	0,19	0,956	0,960	-0,43	0,947	0,954	-0,77	0,946	0,946	0,00
F7	-1	1	1	0,958	0,958	0,00	0,957	0,963	-0,54	0,951	0,959	-0,82	0,947	0,950	-0,30
F8	1	1	1	0,963	0,967	-0,42	0,960	0,964	-0,33	0,958	0,965	-0,67	0,950	0,952	-0,21
F9	-1,68	0	0	0,955	0,955	-0,05	0,952	0,955	-0,33	0,951	0,954	-0,36	0,947	0,943	0,41
F10	1,68	0	0	0,964	0,965	-0,06	0,965	0,965	-0,02	0,963	0,966	-0,23	0,961	0,957	0,50
F11	0	-1,68	0	0,948	0,948	0,01	0,948	0,953	-0,50	0,938	0,943	-0,47	0,935	0,936	-0,06
F12	0	1,68	0	0,965	0,963	0,24	0,965	0,967	-0,20	0,959	0,961	-0,23	0,961	0,955	0,58
F13	0	0	-1,68	0,963	0,960	0,35	0,958	0,962	-0,40	0,958	0,965	-0,72	0,952	0,955	-0,39
F14	0	0	1,68	0,961	0,960	0,10	0,954	0,958	-0,44	0,952	0,955	-0,40	0,948	0,945	0,32
F15	0	0	0	0,960	0,960	0,00	0,960	0,960	0,00	0,956	0,960	-0,42	0,952	0,950	0,21
F16	0	0	0	0,959	0,960	-0,10	0,956	0,960	-0,38	0,955	0,960	-0,52	0,953	0,950	0,31
F17	0	0	0	0,961	0,960	0,07	0,956	0,960	-0,45	0,955	0,960	-0,49	0,952	0,950	0,16
F18	0	0	0	0,961	0,960	0,14	0,957	0,960	-0,35	0,957	0,960	-0,31	0,951	0,950	0,11

a_w – atividade de água; Vexp : valor experimental; Vpred: valor predito pelo modelo com as variáveis codificadas; ER: erro relativo. Valores codificados = x_1 : Fibra de trigo; x_2 : Fibra de aveia; e x_3 : Goma acácia. * ER = $(V_{exp} - V_{pred}) / V_{exp} \times 100$

ANEXO G.13. Coeficientes de regressão e ANOVA para Firmeza – Dia 1

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t(14)	p-valor
Média	252,95	11,84	21,37	<0,0001
x ₁ L	30,39	10,25	2,97	0,0102
x ₂ L	42,74	10,25	4,17	0,0009
x ₂ Q	30,27	10,25	2,95	0,0105

ANOVA	Soma de Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F _{calculado}	F _{Tabelado}
Regressão	50055,8	3	16685,27	11,64	2,52
Resíduos	20068,57	14	1433,47		
Falta de ajuste	16256,04	11	1477,82	1,16	5,23
Erro puro	3812,53	3	1270,84		
Total	70124,37	17			
R ² = 71,38%					

*Valores estatisticamente significativos a 90% de significância (p<0,10). Valores codificados = x₁: Fibra de trigo; x₂: Fibra de aveia.

ANEXO G.14. Coeficientes de regressão para Firmeza – Dia 4

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t(8)	p-valor
Média	472,47	54,93	8,60	<0,0001

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

ANEXO G.15. Coeficientes de regressão e ANOVA para Firmeza – Dia 7

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t(8)	p-valor
Média	577,16	68,76	8,39	<0,0001

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

ANEXO G.16. Coeficientes de regressão e ANOVA para Firmeza – Dia 10

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t(14)	p-valor	
Média	792,82	20,10	39,43	<0,0001	
x ₂ Q	48,21	17,41	2,77	0,0151	
x ₁ x ₂	87,32	22,74	3,84	0,0018	
x ₂ x ₃	49,90	22,74	2,19	0,0455	
ANOVA	Soma de Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F_{calculado}	F_{Tabelado}
Regressão	112610,2	3	37536,7	9,08	2,52
Resíduos	57833,2	14	4134,5		
Falta de ajuste	56738,6	11	5158,06	13,52	5,23
Erro puro	1144,6	3	381,53		
Total	170493,3	17			
R ² = 66,05%					

*Valores estatisticamente significativos a 90% de significância (p<0,10). Valores codificados = x₁:

Fibra de trigo; x₂: Fibra de aveia; e x₃: Goma acácia.

ANEXO G.17. Firmeza: valores experimentais, preditos pelo modelo, erros relativos e variáveis codificadas

Amostras	Valores codificados			Firmeza (gf) – Dia 1		
	x ₁	x ₂	x ₃	V _{exp}	V _{pred}	ER*(%)
F1	-1	-1	-1	209,04	210,09	-0,50
F2	1	-1	-1	238,62	270,87	-13,52
F3	-1	1	-1	288,63	295,57	-2,41
F4	1	1	-1	396,70	356,35	10,17
F5	-1	-1	1	193,90	210,09	-8,35
F6	1	-1	1	234,24	270,87	-15,64
F7	-1	1	1	303,66	295,57	2,66
F8	1	1	1	404,43	356,35	11,89
F9	-1,68	0	0	206,13	201,89	2,05
F10	1,68	0	0	287,16	304,01	-5,87
F11	0	-1,68	0	318,31	266,58	16,25
F12	0	1,68	0	357,59	410,19	-14,71
F13	0	0	-1,68	292,33	252,95	13,47
F14	0	0	1,68	287,89	252,95	12,14
F15	0	0	0	200,25	252,95	-26,32
F16	0	0	0	267,56	252,95	5,46
F17	0	0	0	267,49	252,95	5,44
F18	0	0	0	212,53	252,95	-19,02

V_{exp} : valor experimental; V_{pred}: valor predito pelo modelo com as variáveis codificadas; ER: erro relativo. Valores codificados = x₁: Fibra de trigo; x₂: Fibra de aveia; e x₃: Goma acácia.

* ER = ((V_{exp} – V_{pred}) / V_{exp}) x 100

ANEXO G.18. Coeficientes de regressão e ANOVA para valor L* – Dia 1

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t(16)	p-valor		
Média	75,97	0,25	308,27	<0,0001		
x ₁ L	-0,65	0,28	-2,29	0,0359		
ANOVA	Soma de Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F _{calculado}	F _{Tabelado}	
Regressão	5,74	1	5,73	5,24	3,05	
Resíduos	17,49	16	1,09			
Falta de ajuste	13,03	13	1,00	0,688	5,22	
Erro puro	4,46	3	1,49			
Total	23,22	17				
R ² = 24,69%						

*Valores estatisticamente significativos a 90% de significância (p<0,10). Valores codificados = x₁: Fibra de trigo.

ANEXO G.19. Coeficientes de regressão e ANOVA para valor L* – Dia 4

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t(14)	p-valor		
Média	76,75	0,25	312,41	<0,0001		
x ₁ L	-0,81	0,21	-3,80	0,0020		
x ₂ L	-0,72	0,21	-3,40	0,0043		
x ₃ Q	-0,52	0,21	-2,44	0,0286		
ANOVA	Soma de Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F _{calculado}	F _{Tabelado}	
Regressão	19,71	3	6,57	10,64	2,52	
Resíduos	8,64	14	0,62			
Falta de ajuste	7,42	11	0,68	1,66	5,23	
Erro puro	1,22	3	0,41			
Total	28,35	17				
R ² = 69,52%						

*Valores estatisticamente significativos a 90% de significância (p<0,10). Valores codificados = x₁: Fibra de trigo; x₂: Fibra de aveia; e x₃: Goma acácia.

ANEXO G.20. Coeficientes de regressão e ANOVA para valor L* – Dia 7

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t(16)	p-valor		
Média	76,24	0,26	298,42	<0,0001		
x ₁ L	-0,69	0,29	-2,34	0,0326		
ANOVA	Soma de Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F _{calculado}	F _{Tabelado}	
Regressão	6,43	1	6,43	5,47	3,05	
Resíduos	18,80	16	1,18			
Falta de ajuste	17,46	13	1,34	3,01	5,22	
Erro puro	1,34	3	0,44			
Total	25,23	17				
R ² = 25,49%						

*Valores estatisticamente significativos a 90% de significância (p<0,10). Valores codificados = x₁: Fibra de trigo.

ANEXO G.21. Coeficientes de regressão e ANOVA para valor L* – Dia 10

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t(13)	p-valor		
Média	77,20	0,37	206,96	<0,0001		
x ₁ L	-0,81	0,25	-3,19	0,0072		
x ₁ Q	-0,65	0,26	-2,52	0,0257		
x ₂ L	-0,84	0,25	-3,29	0,0059		
x ₃ Q	-0,63	0,26	-2,44	0,0298		
ANOVA	Soma de Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F _{calculado}	F _{Tabelado}	
Regressão	27,74	4	6,93	7,86	2,43	
Resíduos	11,48	13	0,88			
Falta de ajuste	7,19	10	0,72	0,50	5,23	
Erro puro	4,28	3	1,43			
Total	39,22	17				
R ² = 70,74%						

*Valores estatisticamente significativos a 90% de significância (p<0,10). Valores codificados = x₁: Fibra de trigo; x₂: Fibra de aveia; e x₃: Goma acácia.

ANEXO G.22. L*: valores experimentais, preditos pelo modelo, erros relativos e variáveis codificadas

Amostras	Valores codificados			valor L* - Dia 10		
	X ₁	X ₂	X ₃	V _{exp}	V _{pred}	ER*(%)
F1	-1	-1	-1	75,88	77,57	-2,23
F2	1	-1	-1	76,90	75,95	1,24
F3	-1	1	-1	76,27	75,89	0,49
F4	1	1	-1	73,86	74,27	-0,55
F5	-1	-1	1	77,47	77,57	-0,13
F6	1	-1	1	76,37	75,95	0,55
F7	-1	1	1	75,40	75,89	-0,65
F8	1	1	1	74,11	74,27	-0,22
F9	-1,68	0	0	77,72	76,73	1,28
F10	1,68	0	0	73,39	74,00	-0,84
F11	0	-1,68	0	79,16	78,61	0,70
F12	0	1,68	0	76,53	75,79	0,97
F13	0	0	-1,68	75,35	75,42	-0,10
F14	0	0	1,68	75,88	75,42	0,60
F15	0	0	0	76,44	77,20	-0,99
F16	0	0	0	78,50	77,20	1,66
F17	0	0	0	75,70	77,20	-1,98
F18	0	0	0	77,19	77,20	-0,01

V_{exp} : valor experimental; V_{pred}: valor predito pelo modelo com as variáveis codificadas; ER: erro relativo. Valores codificados = x₁: Fibra de trigo; x₂: Fibra de aveia; e x₃: Goma acácia.

* ER = ((V_{exp} – V_{pred}) / V_{exp}) x 100

ANEXO G.23. Coeficientes de regressão e ANOVA para valor a* – Dia 1

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t(11)	p-valor		
Média	0,59	0,05	12,26	<0,0001		
x ₁ L	0,088	0,03	2,68	0,0216		
x ₂ Q	0,10	0,03	2,98	0,0126		
x ₃ L	0,091	0,03	2,77	0,0182		
x ₃ Q	0,067	0,03	2,01	0,0694		
x ₁ x ₂	0,15	0,04	3,59	0,0043		
x ₁ x ₃	-0,088	0,04	-2,03	0,0668		
ANOVA	Soma de Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F _{calculado}	F _{Tabelado}	
Regressão	0,64	6	0,11	7,17	2,39	
Resíduos	0,16	11	0,015			
Falta de ajuste	0,15	8	0,019	6,05	5,25	
Erro puro	0,0095	3	0,0032			
Total	0,80	17				
R ² = 79,64%						

*Valores estatisticamente significativos a 90% de significância (p<0,10). Valores codificados = x₁: Fibra de trigo; x₂: Fibra de aveia; e x₃: Goma acácia.

ANEXO G.24. Coeficientes de regressão e ANOVA para valor a* – Dia 4

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t(16)	p-valor		
Média	0,68	0,04	17,22	<0,0001		
x ₁ L	0,17	0,05	3,69	0,0020		
ANOVA	Soma de Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F _{calculado}	F _{Tabelado}	
Regressão	0,38	1	0,38	13,62	3,05	
Resíduos	0,45	16	0,028			
Falta de ajuste	0,41	13	0,032	2,59	5,22	
Erro puro	0,037	3	0,012			
Total	0,83	17				
R ² = 46,00%						

*Valores estatisticamente significativos a 90% de significância (p<0,10). Valores codificados = x₁: Fibra de trigo.

ANEXO G.25. Coeficientes de regressão e ANOVA para valor a* – Dia 7

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t(14)	p-valor		
Média	0,71	0,034	20,80	<0,0001		
x ₁ L	0,16	0,029	5,30	0,0001		
x ₂ L	0,094	0,029	3,17	0,0068		
x ₂ Q	0,11	0,029	3,66	0,0026		
ANOVA	Soma de Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F _{calculado}	F _{Tabelado}	
Regressão	0,61	3	0,20	17,20	2,52	
Resíduos	0,17	14	0,012			
Falta de ajuste	0,12	11	0,011	0,74	5,23	
Erro puro	0,044	3	0,015			
Total	0,78	17				
R ² = 78,66%						

*Valores estatisticamente significativos a 90% de significância (p<0,10). Valores codificados = x₁: Fibra de trigo; x₂: Fibra de aveia.

ANEXO G.26. Coeficientes de regressão e ANOVA para valor a* – Dia 10

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t(12)	p-valor		
Média	0,67	0,047	13,65	<0,0001		
x ₁ L	0,13	0,032	4,00	0,0018		
x ₂ L	0,084	0,032	2,62	0,0223		
x ₂ Q	0,13	0,033	3,91	0,0021		
x ₃ Q	0,092	0,033	2,83	0,0153		
x ₁ x ₂	0,093	0,042	2,22	0,0466		
ANOVA	Soma de Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F _{calculado}	F _{Tabelado}	
Regressão	0,67	5	0,14	9,56	2,39	
Resíduos	0,17	12	0,014			
Falta de ajuste	0,16	9	0,017	4,14	5,24	
Erro puro	0,013	3	0,0042			
Total	0,84	17				
R ² = 79,93%						

*Valores estatisticamente significativos a 90% de significância (p<0,10). Valores codificados = x₁: Fibra de trigo; x₂: Fibra de aveia; e x₃: Goma acácia.

ANEXO G.27. a*: valores experimentais, preditos pelo modelo, erros relativos e variáveis codificadas

Amostras	Valores codificados			valor a* - Dia 7			valor a* - Dia 10		
	x ₁	x ₂	x ₃	V _{exp}	V _{pred}	ER*(%)	V _{exp}	V _{pred}	ER*(%)
F1	-1	-1	-1	0,61	0,57	6,45	0,75	0,74	0,87
F2	1	-1	-1	0,71	0,89	-25,67	0,78	0,82	-5,16
F3	-1	1	-1	0,76	0,75	1,11	0,73	0,72	1,30
F4	1	1	-1	1,15	1,07	6,41	1,31	1,17	10,76
F5	-1	-1	1	0,57	0,57	-0,18	0,66	0,74	-11,85
F6	1	-1	1	0,90	0,89	1,01	0,81	0,82	-1,24
F7	-1	1	1	0,81	0,75	7,20	0,91	0,72	20,55
F8	1	1	1	1,20	1,07	10,69	1,25	1,17	6,29
F9	-1,68	0	0	0,39	0,44	-13,86	0,48	0,42	11,71
F10	1,68	0	0	0,94	0,98	-4,13	0,88	0,86	1,90
F11	0	-1,68	0	0,95	0,86	8,97	0,97	0,87	10,97
F12	0	1,68	0	1,02	1,18	-15,53	0,94	1,15	-22,46
F13	0	0	-1,68	0,64	0,71	-10,51	0,76	0,90	-19,16
F14	0	0	1,68	0,85	0,71	15,98	0,96	0,90	5,79
F15	0	0	0	0,66	0,71	-7,17	0,68	0,64	5,54
F16	0	0	0	0,77	0,71	7,79	0,64	0,64	0,39
F17	0	0	0	0,79	0,71	9,84	0,54	0,64	-19,63
F18	0	0	0	0,52	0,71	-35,89	0,57	0,64	-11,79

V_{exp} : valor experimental; V_{pred}: valor predito pelo modelo com as variáveis codificadas; ER: erro relativo. Valores codificados = x₁: Fibra de trigo; x₂: Fibra de aveia; e x₃: Goma acácia.

* ER = ((V_{exp} – V_{pred}) / V_{exp}) x 100

ANEXO G.28. Coeficientes de regressão e ANOVA para valor b* – Dia 1

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t(14)	p-valor		
Média	17,17	0,12	146,,62	<0,0001		
x ₁ L	0,30	0,13	2,23	0,0427		
x ₂ L	0,79	0,13	5,88	<0,0001		
x ₃ L	0,25	0,13	1,87	0,0824		
ANOVA	Soma de Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F _{calculado}	F _{Tabelado}	
Regressão	10,62	3	3,54	14,34	4,49	
Resíduos	3,46	14	0,25			
Falta de ajuste	3,41	11	0,31	19,01	5,23	
Erro puro	0,049	3	0,016			
Total	14,07	17				
R ² = 75,49%						

*Valores estatisticamente significativos a 90% de significância (p<0,10). Valores codificados = x₁: Fibra de trigo; x₂: Fibra de aveia; e x₃: Goma acácia.

ANEXO G.29. Coeficientes de regressão e ANOVA para valor b* – Dia 4

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t(14)	p-valor		
Média	17,06	0,12	144,93	<0,0001		
x ₁ L	0,38	0,14	2,80	0,0142		
x ₂ L	0,65	0,14	4,78	0,0003		
x ₃ L	0,39	0,14	2,85	0,0128		
ANOVA	Soma de Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F _{calculado}	F _{Tabelado}	
Regressão	9,68	3	3,23	12,93	2,52	
Resíduos	3,49	14	0,25			
Falta de ajuste	2,98	11	0,27	1,60	5,23	
Erro puro	0,51	3	0,17			
Total	13,17	17				
R ² = 73,48%						

*Valores estatisticamente significativos a 90% de significância (p<0,10). Valores codificados = x₁: Fibra de trigo; x₂: Fibra de aveia; e x₃: Goma acácia.

ANEXO G.30. Coeficientes de regressão e ANOVA para valor b* – Dia 7

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t(14)	p-valor		
Média	17,11	0,13	136,11	<0,0001		
x ₁ L	0,34	0,11	3,09	0,0080		
x ₂ L	0,64	0,11	5,92	<0,0001		
x ₂ Q	0,27	0,11	2,60	0,0275		
ANOVA	Soma de Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F _{calculado}	F _{Tabelado}	
Regressão	8,19	3	2,73	16,89	2,52	
Resíduos	2,26	14	0,16			
Falta de ajuste	1,90	11	0,17	1,43	5,23	
Erro puro	0,36	3	0,12			
Total	10,45	17				
R ² = 78,35%						

*Valores estatisticamente significativos a 90% de significância (p<0,10). Valores codificados = x₁: Fibra de trigo; x₂: Fibra de aveia; e x₃: Goma acácia.

ANEXO G.31. Coeficientes de regressão e ANOVA para valor b* – Dia 10

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t(16)	p-valor		
Média	17,33	0,13	131,74	<0,0001		
x ₂ L	0,59	0,15	3,84	0,0011		
ANOVA	Soma de Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F _{calculado}	F _{Tabelado}	
Regressão	5,42	1	5,42	19,99	3,05	
Resíduos	4,34	16	0,27			
Falta de ajuste	4,05	13	0,31	3,24	5,22	
Erro puro	0,29	3	0,096			
Total	9,76	17				
R ² = 55,54%						

*Valores estatisticamente significativos a 90% de significância (p<0,10). Valores codificados = x₂: Fibra de aveia.

ANEXO G.32. b*: valores experimentais, preditos pelo modelo, erros relativos e variáveis codificadas

Amostras	Valores codificados			valor b* - Dia 4			valor b* - Dia 7		
	x ₁	x ₂	x ₃	Vexp	Vpred	ER*(%)	Vexp	Vpred	ER*(%)
F1	-1	-1	-1	15,93	15,64	1,81	16,62	16,40	1,29
F2	1	-1	-1	16,06	16,40	-2,10	16,52	17,08	-3,39
F3	-1	1	-1	17,57	16,94	3,56	17,64	17,68	-0,24
F4	1	1	-1	17,88	17,70	0,98	18,46	18,36	0,54
F5	-1	-1	1	15,86	16,42	-3,51	16,31	16,40	-0,58
F6	1	-1	1	16,97	17,18	-1,24	17,02	17,08	-0,35
F7	-1	1	1	18,26	17,72	2,96	18,12	17,68	2,40
F8	1	1	1	18,49	18,48	0,07	18,72	18,36	1,91
F9	-1,68	0	0	15,94	16,42	-3,02	16,24	16,54	-1,82
F10	1,68	0	0	17,95	17,70	1,42	17,76	17,68	0,43
F11	0	-1,68	0	16,55	15,97	3,53	17,11	16,80	1,80
F12	0	1,68	0	17,41	18,15	-4,25	18,49	18,95	-2,49
F13	0	0	-1,68	16,48	16,40	0,44	17,02	17,11	-0,56
F14	0	0	1,68	18,33	17,72	0,34	17,91	17,11	4,48
F15	0	0	0	17,18	17,06	0,70	17,08	17,11	-0,16
F16	0	0	0	16,73	17,06	-1,97	16,91	17,11	-1,20
F17	0	0	0	17,21	17,06	0,84	17,25	17,11	0,81
F18	0	0	0	16,34	17,06	-4,41	16,44	17,11	-4,06

Vexp : valor experimental; Vpred: valor predito pelo modelo com as variáveis codificadas; ER: erro relativo. Valores codificados = x₁: Fibra de trigo; x₂: Fibra de aveia; e x₃: Goma acácia.

* ER = $((V_{exp} - V_{pred}) / V_{exp}) \times 100$

ANEXO G.33. Coeficientes de regressão e ANOVA para ΔE – Dia 1

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t(15)	p-valor		
Média	3,94	0,21	18,41	<0,0001		
x ₁ L	0,70	0,25	2,86	0,0120		
x ₂ L	0,92	0,25	3,76	0,0019		
ANOVA	Soma de Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F _{calculado}	F _{Tabelado}	
Regressão	18,36	2	9,18	11,15	2,70	
Resíduos	12,34	15	0,82			
Falta de ajuste	9,04	12	0,75	0,68	5,22	
Erro puro	3,31	3	1,10			
Total	30,70	17				
R ² = 59,79%						

*Valores estatisticamente significativos a 90% de significância (p<0,10). Valores codificados = x₁: Fibra de trigo; x₂: Fibra de aveia.

ANEXO G.34. Coeficientes de regressão e ANOVA para ΔE – Dia 4

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t(13)	p-valor		
Média	2,39	0,21	11,33	<0,0001		
x ₁ L	0,86	0,18	4,71	0,0004		
x ₂ L	0,83	0,18	4,57	0,0005		
x ₃ L	0,43	0,18	2,37	0,0341		
x ₃ Q	0,49	0,18	2,70	0,0183		
ANOVA	Soma de Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F _{calculado}	F _{Tabelado}	
Regressão	25,38	4	6,35	13,97	2,43	
Resíduos	5,90	13	0,45			
Falta de ajuste	4,78	10	0,48	1,27	5,23	
Erro puro	1,13	3	0,38			
Total	31,29	17				
R ² = 81,13%						

*Valores estatisticamente significativos a 90% de significância (p<0,10). Valores codificados = x₁: Fibra de trigo; x₂: Fibra de aveia; e x₃: Goma acácia.

ANEXO G.35. Coeficientes de regressão e ANOVA para ΔE – Dia 7

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t(15)	p-valor	
Média	3,29	0,17	19,92	<0,0001	
x ₁ L	0,60	0,19	3,18	0,0062	
x ₂ L	0,76	0,19	4,02	0,0011	
ANOVA	Soma de Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F_{calculado}	F_{Tabelado}
Regressão	12,88	2	6,44	13,14	2,70
Resíduos	7,35	15	0,49		
Falta de ajuste	6,59	12	0,55	2,16	5,22
Erro puro	0,76	3	0,26		
Total	20,24	17			
R ² = 63,67%					

*Valores estatisticamente significativos a 90% de significância (p<0,10). Valores codificados = x₁: Fibra de trigo; x₂: Fibra de aveia.

ANEXO G.36. Coeficientes de regressão e ANOVA para ΔE – Dia 10

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t(14)	p-valor	
Média	3,37	0,31	10,93	<0,0001	
x ₁ L	0,83	0,27	3,11	0,0077	
x ₂ L	0,94	0,27	3,51	0,0035	
x ₃ Q	0,50	0,27	1,89	0,0804	
ANOVA	Soma de Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F_{calculado}	F_{Tabelado}
Regressão	24,78	3	8,26	8,50	2,52
Resíduos	13,60	14	0,97		
Falta de ajuste	10,75	11	0,98	1,03	5,23
Erro puro	2,86	3	0,95		
Total	38,38	17			
R ² = 64,56%					

*Valores estatisticamente significativos a 90% de significância (p<0,10). Valores codificados = x₁: Fibra de trigo; x₂: Fibra de aveia; e x₃: Goma acácia.

ANEXO G.37. ΔE : valores experimentais, preditos pelo modelo, erros relativos e variáveis codificadas

Amostras	Valores codificados			ΔE - Dia 4		
	x_1	x_2	x_3	Vexp	Vpred	ER*(%)
F1	-1	-1	-1	1,48	0,75	49,31
F2	1	-1	-1	1,60	2,47	-54,45
F3	-1	1	-1	2,54	2,41	5,22
F4	1	1	-1	4,35	4,13	5,12
F5	-1	-1	1	1,44	1,61	-12,02
F6	1	-1	1	3,40	3,33	2,06
F7	-1	1	1	3,98	3,27	17,83
F8	1	1	1	5,97	4,99	16,36
F9	-1,68	0	0	0,77	0,94	-21,90
F10	1,68	0	0	4,24	3,82	9,86
F11	0	-1,68	0	1,29	0,99	23,67
F12	0	1,68	0	2,75	3,77	-37,40
F13	0	0	-1,68	3,15	3,04	3,50
F14	0	0	1,68	3,80	4,49	-18,14
F15	0	0	0	3,12	2,38	23,73
F16	0	0	0	2,02	2,38	-17,66
F17	0	0	0	2,08	2,38	-14,62
F18	0	0	0	1,71	2,38	-38,82

ΔE : Diferença total de cor; Vexp : valor experimental; Vpred: valor predito pelo modelo com as variáveis codificadas; ER: erro relativo. Valores codificados = x_1 : Fibra de trigo; x_2 : Fibra de aveia; e x_3 : Goma acácia.

* ER = $(V_{exp} - V_{pred}) / V_{exp} \times 100$

ANEXO H.1. Parâmetros farinográficos de FF, FR1, FR2 e FC experimentais, preditos pelo modelo, erros relativos e variáveis codificadas

Amostras	Valores codificados			Abs.(%)			TC (min)			TD (min)			TS (min)		
	x ₁	x ₂	x ₃	Vexp	Vpred	ER*(%)	Vexp	Vpred	ER*(%)	Vexp	Vpred	ER*(%)	Vexp	Vpred	ER*(%)
FF	-1,68	-1,68	-0,84	54,2	57,7	-6,6	2,1	-1,9	189,3	9,0	8,0	11,2	14,4	13,3	7,6
FR1	-1,68	0,34	-0,84	59,8	63,6	-6,5	2,4	3,6	-54,0	9,8	7,7	20,8	14,5	11,9	18,1
FR2	-1,34	-0,34	-0,84	59,1	62,4	-5,6	2,3	2,4	-4,9	9,3	8,0	13,1	14,3	11,6	18,6
FC	-1,68	-1,68	-1,68	55,3	59,5	-7,7	1,2	-4,8	513,4	5,5	9,2	-68,0	12,5	15,3	-22,4

Abs.: absorção de água; TC: tempo de chegada; TD: tempo de desenvolvimento da massa; Vexp : valor experimental; Vpred: valor predito pelo modelo com as variáveis codificadas; ER: erro relativo. Valores codificados = x₁: Fibra de trigo; x₂: Fibra de aveia; e x₃: Goma acácia.

$$* ER = ((Vexp - Vpred) / Vexp) \times 100$$

ANEXO H.2. Parâmetros extensográficos de FF, FR1, FR2 e FC experimentais, preditos pelo modelo, erros relativos e variáveis codificadas

Amostras	Valores codificados			D – 45 min			E – 45 min (mm)			E – 90 min (mm)			E – 135 min (mm)		
	x ₁	x ₂	x ₃	Vexp	Vpred	ER*(%)	Vexp	Vpred	ER*(%)	Vexp	Vpred	ER*(%)	Vexp	Vpred	ER*(%)
FF	-1,68	-1,68	-0,84	3,4	-1,1	133,5	148	163	-10,5	128	86	32,4	119	141	-18,1
FR1	-1,68	0,34	-0,84	5,0	2,7	45,4	124	128	-3,6	98	114	-15,8	92	107	-16,3
FR2	-1,34	-0,34	-0,84	6,2	2,5	60,4	110	136	-23,9	102	104	-2,4	85	109	-27,7
FC	-1,68	-1,68	-1,68	4,7	-1,1	124,2	140	150	-7,9	117	103	11,5	122	137	-12,4

D: número proporcional; E: extensibilidade; Vexp : valor experimental; Vpred: valor predito pelo modelo com as variáveis codificadas; ER: erro relativo. Valores codificados = x₁: Fibra de trigo; x₂: Fibra de aveia; e x₃: Goma acácia.

$$* ER = ((Vexp - Vpred) / Vexp) \times 100$$

ANEXO I.1. Volume específico de FF, FR1, FR2 e FC: valores experimentais, preditos pelo modelo, erros relativos e variáveis codificadas

Amostras	Valores codificados			Volume específico (mL/g)		
	x ₁	x ₂	x ₃	V _{exp}	V _{pred}	ER*(%)
FF	-1,68	-1,68	-0,84	4,60	5,54	-20,50
FR1	-1,68	0,34	-0,84	4,32	4,98	-15,16
FR2	-1,34	-0,34	-0,84	4,47	4,78	-6,90
FC	-1,68	-1,68	-1,68	4,94	5,68	-14,93

V_{exp} : valor experimental; V_{pred}: valor predito pelo modelo com as variáveis codificadas; ER: erro relativo. Valores codificados = x₁: Fibra de trigo; x₂: Fibra de aveia; e x₃: Goma acácia.

* ER = $(V_{exp} - V_{pred}) / V_{exp} \times 100$

ANEXO I.2. Umidade de FF, FR1, FR2 e FC: valores experimentais, preditos pelo modelo, erros relativos e variáveis codificadas

Amostras	Valores codificados			Umidade (%) - Dia 1			Umidade (%) - Dia 4			Umidade (%) - Dia 7		
	x ₁	x ₂	x ₃	Vexp	Vpred	ER*(%)	Vexp	Vpred	ER*(%)	Vexp	Vpred	ER*(%)
FF	-1,68	-1,68	-0,84	36,25	36,40	-0,41	33,55	33,33	0,66	32,53	32,49	0,13
FR1	-1,68	0,34	-0,84	38,94	39,91	-2,49	36,98	36,66	0,88	35,97	36,02	-0,14
FR2	-1,34	-0,34	-0,84	38,76	39,37	-1,57	36,48	35,93	1,51	35,32	35,30	0,04
FC	-1,68	-1,68	-1,68	38,40	36,88	3,95	35,37	33,33	7,36	34,07	33,08	2,88

Vexp : valor experimental; Vpred: valor predito pelo modelo com as variáveis codificadas; ER: erro relativo. Valores codificados = x₁: Fibra de trigo; x₂: Fibra de aveia; e x₃: Goma acácia. * ER = $(V_{exp} - V_{pred}) / V_{exp} \times 100$

ANEXO I.3. a_w de FF, FR1, FR2 e FC: valores experimentais, preditos pelo modelo, erros relativos e variáveis codificadas

Amostras	Valores codificados			a _w - Dia 1			a _w - Dia 4			a _w - Dia 7			a _w - Dia 10		
	x ₁	x ₂	x ₃	Vexp	Vpred	ER*(%)	Vexp	Vpred	ER*(%)	Vexp	Vpred	ER*(%)	Vexp	Vpred	ER*(%)
FF	-1,68	-1,68	-0,84	0,943	0,948	-0,54	0,943	0,942	0,03	0,934	0,939	-0,50	0,934	0,924	1,09
FR1	-1,68	0,34	-0,84	0,953	0,955	-0,28	0,951	0,959	-0,86	0,951	0,961	-1,11	0,946	0,949	-0,33
FR2	-1,34	-0,34	-0,84	0,952	0,955	-0,35	0,952	0,955	-0,27	0,947	0,957	-1,08	0,945	0,944	0,13
FC	-1,68	-1,68	-1,68	0,950	0,948	0,13	0,950	0,943	0,70	0,943	0,947	-0,34	0,943	0,927	1,68

Vexp : valor experimental; Vpred: valor predito pelo modelo com as variáveis codificadas; ER: erro relativo. Valores codificados = x₁: Fibra de trigo; x₂: Fibra de aveia; e x₃: Goma acácia. * ER = $(V_{exp} - V_{pred}) / V_{exp} \times 100$

ANEXO I.4. Firmeza de FF, FR1, FR2 e FC: valores experimentais, preditos pelo modelo, erros relativos e variáveis codificadas

Amostras	Valores codificados			Firmeza (gf) – Dia 1		
	x ₁	x ₂	x ₃	V _{exp}	V _{pred}	ER*(%)
FF	-1,68	-1,68	-0,84	299,41	215,53	28,02
FR1	-1,68	0,34	-0,84	302,83	215,53	27,38
FR2	-1,34	-0,34	-0,84	287,90	219,93	30,12
FC	-1,68	-1,68	-1,68	302,15	215,53	28,67

V_{exp} : valor experimental; V_{pred}: valor predito pelo modelo com as variáveis codificadas; ER: erro relativo. Valores codificados = x₁: Fibra de trigo; x₂: Fibra de aveia; e x₃: Goma acácia.

$$* ER = ((V_{exp} - V_{pred}) / V_{exp}) \times 100$$

ANEXO I.5. Valor L* de FF, FR1, FR2 e FC: valores experimentais, preditos pelo modelo, erros relativos e variáveis codificadas

Amostras	Valores codificados			valor L* - Dia 10		
	x ₁	x ₂	x ₃	V _{exp}	V _{pred}	ER*(%)
FF	-1,68	-1,68	-0,84	79,97	77,69	2,84
FR1	-1,68	0,34	-0,84	77,87	76,00	2,41
FR2	-1,34	-0,34	-0,84	78,69	76,96	2,19
FC	-1,68	-1,68	-1,68	78,56	76,36	2,80

V_{exp} : valor experimental; V_{pred}: valor predito pelo modelo com as variáveis codificadas; ER: erro relativo. Valores codificados = x₁: Fibra de trigo; x₂: Fibra de aveia; e x₃: Goma acácia.

$$* ER = ((V_{exp} - V_{pred}) / V_{exp}) \times 100$$

ANEXO I.6. Valor a* de FF, FR1, FR2 e FC: valores experimentais, preditos pelo modelo, erros relativos e variáveis codificadas

Amostras	Valores codificados			a* - Dia 7			a* - Dia 10		
	x ₁	x ₂	x ₃	Vexp	Vpred	ER*(%)	Vexp	Vpred	ER*(%)
FF	-1,68	-1,68	-0,84	0,60	0,59	0,63	1,15	0,97	15,05
FR1	-1,68	0,34	-0,84	0,60	0,49	19,36	1,10	0,48	56,44
FR2	-1,34	-0,34	-0,84	0,46	0,48	-3,00	1,05	0,56	46,84
FC	-1,68	-1,68	-1,68	0,58	0,59	-2,81	0,94	1,17	-25,08

Vexp : valor experimental; Vpred: valor predito pelo modelo com as variáveis codificadas; ER: erro relativo. Valores codificados = x₁: Fibra de trigo; x₂: Fibra de aveia; e x₃: Goma acácia.

$$* ER = ((Vexp - Vpred) / Vexp) \times 100$$

ANEXO I.7. Valor b* de FF, FR1, FR2 e FC: valores experimentais, preditos pelo modelo, erros relativos e variáveis codificadas

Amostras	Valores codificados			b* - Dia 4			b* - Dia 7		
	x ₁	x ₂	x ₃	Vexp	Vpred	ER*(%)	Vexp	Vpred	ER*(%)
FF	-1,68	-1,68	-0,84	16,46	15,00	8,86	16,12	16,23	-0,69
FR1	-1,68	0,34	-0,84	17,77	16,32	8,18	16,91	16,23	0,69
FR2	-1,34	-0,34	-0,84	17,42	16,00	8,15	16,25	16,79	-1,34
FC	-1,68	-1,68	-1,68	16,26	14,67	9,74	15,98	16,23	-1,55

Vexp : valor experimental; Vpred: valor predito pelo modelo com as variáveis codificadas; ER: erro relativo. Valores codificados = x₁: Fibra de trigo; x₂: Fibra de aveia; e x₃: Goma acácia.

$$* ER = ((Vexp - Vpred) / Vexp) \times 100$$

ANEXO I.8. ΔE de FF, FR1, FR2 e FC: valores experimentais, preditos pelo modelo, erros relativos e variáveis codificadas

Amostras	Valores codificados			ΔE - Dia 4		
	x_1	x_2	x_3	Vexp	Vpred	ER*(%)
FF	-1,68	-1,68	-0,84	2,00	0,47	123,78
FR1	-1,68	0,34	-0,84	3,51	1,20	65,76
FR2	-1,34	-0,34	-0,84	3,00	0,93	69,03

ΔE : Diferença total de cor; Vexp : valor experimental; Vpred: valor predito pelo modelo com as variáveis codificadas; ER: erro relativo. Valores codificados = x_1 : Fibra de trigo; x_2 : Fibra de aveia; e x_3 : Goma acácia.

* ER = $(V_{exp} - V_{pred}) / V_{exp} \times 100$