

JOÃO TOMAZ DA SILVA BORGES

**AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA DE FARINHA MISTA DE TRIGO
E DE LINHAÇA INTEGRAL E SUA UTILIZAÇÃO
NA ELABORAÇÃO DE PÃO DE SAL**

**Tese apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como parte das
exigências do Programa de Pós-
Graduação em Ciência e
Tecnologia de Alimentos, para
obtenção do título de *Doctor
Scientiae*.**

**VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2009**

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

B732a
2009

Borges, João Tomaz da Silva, 1974-

Avaliação tecnológica de farinha mista de trigo e de
linhaça integral e sua utilização na elaboração de pão de sal /
João Tomaz da Silva Borges. – Viçosa, MG, 2009.
xvi, 126f.: il. (algumas col.) ; 29cm.

Inclui anexos.

Orientador: Mônica Ribeiro Pirozi.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 87-108.

1. Pão - Processamento. 2. Farinha de trigo. 3. Farinha de
linhaça. 4. Pão - Qualidade. I. Universidade Federal de
Viçosa. II. Título.

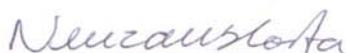
CDD 22.ed. 664.7523

JOÃO TOMAZ DA SILVA BORGES

AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA DE FARINHA MISTA DE TRIGO
E DE LINHAÇA INTEGRAL E SUA UTILIZAÇÃO
NA ELABORAÇÃO DE PÃO DE SAL

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

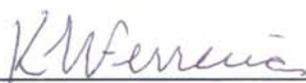
APROVADA: 13 de julho de 2009.



Prof^a. Neuza Maria Brunoro Costa
(Co-orientadora)



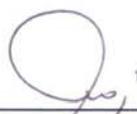
Prof. José Benício Paes Chaves
(Co-orientador)



Prof^a. Karla Silva Ferreira



Prof^a. Edimar Aparecida F. Fontes



Prof^a. Mônica Ribeiro Pirozi
(Orientadora)

Àqueles que movem o mundo com a sabedoria e a certeza de que tudo tem sua razão de ser. Àqueles que trazem em si, confiança e fé em Deus, com uma única verdade imutável, aquela que diz no silêncio da alma: Siga!!! Desta vez será tudo diferente.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Alegrias, tristezas, dissabores, surpresas, cansaço, medo e incertezas. Muitos foram os momentos nesta jornada, mas uma certeza permaneceu: Deus sempre esteve ao meu lado.

Ninguém cresce sozinho, sempre é preciso um olhar de apoio, uma palavra de incentivo, um gesto de compreensão, uma atitude de amor. Portanto, a todos vocês, Cláudia de Paula, Márcia Cesário, Juliana Vidigal, Divino Daniel, Miriam Vilela, Érika Endo, Silvane Guimarães, Talita Moreira, Leandro Soares, Cleber José, Edilene Lagedo, Pollyanna Cardoso, Maria José, Geraldo Gonçalves e Célia Borges meu mais profundo respeito, consideração e estima.

À Prof^a Dr^a Mônica Ribeiro Pirozi, à Prof^a Dr^a Neuza Maria Brunoro Costa e ao Prof. Dr. José Benício Paes Chaves pela orientação e apoio.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de pessoal de Nível Superior, pela concessão da bolsa.

À Universidade Federal de Viçosa e aos Departamentos de Tecnologia de Alimentos e Nutrição e Saúde, pela oportunidade de realização deste trabalho.

A todos os Professores por mostrar-me com seriedade e respeito a importância da investigação científica.

Aos funcionários do Departamento de Tecnologia de Alimentos e Nutrição e Saúde, nas pessoas de Eliane de Fátima, Maria Geralda, Vânia Santos, José Geraldo, Luis Silva, Carlos Antônio, Adão Martins, José Tomaz e Cassiano Oliveira, sempre profissionais atenciosos e educados.

Enfim, muito obrigado a todos os ANJOS de Deus, que com muito amor me conduziram durante a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

João Tomaz da Silva BORGES, filho de Antônio Tomaz BORGES e de Tereza Gonçalves da Silva BORGES, nasceu em São João Evangelista, Minas Gerais, em 11 de julho de 1974. Em março de 1994, iniciou o Curso de Licenciatura e Bacharelado em Economia Doméstica na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRuralRJ), concluindo em julho de 1999. Em agosto de 1999 iniciou o curso de especialização em Administração de Serviços de Alimentação no Departamento de Economia Doméstica da UFRuralRJ, concluindo em outubro de 2001. Em Março de 2000 iniciou o mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos no Departamento de Tecnologia de Alimentos da UFRuralRJ, concluindo em março de 2002. Em Agosto de 2004, ingressou no Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, concluindo em julho de 2009.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS	xi
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xv
INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 1: REVISÃO DE LITERATURA	4
1.1 LINHAÇA	4
1.1.1 Linhaça como alimento funcional	4
1.1.2 Adição de linhaça em produtos alimentícios convencionais	5
1.2 TRIGO	6
1.2.1 Farinha de trigo, glúten e propriedades tecnológicas	7
1.3 FARINHAS MISTAS	11
1.4 O PÃO	12
1.5 FIBRAS E PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DA MASSA	13
1.6 CONSIDERAÇÕES GERAIS	15
CAPITULO 2: CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E TECNOLÓGICA DE FARINHAS MISTAS DE LINHAÇA INTEGRAL E TRIGO	17
2.1 INTRODUÇÃO	17
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	18
2.2.1 Matérias-primas e farinhas mistas de trigo e linhaça	18
2.2.2 Análise física das farinhas mistas de trigo e linhaça	18
2.2.2.1 Granulometria das farinhas mistas	18
2.2.2.2 Cor das farinhas mistas	19
2.2.3 Análises físico-químicas das farinhas mistas de trigo e linhaça	19
2.2.4 Análises reológicas das farinhas mistas de trigo e linhaça	19
2.2.4.1 Farinografia	19

2.2.4.2	Extensografia	20
2.2.4.3	Número de Queda	20
2.2.5	Teste de panificação experimental das farinhas mistas de trigo e linhaça	20
2.2.6	Delineamento experimental e análise estatística	22
2.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
2.3.1	Granulometria das farinhas mistas de trigo e linhaça	23
2.3.2	Cor das farinhas mistas de trigo e linhaça	24
2.3.3	Análises físico-químicas das farinhas mistas de trigo e linhaça	27
2.3.4	Análises reológicas das farinhas mistas de trigo e linhaça	36
2.3.4.1	Farinografia	36
2.3.4.2	Extensografia	42
2.3.4.3	Número de Queda	46
2.3.4.4	Teste de panificação experimental	48
2.4	CONCLUSÕES	51
 CAPÍTULO 3: CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E SENSORIAL DE PÃES ENRIQUECIDOS COM FARINHA INTEGRAL DE LINHAÇA		 53
3.1	INTRODUÇÃO	53
3.2	MATERIAL E MÉTODOS	54
3.2.1	Produção dos pães	55
3.2.2	Análise físico-química dos pães	56
3.2.2.1	Composição centesimal	56
3.2.3	Cor do miolo dos pães	56
3.2.4	Volume Total e Específico dos pães	56
3.2.5	Firmeza dos pães	56
3.2.6	Teste de aceitação sensorial e intenção de compra dos pães	57
3.2.7	Delineamento experimental e análise estatística	58
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
3.3.1	Composição centesimal dos pães	58
3.3.2	Cor do miolo dos pães	64
3.3.3	Volume Total e Específico dos pães	65

3.3.4	Firmeza dos pães	66
3.3.5	Teste de aceitação sensorial dos pães	68
3.3.6	Intenção de compra dos pães	69
3.4	CONCLUSÕES	70
CAPITULO 4: QUALIDADE PROTÉICA DE PÃO DE SAL CONTENDO FARINHA INTEGRAL DE LINHAÇA		71
4.1	INTRODUÇÃO	71
4.2	MATERIAL E METODOS	73
4.2.1	Produção dos pães Controle, F10 e F15 e obtenção das fontes protéicas	73
4.2.2	Determinação do teor de proteínas	73
4.2.3	Ensaio biológico	74
4.2.3.1	Animais	75
4.2.3.2	Coeficiente de Eficácia Alimentar	75
4.2.3.3	Digestibilidade Verdadeira	75
4.2.3.4	Coeficiente de Eficácia Protéica ou Protein Efficiency Ratio	76
4.2.3.5	Razão Protéica Líquida ou Net Protein Ratio	76
4.2.4	Determinação e quantificação de aminoácidos essenciais nos pães Controle, F10 e F15	77
4.2.5	Delineamento experimental e análise estatística	78
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	78
4.3.1	Avaliação biológica das proteínas	79
4.3.2	Escore químico de aminoácidos e escore químico de aminoácidos corrigido pela digestibilidade protéica	82
4.4	CONCLUSÕES	84
5	CONCLUSÕES GERAIS	85
6	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	87
ANEXOS		109

LISTA DE TABELAS

		Página
1	Classificação do trigo em relação à força de glúten e Número de Queda.	10
2	Ingredientes utilizados nas formulações dos pães F0, F5, F10, F15, F20 e F25.	21
3	Coordenada de cromaticidade b* (\pm desvio padrão) das farinhas mistas de trigo e linhaça.	27
4	Ingredientes utilizados nas formulações dos pães Controle, F10 e F15.	55
5	Composição em umidade, lipídios, cinzas, fibra alimentar total (solúvel e insolúvel), proteína e carboidratos dos pães Controle, F10 e F15.	59
6	Coordenadas de cromaticidade L* a* b* no miolo dos pães de sal F10, F15 em comparação com o Controle.	64
7	Efeito da substituição da farinha de trigo pela farinha de linhaça no volume dos pães F10 e F15 em comparação com o pão Controle.	65
8	Firmeza dos pães de sal provenientes das formulações F10 e F15 em comparação com o pão Controle.	67
9	Escores sensoriais dos atributos, textura, aparência, aroma, cor, sabor e impressão global dos pães F10 e F15.	68
10	Formulação das dietas utilizadas no experimento com ratos (g/100g de mistura).	74
11	Consumo alimentar (dieta e proteína), ganho de peso e Coeficiente de Eficácia Alimentar (CEA) dos animais alimentados com dietas à base de pães de sal F10 e F15 em comparação com o Controle.	78
12	Valores médios (\pm desvios-padrão) de Digestibilidade Verdadeira (DV), Digestibilidade Verdadeira Relativa (DVR), Coeficiente de Eficácia Protéica (PER), Coeficiente de Eficácia Protéica Relativa (PERR), Razão Protéica Líquida (NPR), Razão Protéica Líquida Relativa (NPRR) dos animais alimentados com dietas à base de pães de sal F10 e F15 em comparação com o Controle.	80
13	Composição de aminoácidos essenciais das proteínas dos pães Controle, F10, F15 e Caseína em comparação ao padrão da FAO/WHO (1985) para crianças de 2 a 5 anos.	82

14	Escore químico de aminoácidos das proteínas das dietas Controle, F10, F15 e Caseína.	83
15	Escore químico de aminoácidos corrigido pela digestibilidade protéica (PDCAAS) das proteínas de Controle, F10 e F15.	84
16	Análise de variância para as coordenadas cromáticas L* a* b* das farinhas mistas F0, F5, F10, F15, F20 e F25.	110
17	Resultados dos testes de ajustamento dos modelos linear, quadrático e cúbico especial para as coordenadas de cromaticidade L* a* b* das farinhas mistas F0, F5, F10, F15, F20 e F25.	110
18	Análise de variância para cinzas, lipídios, proteína, fibra bruta e carboidratos, em base seca, das farinhas mistas F0, F5, F10, F15, F20 e F25.	111
19	Resultados dos testes de ajustamento dos modelos linear, quadrático e cúbico especial para cinzas, lipídios, proteína, em base seca, das farinhas mistas F0, F5, F10, F15, F20 e F25.	112
20	Análise de variância para AA (%), EST (min), TDM (min) e ÍTM (UF) das farinhas mistas F0, F5, F10, F15, F20 e F25.	113
21	Resultados dos testes de ajustamento dos modelos linear, quadrático e cúbico especial para AA (%), EST (min), TDM (min) e ITM (UF) das farinhas mistas F0, F5, F10, F15, F20 e F25.	114
22	Análise de variância para Rmax (UE), E (mm) e R/E das farinhas mistas F0, F5, F10, F15, F20 e F25.	115
23	Resultados dos testes de ajustamento dos modelos linear, quadrático e cúbico especial para Rmax (UE), E (mm) e R/E das farinhas mistas F0, F5, F10, F15, F20 e F25.	116
24	Análise de variância para Número de Queda (s) das farinhas mistas F0, F5, F10, F15, F20 e F25.	117
25	Resultados dos testes de ajustamento dos modelos linear, quadrático e cúbico especial para Número de Queda (s) das farinhas mistas F0, F5, F10, F15, F20 e F25.	117
26	Análise de variância para Escore Total e Volume Específico (g/cm ³) dos pães obtidos a partir das farinhas mistas F0, F5, F10, F15, F20 e F25.	117

27	Resultados dos testes de ajustamento dos modelos linear, quadrático e cúbico especial para Escore Total e Volume Específico (g/cm^3) dos pães obtidos a partir das farinhas mistas F0, F5, F10, F15, F20 e F25.	118
28	Teste t para estimativa dos parâmetros dos modelos ajustados para as coordenadas de cromaticidade L^* a^* b^* das farinhas mistas F0, F5, F10, F15, F20 e F25.	119
29	Teste t para estimativa dos parâmetros dos modelos ajustados para composição centesimal, em base seca, das farinhas mistas F0, F5, F10, F15, F20 e F25.	120
30	Teste t para estimativa dos parâmetros dos modelos ajustados para farinografia das farinhas mistas F0, F5, F10, F15, F20 e F25.	121
31	Teste t para estimativa dos parâmetros dos modelos ajustados para R_{max} (UE), E (mm) e R/E das farinhas mistas F0, F5, F10, F15, F20 e F25.	122
32	Teste t para estimativa dos parâmetros dos modelos ajustados para Número de Queda (s) das farinhas mistas F0, F5, F10, F15, F20 e F25.	123
33	Teste t para estimativa dos parâmetros dos modelos ajustados para Escore Total e Volume Específico (g/cm^3) de pães produzidos com farinhas mistas de trigo e linhaça (F0, F5, F10, F15, F20 e F25).	123
34	Qualidade panificável das farinhas mistas de trigo e linhaça (F0, F5, F10, F15, F20 e F25).	124

LISTA DE FIGURAS

		Página
1	Avaliação de características internas e externas dos pães.	22
2	Histograma da distribuição de partículas das farinhas mistas de trigo e linhaça.	23
3	Gráficos de contorno e de superfície de resposta para a variação da coordenada L^* das farinhas mistas de trigo e linhaça.	25
4	Gráficos de contorno e de superfície de resposta para a variação da coordenada a^* das farinhas mistas de trigo e linhaça.	26
5	Gráficos de contorno e de superfície de resposta para a variação de lipídios (% base seca) das farinhas mistas de trigo e linhaça.	28
6	Gráficos de contorno e de superfície de resposta para a variação de cinzas (% base seca) das farinhas mistas de trigo e linhaça.	30
7	Gráficos de contorno e de superfície de resposta para a variação de fibra bruta (% bs) das farinhas mistas de trigo e linhaça.	31
8	Gráficos de contorno e de superfície de resposta para a variação de proteína (% base seca) das farinhas mistas de trigo e linhaça.	33
9	Gráficos de contorno e de superfície de resposta para a variação de carboidratos (% base seca) das farinhas mistas de trigo e linhaça.	35
10	Gráficos de contorno e de superfície de resposta para a variação de Absorção de Água (%) das farinhas mistas de trigo e linhaça.	37
11	Gráficos de contorno e de superfície de resposta para a variação da Estabilidade (min) das farinhas mistas de trigo e linhaça.	39
12	Gráficos de contorno e de superfície de resposta para a variação no Índice de Tolerância à Mistura (ITM) (UF) das farinhas mistas de trigo e linhaça.	40
13	Gráficos de contorno e de superfície de resposta para a variação no Tempo de Desenvolvimento da Massa (TDM) (min) das farinhas mistas de trigo e linhaça.	41

14	Gráficos de contorno e de superfície de resposta para Resistência máxima à extensão (Rmax) (mm) das farinhas mistas de trigo e linhaça.	43
15	Gráficos de contorno e de superfície de resposta para Extensibilidade (mm) das farinhas mistas de trigo e linhaça.	44
16	Gráficos de contorno e de superfície de resposta para a variação de R/E das farinhas mistas de trigo e linhaça.	45
17	Gráficos de contorno e de superfície de resposta para a variação de Número de Queda (NQ) (s) das farinhas mistas de trigo e linhaça.	47
18	Gráficos de contorno e de superfície de resposta para a variação de Escore Total de pães obtidos a partir das farinhas mistas de trigo e linhaça.	48
19	Gráficos de contorno e de superfície de resposta para a variação de Volume Específico (mL/g) de pães obtidos a partir das farinhas mistas de trigo e linhaça.	49
20	Ficha de resposta para teste de aceitação sensorial e intenção de compra dos pães F10 e F15.	57
21	Intenção de compra dos pães F10 e F15.	69
22	Farinogramas das farinhas mistas de trigo e linhaça.	125
23	Extensogramas das farinhas mistas de trigo e linhaça.	126

RESUMO

BORGES, João Tomaz da Silva, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, Julho de 2009. **Avaliação tecnológica de farinha mista de trigo e de linhaça integral e sua utilização na elaboração de pão de sal.** Orientadora: Mônica Ribeiro Pirozi. Co-orientadores: José Benício Paes Chaves e Neuza Maria Brunoro Costa.

Os produtos de panificação, sobretudo os pães, são alimentos muito difundidos e consumidos em todo o mundo, sendo considerados importantes fontes de nutrientes para os consumidores. São objetos frequentes de estudos relacionados à utilização de matérias-primas não tradicionais em substituição parcial da farinha de trigo, tanto para melhoria nos aspectos nutricionais, sensoriais, tecnológicos quanto para criação de novos hábitos alimentares. A linhaça é amplamente investigada por suas propriedades medicinais, sendo classificada como alimento funcional, por ser fonte vegetal potencial de ácido graxo α -linolênico, lignanas (fitoestrógenos) e fibra alimentar. O objetivo deste trabalho foi investigar o potencial de utilização de farinha integral de linhaça na elaboração de pães de sal, tipo francês. Farinhas mistas de trigo e linhaça nas proporções de 100:0 (F0), 95:05 (F5), 90:10 (F10), 85:15 (F15), 80:20 (F20) e 75:25 (F25) foram avaliadas por meio de análises físico-químicas, reológicas e de qualidade de panificação. A substituição parcial de farinha de trigo pela farinha integral de linhaça produziu farinhas mistas com granulometria grosseira e de cor mais escura, embora tenha favorecido a maiores percentuais de lipídios, fibra bruta, cinzas, proteínas e redução de carboidratos totais. Houve diminuição de qualidade tecnológica das farinhas mistas na medida em que aumentou os níveis de substituição de farinha de trigo pela farinha integral de linhaça na mistura, expressa principalmente pela redução de Extensibilidade, Estabilidade, Tempo de Desenvolvimento da Massa e aumento do Índice de Tolerância à Mistura e da tendência ao encolhimento. Houve redução de Volume Específico e Escore Total com o incremento de farinha integral de linhaça na formulação dos pães. O aumento do nível de substituição de

farinha de trigo pela farinha integral de linhaça promoveu interferência negativa, principalmente das fibras, nas propriedades tecnológicas da massa. Melhores resultados foram obtidos para F10 e F15, sendo essas farinhas mistas selecionadas para produção de pão de sal em escala comercial. Embora os pães de sal produzidos a partir das farinhas mistas F10 e F15, em panificadora comercial, apresentaram-se mais escuros, mais firmes e com menor volume, a presença de farinha integral de linhaça na formulação promoveu uma melhoria no valor nutricional, permitindo a alegação de produto com alto teor de fibra, conforme a legislação brasileira. O teste sensorial demonstrou boa aceitação e intenção de compra pelos consumidores (acima de 68 %) para ambas os pães, sendo favoráveis à utilização de farinha integral de linhaça na formulação desse tipo de pão. Dentro das condições experimentais utilizadas, o pão contendo farinha mista de trigo e de linhaça na proporção de 85:15 foi o mais promissor para melhoria da qualidade protéica.

ABSTRACT

BORGES, João Tomaz da Silva, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2009. **Technological evaluation of flaxseed and wheat composite flour and its use in French type bread.** Adviser: Mônica Ribeiro Pirozi. Co-advisers: José Benício Paes Chaves and Neuza Maria Brunoro Costa.

Baking products, particularly breads, are widely used and consumed in the world, being considered an important source of nutrients. Many studies were developed relating the use of non-traditional raw material in partial substitutions of wheat flour to improve nutritional, sensorial, and technological aspects. The flaxseed has been well researched for its medical properties, and it is classified as a functional food, being a potential source of α -linolenic acid, lignans (phytoestrogens), and fibers. The aim of this study was to investigate the potential use of wheat and flaxseed flour to produce the French type bread. Composite wheat and whole flaxseed flours containing 100:0 (F0), 95:05 (F5), 90:10 (F10), 85:15 (F15), 80:20 (F20) and 75:25 (F25), respectively, were evaluated by chemical, rheological, and baking quality analysis. The partial substitution of the wheat flour with whole flaxseed flour imparted an increase in the flour particle size, producing darker colored flours. However, higher percentages of lipids, crude fiber, ash, and crude protein were also observed in these flours. There was a decrease in the overall rheological quality of the composite flour with increased levels of whole flaxseed flours, which was demonstrated by the decrease in extensibility, dough stability, dough development time. Bread specific volume and total score were decreased with increased levels of whole flaxseed flours in the bread formula. The general decrease of bread quality observed were thought to be a result of the detrimental effect of the higher fiber content in the composite flour, so that, the best results were obtained when using the F10 and F15 formulas. Those formulas were, then, selected for commercial scale production of French type bread. Although the commercially produced F10 and F15 breads presented darker color, firmer texture, and smaller volume than F0, the whole flaxseed flour increased the nutritional values of

bread, allowing the use of “high fiber product” allegation, according to the Brazilian by-laws. The sensorial analyses of F10 and F15 breads indicated good acceptance and purchase intention (above 68 %), which were considered satisfactory results. Within these experimental conditions, the composite flour containing 15 % of whole flaxseed flour was considered the best for bread formula with improved nutritional quality.

INTRODUÇÃO

A função básica do alimento é fornecer energia e nutrientes para satisfazer as necessidades nutricionais, garantindo o bom funcionamento do organismo. A procura constante por alimentos de boa qualidade que, além de seu papel principal, ofereçam benefícios à saúde do indivíduo como forma de reduzir o risco de doenças crônicas não transmissíveis (DCNT), tem repercutido na evolução de pesquisas científicas acerca dos alimentos funcionais.

Vários estudos têm demonstrado a associação entre dieta e DCNT, como o câncer, osteoporose, diabetes e doenças cardiovasculares. Neste contexto, uma nova categoria de alimentos, denominada “alimentos funcionais”, encontra-se entre os grandes avanços conseguidos pelo homem no intuito de promover e proporcionar saúde com qualidade de vida.

A linhaça é um alimento que oferece benefícios potenciais para a saúde cardiovascular por ser fonte importante de ácido α -linolênico (ômega 3) e de lignanas, uma classe de fitoestrógenos. Possui em média, 32 % a 45 % de lipídios, sendo 51 % a 55 % de α -linolênico (ômega 3) e 15 % a 18 % de linoléico (ômega-6), além de 25 % a 29 % de proteínas, 20 % a 28 % de fibra alimentar total, 4 % a 8 % de umidade e 3 % a 4 % de cinzas (MORRIS, 2001). Assim, como tantos outros alimentos identificados com importantes alegações funcionais, a linhaça é pouco palatável, sendo frequentemente pouco utilizada para o consumo “in natura”, e conseqüentemente não fazendo parte da dieta tradicional do homem.

As indústrias de transformação assumem um papel fundamental na utilização destes produtos como ingredientes em preparações alimentícias aceitáveis, tendo por desafio evitar que as condições de processamento alterem as propriedades funcionais. O setor de panificação e massas tem sucedido nesta tarefa, de maneira a atender cada vez mais a necessidade do consumidor por alimentos mais saudáveis. O consumo de pães obtidos a partir da mistura de grãos e farinhas integrais aumentou significativamente

nos últimos anos, no Brasil e no mundo (GIUNTINI; LAJOLO; MENENZES, 2003; JONES et al., 2004; ANTON; FRANCISCO; HAAS, 2006).

Produtos de cereais são os mais consumidos mundialmente, sendo os derivados de trigo os que têm maior aceitação. O pão é um dos alimentos mais difundidos em todo o mundo; o pão de sal “tipo francês”, mais consumido no Brasil, constitui-se numa das principais fontes calóricas da dieta do brasileiro, por ser um produto bastante acessível à população, sendo consumido por indivíduos de diferentes faixas etárias. Trata-se de um produto obtido a partir da mistura de quatro ingredientes básicos, farinha de trigo, água, fermento e sal, que se caracteriza por apresentar casca crocante de cor uniforme castanho-dourado e miolo de cor branco-creme, de textura e granulação fina não uniforme.

O enriquecimento de produtos como o pão de sal com farinha integral de linhaça poderia contribuir para aumentar os teores de fibra alimentar, ácidos graxos, ômega 3 e ômega 6, além de alguns minerais, disponibilizando aos consumidores um produto que favorece à nutrição e saúde, auxiliando na redução de risco de DCNT. A ideia de produção de farinhas compostas para uso em panificação e confeitaria não é nova. Ao formular a farinha mista, devem-se considerar alguns aspectos para que seja viável sua aplicação. Dentre eles, consideram-se: as propriedades reológicas da massa e as características físicas, sensoriais e nutricionais das matérias-primas empregadas na formulação. Além disso, os produtos prontos devem apresentar valor nutricional, pelo menos, igual ao daqueles com farinha de trigo pura.

Todos os ingredientes na panificação desempenham funções específicas na formação da massa, mas as características da farinha de trigo são fundamentais na determinação de qualidade do produto obtido, principalmente em formulações mais simples, como do pão de sal. Assim, para obter produtos com características aceitáveis, é necessário que as matérias-primas e os produtos obtidos sejam estudados quanto as suas características químicas, nutricionais, tecnológicas e sensoriais.

Objetivo geral

- Investigar o potencial de utilização de farinha integral de linhaça na elaboração de pão de sal.

Objetivos específicos

- Determinar o efeito da mistura de farinha de trigo e farinha integral de linhaça nas características físico-químicas e reológicas de farinhas mistas para utilização na produção de pão de sal.
- Avaliar a composição físico-química, a firmeza e a cor de pães de sal obtidos a partir de farinhas mistas de trigo e linhaça integral.
- Avaliar a aceitação sensorial e intenção de compra de pães de sal obtidos a partir de farinhas mistas de trigo e linhaça integral.
- Determinar a qualidade protéica de pães de sal obtidos a partir das farinhas mistas de trigo e linhaça por meio de teste biológico e perfil de aminoácidos essenciais.

CAPÍTULO 1

REVISÃO DE LITERATURA

1.1 LINHAÇA

Linhaça é o nome dado a semente do linho (*Linum usitatissimum L.*), planta da família *Linaceae*, nativa do oeste asiático e do mediterrâneo. É cultivada no Canadá, na Argentina, nos Estados Unidos, na Rússia e na Ucrânia, sendo o Canadá, o maior produtor e exportador, com cerca de 40 % da produção mundial (MANDARINO; ROESSING; BENASSI, 2005; MACIEL, 2006). A maior porcentagem do cultivo comercial não é destinada para alimentação; a demanda mundial é dominada pelos usos industriais do óleo, principalmente na pintura. No Brasil, o principal cultivo de linhaça é mantido no Rio Grande do Sul, na cidade de Guarani das Missões (OOMAH, 2001; COSKUNER; KARABABA, 2007).

A linhaça é conhecida, por seu alto conteúdo em fibras solúveis mucilaginosas, com implicações positivas sobre quadros de hiperglicemia e hipercolesterolemia em humanos. A demanda crescente por proteínas vegetais vem intensificando o estudo deste grão como fonte de alimento para o homem (OOMAH; MAZZA, 2000; LI-CHAN; MA, 2002).

1.1.1 Linhaça como alimento funcional

O consumo da linhaça, em várias formas, como um ingrediente alimentar e por suas propriedades medicinais acontece há mais de 5000 anos. Atualmente, esse grão é amplamente investigado e classifica-se como alimento funcional e como importante fonte vegetal de ácido graxo α -linolênico (52 % do total de ácidos graxos) e de compostos fenólicos conhecidos como lignanas (fitoestrógenos), sendo também rico em fibras alimentares (SIMBALISTA; CAPRILLES; ARÊAS, 2003; HANF; GONDER, 2005; OOMAH; DER; GODFREY, 2006).

O interesse por esta semente vem aumentando também em virtude dos resultados favoráveis em pesquisas sobre seus efeitos no organismo humano. Derivados de linhaça têm sido facilmente encontrados em supermercados e lojas de produtos naturais. Estudos em nutrição humana têm confirmado que as fibras, lignanas e ácidos graxos ômega 3 presentes no grão exercem efeito hipocolesteremiante, anticarcinogênico, antiaterogênico, além de ajudar a modular a resposta glicêmica (RAFTER, 2002; SIMBALISTA; CAPRILLES; ARÊAS, 2003, BARRE et al., 2005; POPOVA; HALL; KUBÁTOVÁ, 2009).

Os alimentos funcionais constituem um segmento de rápido crescimento na indústria alimentícia. Incorporar ingredientes alimentares nutritivos e funcionais em formulações com cereais, por sua vez, mostra-se uma alternativa eficaz para os produtores de alimentos, devido à facilidade para produção, preferência por carboidratos complexos na dieta alimentar e grande volume de vendas (AHMED, 1999; ARABBI, 2001).

Os inúmeros benefícios à saúde, decorrentes do consumo desta semente, como ação preventiva contra alguns tipos de câncer, doenças cardiovasculares, efeito antiinflamatório, dentre outros, fizeram com que o Instituto Nacional do Câncer dos Estados Unidos a classificasse como um dos seis vegetais alimentícios com propriedades de redução do risco de desenvolvimento de câncer (OOMAH, 2001; DONALDSON, 2004; GRIEL et al., 2007).

1.1.2 Adição de linhaça em produtos alimentícios convencionais

Vários estudos têm analisado os efeitos da adição de linhaça em produtos alimentícios como “cracker” (MACIEL, 2006), pães (POSSAMAI, 2005; CAMELO, 2007; MOURA, 2008), “cookies” (HUSSAIN et al., 2006) e macarrão (MANTHEY et al., 2000; MANTHEY; LEE; HALL, 2002).

Melhorar a qualidade nutricional dos produtos que são hábito de consumo da população, como é o caso dos pães, é uma importante medida de Saúde Pública (CAPRILES; AREAS, 2005). Assim, o desenvolvimento de pão de sal de melhor valor nutritivo passa a ser uma proposta para melhorar a qualidade desse tipo de produto, com a possibilidade de veicular nutrientes

dos quais a população apresenta deficiência (CARDOSO-SANTIAGO, 2002).

Thebaudin et al. (1997) afirmaram que ingredientes ricos em fibras, como é o caso da farinha integral de linhaça, podem ser usados em alimentos somente se o produto final apresentar boa característica sensorial. Segundo Giuntini, Lajolo e Menezes (2003), produtos com altos teores de fibra nem sempre apresentam boa aceitação pelos consumidores, devido principalmente a alterações em características como textura, sabor e cor.

Entre os cereais, o trigo e o arroz são os mais consumidos e considerados os principais representantes do aporte calórico-proteico da alimentação humana. A preferência industrial por farinhas de trigo mais refinadas, obtidas a partir do endosperma, que é mais rica em amido e proteínas (glutelinas e prolaminas) favorece a obtenção de produtos derivados com redução considerável nos teores de minerais, fibras alimentares e vitaminas, dentre outros nutrientes (COSTA et al., 2008).

Os produtos de panificação são uma alternativa viável para estudos relacionados à utilização de matérias-primas não tradicionais em substituição parcial da farinha de trigo, seja para melhoria nos aspectos nutricionais, sensoriais, tecnológicos ou pela criação de novos hábitos alimentares. De um modo geral, os pães constituem um dos produtos assados mais consumidos mundialmente (BAKKE; VICKERS, 2007). Inúmeros estudos com farinhas mistas em pães têm sido feitos: farinha de soja (RYAN et al., 2002; JUNQUEIRA, et al., 2008), gérmen de trigo, gérmen de milho e farelo de trigo (SIDHU; AL-HOOTI; AL-SAQER, 1999; SIDHU et al., 2001), linhaça (ALPASLAN; HAYTA, 2006; KOCA; ANIL, 2007), semente de girassol (SKRBIC; FILIPCEV, 2008), cevada (ŠKRBIC et al., 2009); pinhão (BEZERRA et al., 2006), entre outros.

1.2 TRIGO

O trigo (*Triticum* spp.) pertence à família Gramineae ou Poaceae, é um dos cereais mais difundidos no mundo, contribuindo com 28,5 % do total da produção mundial, sendo matéria-prima utilizada em larga escala na elaboração de inúmeros produtos, principalmente na indústria alimentícia.

Aproximadamente 70 % do trigo produzido no mundo é usado no processamento de alimentos, predominantemente na forma de farinha para pães, bolos, biscoitos, cereais matinais e massas alimentícias (CORNELL; HOVELING, 1998; DENDY; DOBRASZCZYK, 2001).

O consumo de trigo nos países tropicais tem aumentado na ordem de 2 % a 5 % ao ano. Paralelamente, tem ocorrido maior importação de trigo por esses países, já que a sua produção interna não atende à demanda de consumo (CAMARGO; FERREIRA-FILHO; SALOMON, 2004, Costa et al., 2008). Nos últimos anos, o Brasil tem se tornado o maior importador mundial de trigo, superando países que tradicionalmente ocupavam lugar de destaque entre os maiores compradores do mercado internacional, como o Egito, Japão e Irã. A maior parte dos grãos de trigo, usados nacionalmente, é de procedência argentina, canadense e americana, sendo misturados ao trigo nacional, em proporções diversas.

O grão de trigo pode ser dividido morfológicamente em três partes distintas: (i) o endosperma, que contém o material de reserva e representa a maior parte do grão (83 %); (ii) o pericarpo, camada de tecidos celulares que envolve e protege o grão (14,5 %) e o (iii) gérmen, unidade de reprodução do vegetal que contém o embrião e o escutelo (2,5 %) (DENDY; DOBRASZCZYK, 2001; XIE et al., 2008).

A qualidade do grão de trigo é o resultado da interação das condições de cultivo (interferência do solo, clima, pragas, manejo da cultura e da cultivar), em soma à interferência das operações de colheita, secagem e armazenamento, fatores estes que influem diretamente sobre o uso industrial a ser dado à farinha de trigo (GUTKOSKI; NETO, 2002). O grão de trigo como matéria-prima possui importante papel no aspecto econômico e nutricional da alimentação humana, pois a farinha é largamente utilizada na indústria alimentícia (GIECO; DUBKOVSKY; CAMARGO, 2004).

1.2.1 Farinha de trigo, glúten e propriedades tecnológicas

De acordo com a Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA (2005), farinha é o produto obtido pela moagem da parte comestível de vegetais, podendo sofrer previamente processos tecnológicos adequados. A

moagem de grãos de trigo tem por objetivo quebrar o grão, retirar o máximo de endosperma (livre de farelo e germe) e reduzi-lo à farinha. Esta separação é possível em função das diferentes propriedades físicas do farelo, germe e endosperma. O farelo é resistente devido ao seu alto conteúdo de fibra, enquanto o endosperma é friável. O germe forma flocos ao passar entre os rolos de redução, principalmente devido ao alto conteúdo de óleo. As partículas das várias partes do grão também diferem em densidade, facilitando sua separação com o uso de correntes de ar (PIROZI; GERMANI, 1998; GUTKOSKI; ANTUNES; ROMAN, 1999).

Para se obter resultados satisfatórios, a umidade da farinha de trigo deve estar em torno de 13 %, pois percentuais acima de 15 % favorecem à formação de grumos, dificultando seu transporte e utilização, além de favorecer o desenvolvimento de agentes deteriorantes. Deve ter cor branca, com leves tons de amarelo, conforme o trigo de origem (BRASIL, 2005).

A farinha de trigo comercial, em base seca, é composta por aproximadamente 12 % de proteínas, 72 % a 78 % de carboidratos, 2,5 % de lipídios e menos de 0,5 % de cinzas (STAUFFER, 1998). Os fatores determinantes da qualidade da farinha podem ser inerentes ao trigo, resultantes das condições de cultivo, ou induzidos pelo processo de moagem do trigo (CALDEIRA et al., 2000). Deve ter propriedades tecnológicas específicas para a fabricação de diferentes produtos. Dentre estas, uma das principais características é a força da massa, que está relacionada à quantidade e à qualidade das proteínas formadoras de glúten. De todos os grãos de cereais, as proteínas do trigo são as únicas a apresentarem todos os requisitos ideais para a formação de massa (GIANIBELLI et al., 2001; TEDRUS et al., 2001).

As proteínas do trigo podem ser fracionadas em dois grandes grupos: proteínas solúveis e insolúveis. As proteínas solúveis consistem de albuminas e globulinas e representam aproximadamente 15 % da quantidade total de proteínas do trigo e são consideradas não formadoras de glúten, visto que parecem ter pouca ou nenhuma influência sobre a qualidade de panificação. As proteínas insolúveis gliadina e glutenina, formadoras de glúten, consistem em 80 % a 85 % do total de proteínas, sendo a gliadina solúvel em etanol a 70 %, enquanto que a glutenina é

solúvel somente em soluções diluídas de ácido ou álcali forte (BORGHT et al., 2005; GOESAERT et al., 2005). A gliadina, rica em prolina e glutamina, apresenta peso molecular médio de 40.000 kDa, cadeia simples e é extremamente gomosa quando hidratada. A glutenina possui composição similar à gliadina, porém é uma molécula formada por várias cadeias ligadas entre si, apresentando peso molecular médio que varia de 100.000 kDa a vários milhões (BORGHT et al., 2005; GOESAERT et al., 2005).

Quando a farinha de trigo é misturada com a água e homogeneizada mecanicamente, no processo de fabricação de pães, há hidratação das proteínas gliadina e glutenina, formando um complexo proteico (glúten), pelo entrelaçamento de suas moléculas, estabelecido por meio de pontes dissulfeto, ligações de Van der Waals e ligação de hidrogênio, entre outros. Suas propriedades estão intimamente ligadas à retenção de gases produzidos durante a fermentação da massa pelas leveduras e forneamento, permitindo sua expansão, característica que determina o volume dos produtos de panificação e a textura do miolo (GOESAERT et al., 2005; FUNCK, 2006).

Um glúten de boa qualidade permite expansão suficiente e boa distribuição das células de gás dentro da massa, resultando em um pão volumoso e de boa textura. As proteínas do glúten diferem em sua contribuição a estas propriedades. Quando completamente hidratada, a glutenina forma uma massa extremamente rígida e elástica, enquanto que a gliadina produz uma massa fluida e viscosa. A gliadina apresenta alta extensibilidade e baixa elasticidade. Em outras palavras, é altamente capaz de ser esticada com a aplicação de uma força, porém apresenta capacidade limitada de retornar à forma inicial após a supressão da força. A glutenina, por outro lado, apresenta baixa extensibilidade e alta elasticidade, sendo capaz de ser esticada até um certo limite, mas retorna rapidamente à sua forma original com a remoção da força. O glúten, portanto, apresenta propriedades viscoelásticas que combinam os dois componentes (GIL-HUMANES et al., 2008).

As principais características do glúten que afetam a qualidade de panificação são a quantidade, a proporção entre prolaminas e glutelinas e a distribuição de subunidades de proteínas presentes. Farinhas com

quantidades iguais de proteína podem diferir em qualidade, em função de diferenças nas proporções e nas características das frações da proteína do glúten (PYLER, 1988; QUAGLIA, 1991; XU; BIETZ; CARRIERE, 2007).

Na farinha de trigo os parâmetros de qualidade são principalmente químicos e reológicos, sendo comumente verificados umidade, acidez, cinzas, proteína, número de queda, teor e força de glúten, absorção de água, propriedades de mistura, capacidade elástica e extensível da massa, e volume do pão (PYLER, 1988).

No Brasil, o trigo é classificado em quatro classes, descritas na Tabela 1 (BRASIL, 2001), em razão do conteúdo e da qualidade do glúten e da atividade da enzima α -amilase.

TABELA 1: Classificação do trigo em relação à força de glúten e Número de Queda.

Classes de trigo	Valor mínimo da força de glúten (10^4 J)	Valor mínimo de Número de Queda (segundos)
Brando	50	200
Pão	180	200
Melhorador	300	250
Outros usos	Qualquer	< 200
Durum	-	250

Fonte: Brasil, 2001.

Cada uma das classes de trigo é indicada para um tipo de produto final em razão das características da farinha de trigo que implicarão em diferenças nos produtos finais. Trigo Brando é indicado para biscoitos, Trigo Pão é para fabricação de pães, Trigo Melhorador e *Durum* para massas alimentícias ou “macarrões”. Trigo para outros usos é aquele que não obteve o padrão mínimo para classificação, geralmente utilizado na alimentação humana em preparações de quibes, tabule, dentre outros produtos, ou na produção de ração animal.

Para a fabricação de pão francês, o teor de proteína ideal do grão se situa na faixa de 10,5 % a 13,0 %; para pão de forma (tipo sanduíche); de 11,5 % a 14,5 %; para bolachas tipo “cracker”, de 8,5 % a 10,5 %; para os demais tipos de bolachas, de 7,5 % a 9,0 %; para bolos, de 5 % a 7,5 % e para massas curtas, de 8,5 % a 10,5 % (GUARIENTI, 1996). No que se refere ao teor de proteína ideal, este parâmetro é apenas um complemento

dos demais a serem analisados, pois a qualidade de panificação do trigo depende da quantidade e da qualidade das proteínas presentes no grão (FELÍCIO et al., 2001).

1.3 FARINHAS MISTAS

Inúmeros estudos têm sido realizados no sentido de substituir parcialmente o trigo na elaboração de produtos de panificação devido à restrições econômicas, exigências comerciais, enriquecimento nutricional, novas tendências de consumo e hábitos alimentares específicos. Várias farinhas podem ser misturadas à farinha de trigo para uso em produtos de panificação, denominando-se tal mistura de farinha mista ou composta (EL-DASH; GERMANI, 1994; COLLAR; SANTOS; ROSELL, 2007; ANGIOLONI; COLLAR, 2009).

Segundo Benassi e Watanabe (1997) é possível substituir parcialmente a farinha de trigo em uma determinada formulação, até um limite em que não sejam comprometidas as características tecnológicas da massa e sensoriais dos produtos derivados. A percentagem de farinha de trigo necessária para garantir bons resultados em farinhas mistas depende da qualidade e da quantidade da proteína do trigo, bem como das características da farinha adicionada. É necessário, portanto, que as matérias-primas escolhidas para compor farinhas mistas sejam pesquisadas quanto à composição química, características físicas, tecnológicas e nutricionais para desenvolvimento de tecnologia que permita seu uso de forma eficiente, principalmente em produtos “exigentes” como o pão (SILVA, 1997).

A perda da força da massa, decorrente do uso de sucedâneos da farinha de trigo, pode ser explicada pela mudança na estrutura do glúten (NICOLAS et al., 2003). Desta forma, estudos são necessários para determinar a composição das diferentes matérias-primas disponíveis, bem como compreender os mecanismos pelos quais seus constituintes interferem no desenvolvimento do glúten e nas características reológicas e físico-químicas da massa, de maneira a favorecer a aplicação de medidas

corretivas que melhorem as qualidades tecnológicas e sensoriais dos produtos elaborados com farinhas mistas.

1.4 O PÃO

Os produtos de panificação, sobretudo os pães, são alimentos muito difundidos e consumidos em todo o mundo e, portanto, são considerados importantes fontes de nutrientes para a população. Sua popularidade deve-se à conveniência como produto pronto para consumo, preços acessíveis, variedades com diferentes sabores, além de benefícios nutricionais (GOESAERT et al., 2005).

Segundo a ANVISA (2005), o pão é, por definição, o produto obtido pela cocção, em condições tecnologicamente adequadas, de uma massa, fermentada ou não, preparada com farinha de trigo e/ou outras farinhas que contenham naturalmente proteínas formadoras de glúten ou adicionadas das mesmas e água, podendo conter outros ingredientes.

Tradicionalmente, a farinha de trigo é uma matéria-prima fundamental na indústria de panificação, por possuir propriedades únicas, de formação de uma rede de glúten forte e coesa, capaz de reter os gases formados durante a fermentação, que irão dar ao produto as características responsáveis pela sua grande aceitação em muitas partes do mundo (KAJISHIMA; PUMAR; GERMANI, 2001; PHILIPPI, 2003).

No Brasil, o consumo, *per capita*, de farinha de trigo/ano é de 50 kg, sendo o pão responsável por 54 % deste valor. Embora o pão faça parte da dieta do brasileiro, sendo bastante difundido por todos estados, seu consumo é baixo, tendo nos anos de 2005 a 2008, média per capita de 29 kg. Este valor corresponde, aproximadamente, à metade daquele sugerido pela OMS, que é de 60 kg/per capita ano, e está abaixo do consumo de países como Chile, Alemanha, Suíça, Hungria, Dinamarca, Argentina, Bélgica, Portugal, Uruguai, França, Itália, dentre outros. Diversos fatores influenciam o baixo consumo de pão no Brasil, como: hábito cultural, concorrência com outros alimentos, poder aquisitivo populacional, qualidade e variedade dos produtos, dentre outros (CAFÉ et al., 2003; PRESOTO; ALMEIDA-MURADIAN, 2008; SINDIPAN/AIPAN-SP, 2008).

O pão dito francês é o tipo preferido pelos consumidores de todo o mercado de pães no Brasil, sendo consumido em todas as classes sociais. É um produto da cesta básica brasileira, de uso diário e complementa a ingestão de carboidratos, lipídios e proteínas. Resultados de análise demonstram a eficiência do valor nutritivo deste produto em relação às recomendações diárias para crianças de 4 a 6 anos. Dois pães diários de 50 g na alimentação contêm 300 kcal e representam, por exemplo, 33,33 % (8 g) das necessidades diárias de proteínas, 43,33 % (0,39 mg) das necessidades de tiamina e 10 % (1 mg) das necessidades de ferro (MAHAN; ESCOTT-STUMP, 2005; NEPA, 2006; SINDIPAN/AIPAN-SP, 2008).

De acordo com a ANVISA (2000), Giannou, Kessoglou e Tzia (2003) e Carr et al. (2006) o pão francês fresco apresenta crosta atrativa e crocante, aroma agradável, miolo de textura macia e elástica e sensação úmida na boca. Para Pyler (1988), outros componentes como gorduras vegetais, açúcares, emulsificantes, agentes oxidantes e enzimas, podem ser adicionados em pequenas quantidades para melhorar as características da massa durante o processamento e a qualidade do produto final.

A qualidade do pão de sal pode ser determinada por análises físico-químicas específicas, microbiológicas e sensoriais, além de avaliação das características externas (dimensões, volume específico, cor da crosta, quebra e simetria) e internas do produto (espessura de crosta, cor do miolo, tamanho, número de alvéolos e textura do miolo; além de aroma e sabor) (CAUVAIN; YOUNG, 1998; LOPES et al., 2007).

1.5 FIBRAS E PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DA MASSA

O principal problema da suplementação de produtos de panificação com farinhas integrais é o efeito prejudicial das fibras, também conhecidas como polissacarídeos não-amiláceos, sobre as propriedades reológicas da massa e qualidade do produto final. As fibras influenciam diretamente na aceitação do consumidor, devido a alterações indesejáveis no sabor, cor, volume e textura (GOMEZ et al., 2003; WANG; ROSELL; BARBER, 2002). Esse efeito relaciona-se diretamente ao tipo de fibra presente na massa, uma vez que comportamentos opostos entre fibras solúveis e insolúveis nas

propriedades de pasta são observados em vários estudos (OZBOY; KOKSEL, 1997; IZYDORCZYK; HUSSAIN; MACGREGOR, 2001; PRAZNIK; CIESLIK; FILIPIAK-FLORKIEWICZ, 2002).

As fibras insolúveis têm grande capacidade de retenção de água, podendo reter até dez vezes o seu peso em água, tornando-a indisponível para o desenvolvimento do glúten. São ainda capazes de desestabilizar as células de gás, por formarem barreiras físicas no glúten durante o desenvolvimento da massa, resultando em diminuição de volume do pão. As fibras solúveis, por sua vez, têm propriedades de retenção de bolhas de gás na massa, favorecendo a formação de soluções altamente viscosas, apresentando efeito positivo na qualidade de panificação (EDWARDS et al., 1999; COURTIN; GELDERS; DELCOUR, 2001; WANG et al., 2003; GOESAERT et al. 2005; AUTIO, 2006).

Polissacarídeos não-amiláceos são constituintes da parede celular vegetal, apresentando como principais constituintes as arabinoxilanas, arabinogalactonas, celulose, β -glucanas, glucomananas e ligninas. Embora o conteúdo total na farinha de trigo seja de aproximadamente 3 %, podendo aumentar conforme o grau de extração (HILLE; SCHOONEVELD-BERGMANS, 2004) ou pela combinação de outras matérias-primas, como ocorre nas farinhas mistas com alta concentração de fibra alimentar (MONFORT et al., 1997).

A utilização de farelos e outras matérias-primas, ricas em fibra em panificação, promovem enfraquecimento da estrutura e elasticidade do miolo dos produtos elaborados, reduzindo significativamente o volume e aumentando sua firmeza (LAURIKAINEN et al., 1998; SALMENKALLIO-MARTTILA; KATINA; AUTIO, 2001). Hu et al. (2009) verificaram que pães contendo farelo de arroz, rico em fibra, apresentaram redução de volume, miolo mais firme e escuro em comparação com o Controle (com 100 % farinha de trigo).

Izydorczyk et al. (2008) estudaram as propriedades farinográficas de farinhas mistas de trigo e frações de cevada, rica em fibra, obtendo aumento significativo na Absorção de Água pela massa, redução no tempo de desenvolvimento da massa, na estabilidade e aumento do índice de tolerância a mistura. Resultados semelhantes foram observados por Couto

(2007) para absorção de água, estabilidade e índice de tolerância, além de comprometimento da força e extensibilidade do glúten em farinhas de trigo e farinha de casca de pequi.

Considerando o seu valor nutricional, o uso de farinhas integrais como a farinha linhaça é, certamente, desejável em produtos panificados. Mas, a ausência de glúten limita sua aplicação, sobretudo, em produtos fermentados. A substituição parcial da farinha de trigo por outras farinhas que não contém glúten reduz o potencial panificável da mistura, como consequência da diluição de suas proteínas, resultando em dificuldades no manuseio massa; menor volume e aumento de firmeza e escurecimento do miolo e, em alguns casos, modificação de sabor (WANG; ROSELL; DE BARBER, 2002).

O uso de enzimas, como hemicelulases e as xilanases, vêm sendo cada vez mais empregados na tecnologia de panificação, com o objetivo de minimizar o efeito das fibras sobre a estrutura do glúten (VAN DER MAAREL et al., 2002), melhorando as propriedades de manipulação da massa; estrutura do miolo, volume e aumento da vida útil de produtos de panificação (HAROS; ROSELL; BENEDITO, 2002; CAMACHO; AGUIAR, 2003; HASAN; SHAH; HAMEED, 2006; GIMÉNEZ et al., 2007).

1.6 CONSIDERAÇÕES GERAIS

A semente de linhaça é um grão amplamente investigado e classifica-se como alimento funcional, principal fonte vegetal de ácido graxo α -linolênico, lignanas e fibras alimentares, que vem despertando o interesse de estudiosos e consumidores em virtude dos resultados favoráveis em pesquisas sobre seu efeito hipocolesterolemiantes, anticarcinogênico, antiaterogênico, além de ajudar a modular a resposta glicêmica. Os produtos de panificação são alternativas viáveis para estudos relacionados à utilização de matérias-primas não tradicionais, como a farinha integral de linhaça, em substituição parcial da farinha de trigo, tanto para melhoria nos aspectos nutricionais, sensoriais, tecnológicos quanto pela criação de novos hábitos alimentares. Tradicionalmente, a farinha de trigo é uma matéria-prima fundamental na indústria de panificação, por possuir propriedades

únicas de formação de uma rede de glúten forte e coesa capaz de reter os gases formados durante a fermentação, que irão dar ao produto as características desejáveis para a sua grande aceitação sensorial. Espera-se que a realização deste estudo possibilite a obtenção de uma farinha mista com propriedades tecnológicas aceitáveis, que permitirá produzir pães de sal com características sensoriais e nutricionais superiores ao pão tradicional.

CAPITULO 2

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E TECNOLÓGICA DE FARINHAS MISTAS DE LINHAÇA INTEGRAL E TRIGO

2.1 INTRODUÇÃO

O trigo é um cereal mundialmente consumido, é, também, uma das matérias-primas mais importantes na alimentação e nutrição humana, rica fonte de carboidratos, vitaminas e minerais. O Brasil não é auto-suficiente na sua produção, necessitando importar grande quantidade de grãos desse cereal (MIRANDA; EL-DASH, 2002; AGRIANUAL, 2004).

A linhaça compõe-se de 30 % a 40 % de lipídios, 20 % a 25 % de proteína, 20 % a 28 % de fibra alimentar total, 4 % a 8 % de umidade, 3 % a 4 % de cinza, além das vitaminas A, B, D e E, minerais (K, P, Mg, Ca) e quantidades significativas de mucilagem (OOMAH; MAZZA, 1993; OOMAH, 2001).

Apesar de existirem vários trabalhos científicos com produtos de panificação contendo farinha de linhaça, poucos estudos demonstram seu efeito nas propriedades tecnológicas de farinhas mistas para aplicação na produção de pão de sal, tornando-se relevante a realização desta investigação.

A avaliação das características físico-químicas e reológicas é de vital importância para a indústria de panificação, ajudando a predizer as características de processamento da massa e a qualidade dos produtos finais. Entre as determinações disponíveis para avaliar objetivamente as propriedades da massa e definir o uso final da farinha de trigo na panificação, incluem-se as características de mistura (farinógrafo e mixógrafo), características de extensão (extensógrafo, alveógrafo e consistógrafo), viscosidade (amilografia e Rapid Visco Analyser) e de produção ou retenção de gás (reofermentógrafo e maturógrafo) (QUEJI; SCHEMIN; TRINDADE, 2006; GUTKOSKI et al., 2008). A avaliação

reológica da farinha é parte de um conjunto de análises, no qual necessariamente deve estar incluído o teste de panificação (GUTKOSKI; NETO, 2002). A definição de uso final de uma farinha deve ser feita após a avaliação conjunta destes resultados.

O objetivo deste trabalho foi determinar o efeito da mistura de farinha de trigo e farinha integral de linhaça nas características físico-químicas e tecnológicas de farinhas mistas para utilização na produção de pão de sal.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi desenvolvido nos Laboratórios de Amido e Farinha, Panificação Experimental e Análise de Alimentos do Departamento de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, e no Laboratório de Estudos Reológicos de Cereais da Empresa Agroindústria de Alimentos-CTAA, Rio de Janeiro-Rio de Janeiro.

2.2.1 Matérias-primas e farinhas mistas de trigo e linhaça

Foram utilizadas como matérias-primas farinha de trigo especial (FT) e farinha integral de linhaça (FIL), adquiridas no comércio de Viçosa, Minas Gerais. As farinhas mistas foram preparadas em misturadora vertical marca Brasil, modelo 56 RC 6504, pela substituição parcial da farinha de trigo pela farinha integral de linhaça nas proporções de 100:00 (F0), 95:5 (F5), 90:10 (F10), 85:15 (F15), 80:20 (F20) e 75:25 (F25). Para cada farinha mista, preparou-se 3 bateladas (repetições) 5 kg cada, submetidas a homogeneização por 10 minutos, para melhor uniformidade na mistura; sendo embaladas em sacos plásticos de polietileno com capacidade para 10 kg, identificadas e mantidas sob refrigeração até o momento das análises.

2.2.2 Análise física das farinhas mistas de trigo e linhaça

2.2.2.1 Granulometria das farinhas mistas

A distribuição granulométrica das farinhas mistas (F0, F5, F10, F15, F20, F25) foi determinada por meio de equipamento Ro-Tap e conjunto de seis peneiras arredondadas, com aberturas da malha de 590, 420, 350, 297, 250 e 210 micrômetros e o fundo (Método 965-22, AOAC, 1995).

2.2.2.2 Cor das farinhas mistas

A quantificação objetiva de cor foi feita por meio de um colorímetro triestímulo, com leitura direta de reflectância das coordenadas de cromaticidade “L” (luminosidade), “a” (tonalidades de vermelho a verde) e “b” (tonalidades de amarela a azul), empregando-se a escala Hunter-Lab, sendo as amostras de farinhas colocadas na cubeta e submetidas leitura no colorímetro. Neste sistema de cor, corrigido pela CIELab, os valores L* (luminosidade) variam de zero (preto) e 100 (branco), os valores de a* variam de -a* (verde) até +a* (vermelho), e os valores de b* variam de -b* (azul) até +b* (amarelo) (HUNTERLAB, 1998).

2.2.3 Análises físico-químicas das farinhas mistas de trigo e linhaça

A composição centesimal foi realizada segundo a metodologia da AOAC, sendo umidade (Método 925-10, AOAC 1996); lipídios (Método 920-85, AOAC 1996) proteína (Método 960-52, AOAC 1996), cinzas (Método 923-03, AOAC 1996), fibra bruta (Método 991-43, AOAC 1995) e carboidratos determinado por diferença [100 - (lipídios + proteína bruta + cinzas + fibra bruta)]. Os resultados de lipídios, proteína, cinzas, fibra bruta e carboidratos foram expressos em base seca.

2.2.4 Análises reológicas das farinhas mistas de trigo e linhaça

2.2.4.1 Farinografia

Para o teste de farinografia foi utilizado farinógrafo Brabender (Brabender Technologie KG), conforme o Método 54-21 da AACCC (1995). Foram determinados os parâmetros de Absorção de Água (AA), em

percentagem (%), a Estabilidade (EST), em minutos (min), o Tempo de Desenvolvimento da Massa (TDM) (min) e o Índice de Tolerância à Mistura (ITM), em Unidades Farinográficas (UF).

2.2.4.2 Extensografia

Para avaliação das propriedades extensíveis das massas foi utilizado um extensógrafo Brabender (Brabender Technologie KG), conforme Método 54-10 da AACC (1995). Os parâmetros avaliados no extensograma foram Resistência máxima à extensão (Rmax), em Unidades Extensográficas (UE), Extensibilidade (E), em milímetros (mm) e número proporcional (R/E).

2.2.4.3 Número de Queda

O Número de Queda (NQ) foi determinado por meio do aparelho “Falling Number”, de acordo com o Método 56-81B da AACC (1995), sendo o resultado expresso em segundos (s).

2.2.5 Teste de panificação experimental das farinhas mistas de trigo e linhaça

Os pães foram elaborados segundo o método 10-10B da AACC (1995) para avaliação da qualidade de panificação das farinhas mistas em comparação com o pão feito com a farinha de trigo pura, conforme apresentado na Tabela 2. Foi utilizado glúten vital de trigo doado pela Granotec do Brasil S.A.; fermento biológico fresco Fleischmann, sal refinado Cisne, açúcar refinado União, margarina Delícia Extra Cremosa com sal 65 % de lipídios e melhorador em pó Adimix[®], adquiridos no comércio local de Viçosa, Minas Gerais.

TABELA 2: Ingredientes utilizados nas formulações dos pães F0, F5, F10, F15, F20 e F25.

Ingredientes	Formulações (%)*					
	F0	F5	F10	F15	F20	F25
Farinha de trigo	100	95	90	85	80	75
Farinha de linhaça	0	5	10	15	20	25
Glúten vital de trigo	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
Fermento biológico fresco	5	5	5	5	5	5
Açúcar refinado	3	3	3	3	3	3
Sal refinado	2	2	2	2	2	2
Margarina	3	3	3	3	3	3
Melhorador em pó	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Água	57	57	59	58	59	60

* Porcentagem dos ingredientes em relação a 100 % do peso total de farinha mista (Baker's, %).

Os ingredientes foram misturados em misturadora vertical marca Brasil, modelo 56 RC 6504, com batedor tipo gancho em duas etapas: na primeira, foram misturados os ingredientes secos durante dois minutos e em seguida a água foi adicionada. Após um minuto de mistura acrescentou-se a margarina, prosseguindo a mistura por mais cinco minutos. Após a formação de uma massa lisa e homogênea, foram retiradas quatro amostras de 150 g de cada formulação, boleadas, deixadas em descanso por 30 minutos, sendo cilindradas, modeladas, colocadas em formas retangulares com 6,5 cm de largura x 13,5 cm de comprimento x 4,5 cm de altura, submetidas à fermentação por 90 minutos e assamento a 220 °C por 18 minutos.

Os pães foram deixados para esfriar por 3 horas sob temperatura ambiente, sendo em seguida pesados em balança de precisão e o volume determinado pelo método de deslocamento de sementes (modificado de AACC 10-05, 2000). A avaliação das características externas (cor de crosta, quebra e simetria) e internas (cor de miolo e estrutura de célula) (FIGURA 1) dos pães contendo farinha integral de linhaça foi feita por cinco provadores treinados, por comparação com o pão Controle.

Teste de panificação		Data: ___/___/___	
Nome: _____		Amostra: _____	
Características		Pontuação máxima	Avaliação
Externas	Cor da crosta: (fatores indesejáveis: não uniforme, opaca, muito clara ou muito escura).	10	----
	Quebra e Simetria: (fatores indesejáveis: quebra muito pequena, áspera e/ou desigual; laterais, pontas e parte superior desiguais).	10	----
Internas	Cor do miolo (fatores indesejáveis: cinza, opaca, desigual e/ou escura).	10	----
	Estrutura da célula (fatores indesejáveis: células arredondadas na periferia, miolo compacto ou com buracos muito abertos; falta de uniformidade).	10	----
Total		40	----

FIGURA 1: Avaliação de características internas e externas dos pães.

2.2.6 Delineamento experimental e análise estatística

Foi utilizado delineamento experimental de misturas, com seis formulações de trigo: linhaça nas proporções de 100:0 (F0), 95:05 (F5), 90:10(F10), 85:15 (F15), 80:20 (F20) e 75:25 (F25), em delineamento inteiramente casualizado, com 3 repetições, totalizando 18 unidades experimentais. Todas as análises foram feitas em triplicata. O efeito das misturas de farinha de trigo e farinha integral de linhaça sobre suas características físicas, químicas e reológicas foi avaliado por meio do ajuste de modelos de regressão linear, quadrático e cúbico especial, com a seguinte forma:

$$\hat{Y} = \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \beta_{12} \cdot x_1 x_2 + \beta_{112} \cdot x_1 x_1 x_2$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Em que:} \\ \hat{Y} = \text{valores das variáveis, referentes à qualidade, medidas nas farinhas.} \\ x_1 \text{ e } x_2 = \text{níveis de trigo e de linhaça na mistura.} \\ \beta_1, \beta_2, \beta_{12} \text{ e } \beta_{112} = \text{coeficientes da regressão.} \end{array} \right.$$

Para análise dos dados foi utilizado o programa Statistical Analysis System (SAS) versão 9.1, licenciado para a Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2009.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Granulometria das farinhas mistas de trigo e linhaça

A granulometria das farinhas mistas encontra-se ilustrada na Figura 2, onde estão descritas as porcentagens de cada farinha retida nas peneiras.

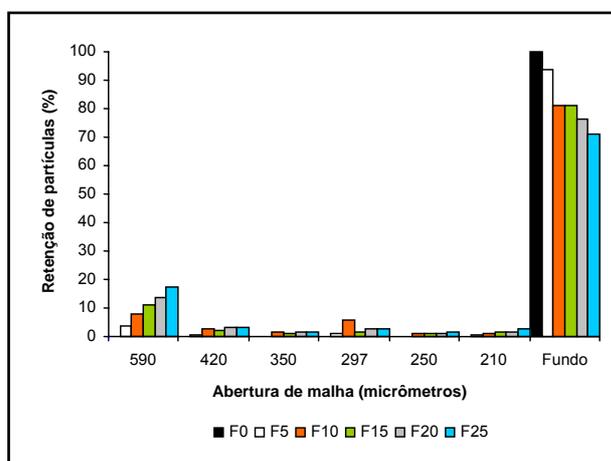


FIGURA 2: Histograma da distribuição de partículas das farinhas mistas de trigo e linhaça.

Um percentual acima de 98 % da farinha de trigo passou pela peneira 250 micrômetros, conforme determina a Portaria n. 354, de 18 de julho de 1996 (ANVISA, 1996), sendo reduzido com o aumento de farinha integral de linhaça na formulação. A farinha integral de linhaça apresentou maior granulometria quando comparada com a farinha de trigo. Entretanto, esses resultados encontram-se de acordo com os dados relatados por Gutkoski e Pedó (2000). Com o aumento de farinha integral de linhaça na formulação houve incremento na retenção de partículas na peneira com abertura de 590 micrômetros.

A característica granulométrica da matéria-prima é um aspecto relevante na panificação, permitindo maior uniformidade do produto

elaborado. O tamanho de partícula influencia diretamente a capacidade de absorção de água, o tempo de mistura, as características sensoriais (como aparência, sabor e textura) e o tempo de cozimento das massas alimentícias (LINDEN; LORIENT, 1994; BORGES et al., 2003).

A influência da granulometria de farinhas nas propriedades de produtos de panificação ainda não foi totalmente elucidada, embora seja aceito que partículas finas e uniformes promovem maior dispersibilidade da farinha na massa. Para Pylar (1988), granulometria extremamente fina da farinha não é sinônimo de qualidade. Teores elevados dessas partículas nas misturas podem prejudicar a estrutura interna (miolo) de produtos de panificação, tornando-a úmida e gomosa.

2.3.2 Cor das farinhas mistas de trigo e linhaça

O aumento de farinha integral de linhaça nas formulações das farinhas mistas reduziu ($p < 0,05$) os valores de L^* . O modelo cúbico especial foi o que melhor explicou a variação de L^* nas farinhas mistas em função da substituição da farinha de trigo pela farinha de linhaça. O coeficiente de determinação (R^2) para este modelo foi de 0,9802, indicando que a regressão explicou 98,02 % da variação dos dados observados. A equação de regressão e os gráficos das curvas de contorno e superfície de resposta gerados pelo modelo ajustado encontram-se na Figura 3.

$$\text{Coordenada } L^* = 92,46630 \cdot FT + 493,57111 \cdot FIL - 1129,50265 \cdot FT \cdot FIL + 734,81481 \cdot FT^2 \cdot FIL$$

$$R^2 = 0,9802$$

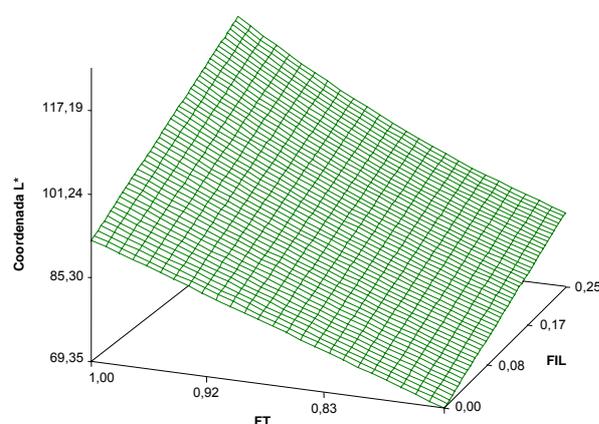
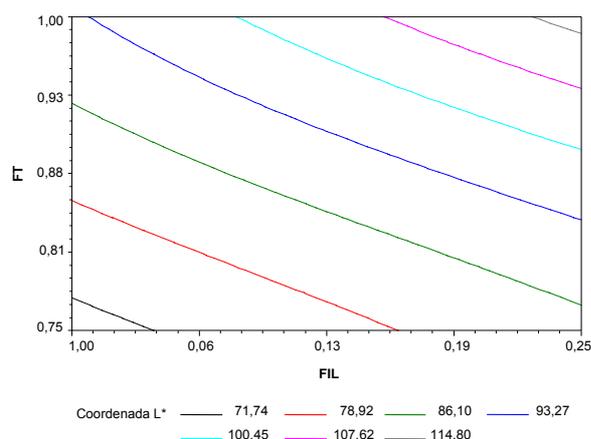


FIGURA 3: Gráficos de contorno e de superfície de resposta para a variação da coordenada L^* das farinhas mistas de trigo e linhaça.

A coordenada L^* representa quão claro ou escuro é o produto, com valores entre 0 (totalmente preto) e 100 (totalmente branco), portanto, ocorreu escurecimento gradativo das farinhas mistas com incremento da substituição de farinha de trigo pela farinha integral de linhaça. Tendência similar foi também observada por Shearer e Davies (2005) ao adicionarem 2 % e 5 % de farinha de linhaça à farinha de trigo.

Na Figura 3 são mostrados os resultados para a análise de a^* de cor das farinhas mistas em função da porcentagem de substituição de farinha de trigo pela farinha integral de linhaça. O modelo quadrático foi o mais adequado, com falta de ajuste não significativa e todos os coeficientes significativos, explicando bem a variação nos valores de a^* das farinhas mistas, com R^2 de 98,97 %. O modelo proposto para representar a^* nas farinhas mistas em função dos níveis de substituição de farinha de trigo pela

farinha integral de linhaça, as curvas de nível e a superfície de resposta quadrática geradas são apresentadas na Figura 4.

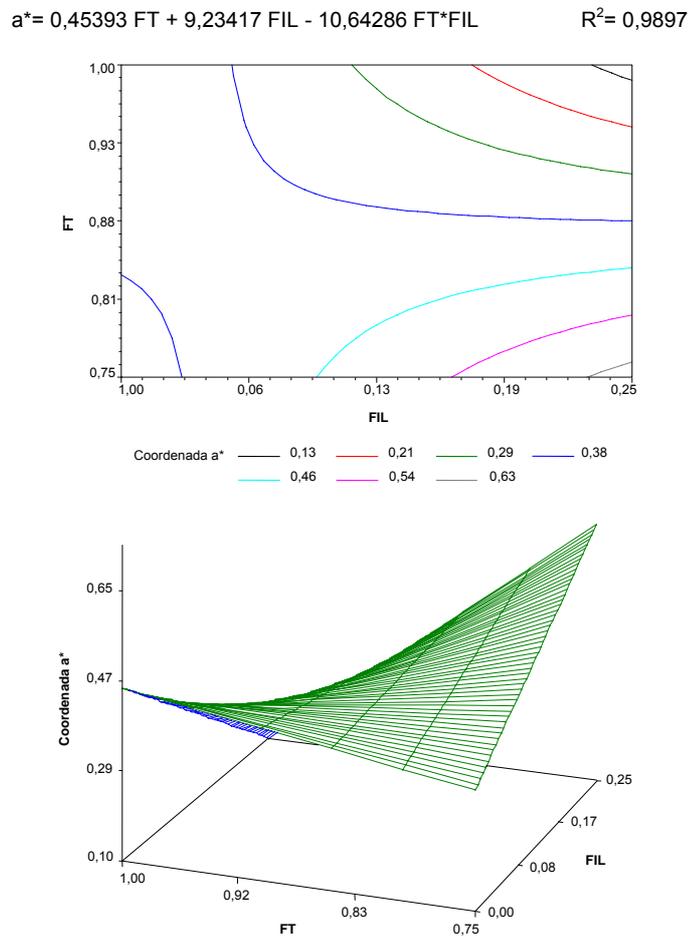


FIGURA 4: Gráficos de contorno e de superfície de resposta para a variação da coordenada a^* das farinhas mistas de trigo e linhaça.

Os valores de a^* diferiram ($p < 0,05$) entre os tratamentos, demonstrando que quanto maior o grau de substituição de farinha de trigo pela farinha de linhaça, mais a cor das farinhas tendeu-se ao vermelho.

A Adição de farinha integral de linhaça também alterou ($p < 0,05$) os valores de b^* . Entretanto, o baixo R^2 para o modelo linear e a presença de coeficientes não significativos nos modelos quadrático e cúbico especial impossibilitou a seleção da equação que melhor explicasse as variações ocorridas nas farinhas mistas.

Os valores de b^* para a farinha de trigo e farinha integral de linhaça foram 9,68 e 14,26, respectivamente. Desta forma, pode-se observar por meio da Tabela 3, uma tendência para a cor amarela nas farinhas mistas

com incremento nos valores de b^* na medida em que se aumentou os níveis de FIL na formulação.

TABELA 3: Coordenada de cromaticidade b^* (\pm desvio padrão) das farinhas mistas de trigo e linhaça.

Farinhas mistas	Coordenada de cromaticidade b^*
F0	9,68 \pm 0,05
F5	9,57 \pm 0,11
F10	9,46 \pm 0,03
F15	9,87 \pm 0,02
F20	10,22 \pm 0,42
F25	10,16 \pm 0,23

A incorporação do pericarpo à semente de linhaça na farinha integral é o principal responsável pela coloração e tonalidades escuras das farinhas mistas. De modo geral, as farinhas para panificação devem ser “brancas” porém, produtos considerados “integrais”, têm coloração naturalmente mais escura (marrom avermelhado), como foi observado, neste trabalho, nas farinhas mistas.

2.3.3 Análises físico-químicas das farinhas mistas de trigo e linhaça

As farinhas de trigo, farinha integral de linhaça e farinhas mistas F5, F10, F15, F20 e F25 foram avaliadas em relação ao teor de umidade, apresentando, respectivamente, 13,56 %; 7,06 %; 12,86 %; 12,67 %; 12,07 %; 11,75 % e 11,65 %. Estes resultados encontram-se de acordo com aqueles obtidos por Maciel (2006) em farinhas mistas de trigo e linhaça, sendo considerados seguros pela legislação brasileira, que estabelece o máximo de 15 % de umidade para este produto (BRASIL, 2005).

A adição de farinha integral de linhaça promoveu incremento nos teores lipídicos das farinhas mistas, com diferença significativa, a 5 % de probabilidade. Dentre os modelos testados, o linear foi o que melhor explicou a variação nos teores lipídicos nas farinhas mistas, com coeficiente de determinação de 98,68 %.

Na Figura 5, verifica-se a representação gráfica de lipídios em função da presença de farinha integral de linhaça nas farinhas mistas.

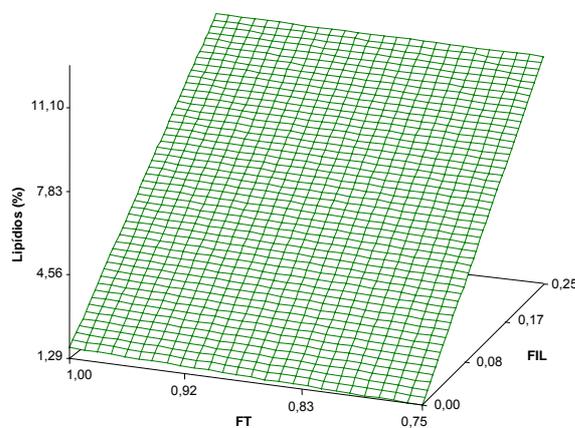
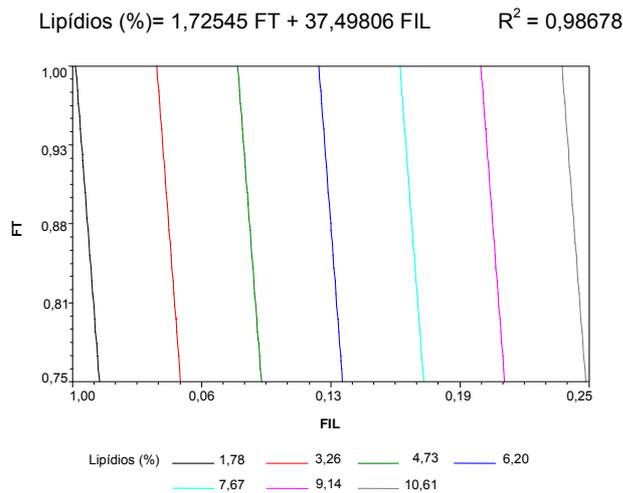


FIGURA 5: Gráficos de contorno e de superfície de resposta para a variação de lipídios (% base seca) das farinhas mistas de trigo e linhaça.

O teor de lipídios nas farinhas mistas variou de 1,78 % (F0) a 10,92 % (F25), sendo o valor encontrado para F0, superior ao verificado por Lima (2007). Considerando o efeito dos lipídios da farinha nas propriedades do glúten, este incremento pode ser interessante do ponto de vista tecnológico por agir positivamente na estrutura protéica da massa, além de favorecer a uma maior retenção de gases, contribuindo para maior volume e maciez em pães.

De um modo geral, os efeitos dos lipídios em panificação incluem a modificação da estrutura do glúten no estágio de mistura, a polimerização das proteínas por meio dos processos que envolvem a oxidação lipídica, uma melhor retenção de gás pelo selamento das células, além da ação lubrificante e do retardamento no envelhecimento do pão. Os lipídios naturais da farinha de trigo compreendem, aproximadamente, 2 % de seu

peso total, podendo ser classificados como livres (não polares) e ligados (polares). Mais da metade dos lipídios na farinha associa-se às proteínas do glúten durante a mistura da massa (PAPANTONIOU et al., 2004).

A interação proteína-lipídio na massa tem um impacto importante sobre a qualidade dos produtos de panificação. A compreensão dessas interações no glúten pode auxiliar no desenvolvimento de soluções tecnológicas para melhorar a qualidade tecnológica da farinha, bem como as propriedades funcionais do glúten (MCCANN et al., 2009).

Os lipídios polares associam-se à gliadina, exercendo efeito positivo sobre as propriedades reológicas, auxiliando no desenvolvimento da massa, pela habilidade que possuem de se ligarem à proteína e amido; além de reforçarem a parede das células de gás, aumentando o volume do produto final. Os lipídios não polares encontram-se na superfície de partículas de amido ou dispersos na massa sob a forma de pequenas gotículas (KELLER; ORSEL; HAMER, 1997; GUNNING et al., 1999; LI; DOBRASZCZYK; WILDE, 2004).

Segundo McCann et al. (2009), glicolipídios associam-se às gluteninas tanto por interações hidrofóbicas quanto por ligações de hidrogênio enquanto que fosfolipídios interagem preferencialmente com gliadinas.

O estudo de Oomah, Mazza e Przybylski (1996) a respeito da composição lipídica de semente de linhaça utilizando diferentes solventes, comprova que ela possui predominância de lipídios polares. Desta forma, o aumento de lipídios obtidos nas farinhas mistas pode ser favorável ao processamento de pão de sal.

O efeito linear da farinha de trigo e farinha de linhaça foi significativo ($p < 0,05$), indicando que um aumento nestas variáveis independentes implica num incremento de cinzas nas farinhas mistas, sendo 96,72 % das variações ocorridas, explicadas pela regressão. Na Figura 6 são apresentados os gráficos de contorno e de superfície de resposta para cinzas nas farinhas mistas de trigo e linhaça.

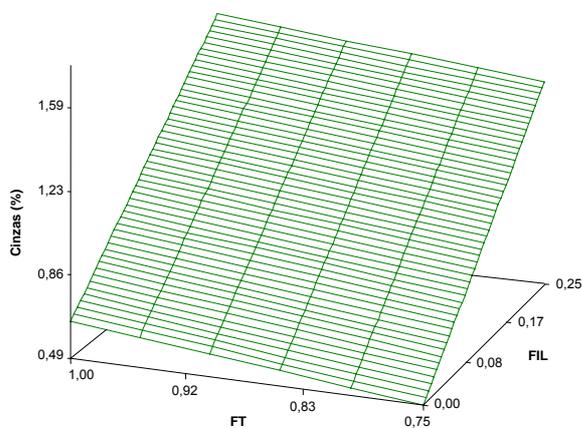
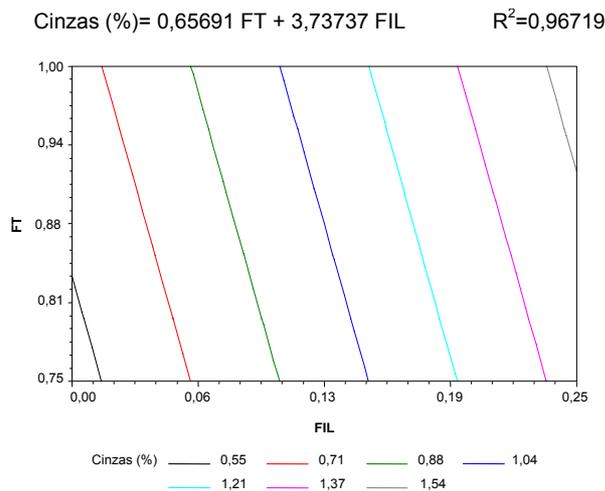


FIGURA 6: Gráficos de contorno e de superfície de resposta para a variação de cinzas (% base seca) das farinhas mistas de trigo e linhaça.

Com o aumento nos níveis de adição de farinha de linhaça, obteve-se um incremento no conteúdo de cinzas em comparação a farinha sem linhaça (0,45 %), chegando a 62,25 % na maior concentração (F25), conforme ilustra a Figura 6. Hussain et al., (2006) observaram essa elevação do teor de cinzas, quando adicionaram farinha de linhaça em “cookies”. Estas diferenças são atribuídas aos minerais presentes na farinha de linhaça. O teor de cinzas obtido na farinha de linhaça no presente estudo foi de 3,52 %, próximo ao valor obtido por Moura (2008). O conteúdo de cinzas da farinha de trigo é considerado uma importante medida de qualidade. Seu teor por si só não está relacionado com a qualidade final do produto, mas fornece indicações sobre o grau de extração (GUTKOSKI, NODARI; NETO, 2003). Na legislação brasileira, o teor de cinzas é usado para classificar a farinha de uso doméstico entre especial, comum e integral.

O teor de fibra bruta nas farinhas mistas aumentou ($p < 0,05$) com o incremento de farinha de linhaça na formulação. Conforme a Figura 7, o efeito linear foi 96,49 % das variações ocorridas nesta variável.

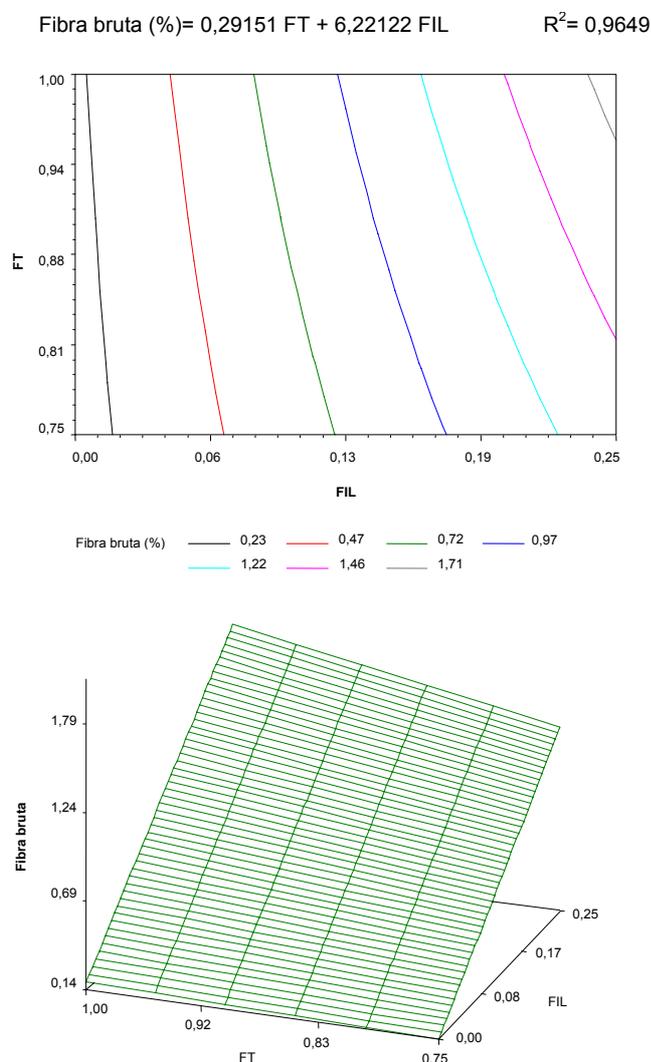


FIGURA 7: Gráficos de contorno e de superfície de resposta para a variação de fibra bruta (% base seca) das farinhas mistas de trigo e linhaça.

Resultados semelhantes foram obtidos por Bombo (2006) em farinhas mistas de milho e linhaça nas proporções de 70:30. A linhaça tem sido amplamente utilizada como uma das principais fontes de componentes bioativos no campo dos alimentos funcionais. Além de ser uma das mais ricas fontes de ácido graxo α -linolênico, fibra alimentar e lignanas (MEAGHER; BEECHER, 2000; ZHANG et al., 2009).

Altos teores de fibra foram, também, verificados por Justo et al. (2007), em pães provenientes de farinhas mistas: trigo, linhaça e soja nas proporções de 85:10:05. Para os autores, esse resultado foi atribuído ao conteúdo de fibra alimentar presente na linhaça (22,60 %).

A utilização de ingredientes integrais, ricos em fibras, favorece a obtenção de produtos de panificação de coloração mais escura, textura mais firme e de reduzido volume, limitando o consumo e a aplicação de inúmeras matérias-primas em diferentes formulações alimentícias. Este aumento no teor de fibra nestas farinhas mistas poderá ser prejudicial à panificação pela sua alta capacidade de Absorção de Água ou pela formação de barreira física na matriz do glúten, agindo como pontos de fraqueza ou "stress" (FONSECA et al. 1997; WANG; ROSELL; BARBER, 2002), prejudicando a expansão da massa durante a fermentação.

Nos últimos anos, o estilo de vida saudável vem direcionando a vida de um número cada vez maior de pessoas. Este novo estilo de vida inclui, principalmente, uma alimentação baseada em produtos que não comprometam a saúde ou até promovam benefícios à mesma. Com isso, uma grande tendência é a preferência por alimentos, ingredientes e aditivos naturais (MELO, 2004).

Com o aumento da demanda por alimentos naturais, as indústrias estão pesquisando novos métodos para a obtenção de melhoria das características como maciez, textura e maior durabilidade dos pães, geralmente obtidas com a utilização de aditivos químicos. Nesse contexto, coadjuvantes tecnológicos "naturais", que não foram produzidos por síntese química, como as enzimas, vêm sendo cada vez mais utilizados (HAROS; ROSELL; BENEDITO, 2002; NÉRON et al., 2004).

As enzimas são empregadas na produção de diversos produtos e ingredientes alimentícios. Em panificação são utilizadas como componentes de melhoradores ou condicionadores de massas.

As enzimas mais utilizadas em panificação são as amilases (HAROS; ROSELL; BENEDITO, 2002; LEÓN; DURÁN; BARBER, 2002; GIMÉNEZ et al., 2007). Além das amilases, recentemente vêm sendo introduzidas novas enzimas na tecnologia de panificação, dentre as quais podemos destacar as

hemicelulases, as glicose-oxidases, as xilanases, as lipases e as proteases (VAN DER MAAREL et al., 2002).

A adição das enzimas em panificação tem como objetivo melhorar as características reológicas da massa, atuando nas moléculas do amido ou das proteínas, aumentando o volume do pão, a vida útil e melhorando a estrutura do miolo (POUTANEN, 1997; HASAN; SHAH; HAMEED, 2006).

A utilização de farinha integral de linhaça interferiu no teor proteico das farinhas mistas, com diferença significativa, a 5 % de probabilidade. Na Figura 8 são apresentados os resultados em função da porcentagem de substituição de farinha de trigo pela farinha integral de linhaça. O modelo cúbico especial foi o que melhor explicou a variação deste macro-nutriente nas farinhas mistas, com R^2 de 95,03 %.

$$\text{Proteína (\%)} = 14,23542 \text{ FT} - 560,20650 \text{ FIL} + 1496,49610 \text{ FT} * \text{FIL} - 978,37284 \text{ FT} * \text{FT} * \text{FIL}$$

$$R^2 = 0,9503$$

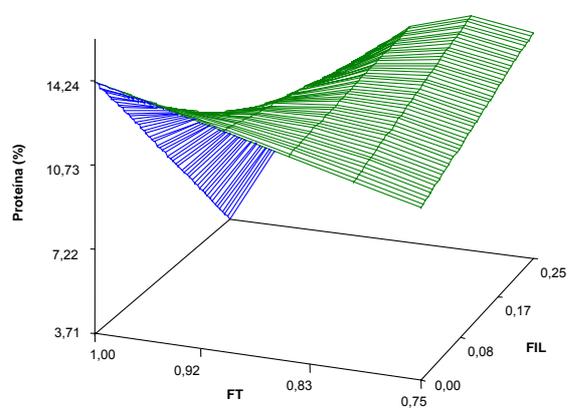
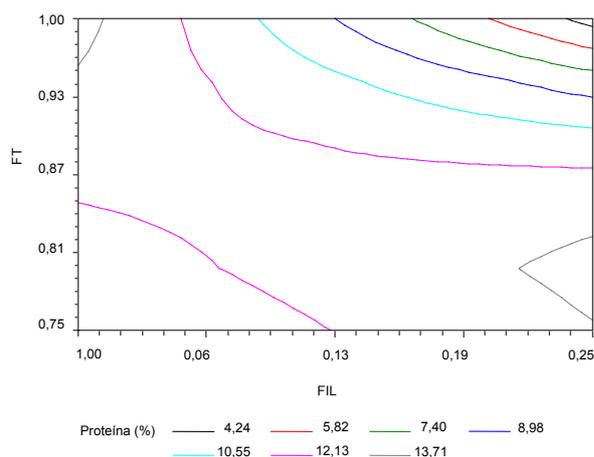


FIGURA 8: Gráficos de contorno e de superfície de resposta para a variação de proteína (% base seca) das farinhas mistas de trigo e linhaça.

Pode-se perceber uma redução de proteína quando a farinha de linhaça foi incorporada à mistura, cujos valores aumentaram com o incremento nos níveis de substituição da farinha de trigo (Figura 8). Do ponto de vista tecnológico, isto pode ser indesejável, uma vez que estas proteínas não são formadoras de glúten (WU; HUFF; HSIEHI, 2007), favorecem sua diluição e enfraquecimento, comprometendo propriedades importantes para produção de pães. Entretanto, o uso de condicionadores de massa (LOPES et al., 2007; ANVISA, 1999), como ácido ascórbico, por exemplo, podem minimizar os efeitos prejudiciais dessas proteínas sobre a massa, por atuarem diretamente sobre a estrutura do glúten, reforçando-a, afetando positivamente a reologia da massa, diminuindo sua Extensibilidade e aumentando a Resistência à extensão e a capacidade de retenção de gases, resultando em pães com maior volume.

No presente estudo, constatou-se que, os teores de proteína encontram-se, conforme sugerido por Guarienti (1996), para fabricação de pão francês (10,50 % a 13,00 %) e pão de forma (11,50 % a 14,50 %). Segundo Felício et al., (2001), este parâmetro é apenas um complemento dos demais a serem analisados, pois a qualidade de panificação está, também, relacionada à qualidade das proteínas presentes na farinha.

A adição de farinha integral de linhaça reduziu os teores de carboidratos nas farinhas mistas. Houve diferença significativa, a 5 % de probabilidade. O modelo cúbico especial foi o que melhor explicou a variação neste componente nas farinhas mistas em função da substituição da farinha de trigo pela farinha de linhaça. O R^2 para este modelo indicou que a regressão explicou 99,93 % da variação dos dados observados. Na Figura 9 são mostradas a equação de regressão, o R^2 e a representação gráfica para carboidratos.

Um incremento nos teores de farinha integral de linhaça na formulação reduziu os teores de carboidratos totais nas farinhas mistas de 83,16 % (F0) para 73,24 % (F25). Comportamento semelhante foi obtido por Maciel (2006) ao substituir 5 % a 15 % de farinha de trigo por farinha integral de linhaça.

A redução nos teores de carboidratos, associado à alta concentração de fibras e proteínas não formadoras de glúten, relacionam-se a produtos de

panificação com características indesejáveis de volume, cor e textura. O amido, proveniente da farinha de trigo é considerado um carboidrato de suma importância, pois contribui para a formação da estrutura do pão no cozimento, consistência e textura do miolo, favorecendo ao volume e a cor (QUEJI; SCHEMIN; TRINDADE, 2006). Além disso, é substrato para enzimas diastásicas (α e β amilases), as quais desdobram o grânulo em dextrina e maltose. É essencial dispor de uma atividade enzimática equilibrada durante a fermentação da massa para que haja uma suplementação adequada de açúcares em condições suficientes para produção contínua de gás carbônico, a fim de possibilitar uma expansão adequada da massa.

$$\text{Carboidratos (\%)} = 83,21540 \text{ FT} + 855,61118 \text{ FIL} - 2085,11095 \text{ FT} * \text{FIL} + 1330,66667 \text{ FT} * \text{FT} * \text{FIL}$$

$$R^2 = 0,9993$$

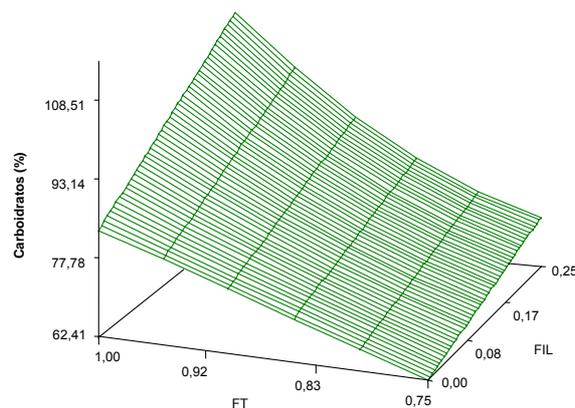
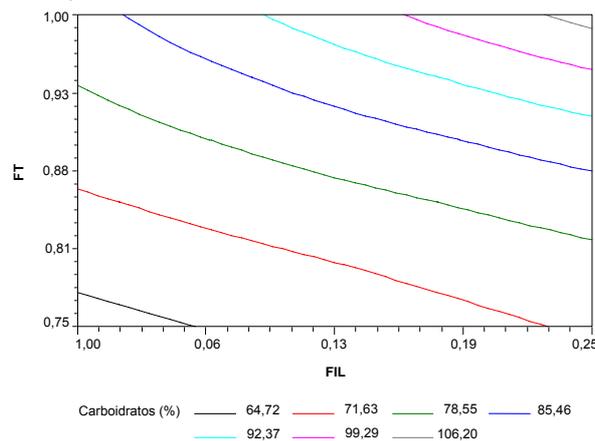


FIGURA 9: Gráficos de contorno e de superfície de resposta para a variação de carboidratos (% base seca) das farinhas mistas de trigo e linhaça.

Os principais componentes de linhaça, em base seca, são proteínas (21 %), fibra alimentar (28 %) e de lipídios (41 %). É rica em ácidos graxos poliinsaturados (73 %), moderada em ácidos graxos monoinsaturados (18 %) e baixa em ácidos graxos saturados (9 %). O ácido linoléico constitui cerca de 16 % do total de ácidos graxos, enquanto o ácido α -linolênico, constitui cerca de 57 %, superior a qualquer óleo de origem vegetal (RAMCHARITAR, et al., 2005). Desta forma, inúmeros estudos têm sido desenvolvidos com a aplicação desta semente em produtos de padaria (RAMCHARITAR et al., 2005; SHEARER; DAVIES, 2005; CONFORTI; DAVIS, 2006; KOCA; ANIL, 2007) seja na forma de semente ou ainda pela utilização de seu óleo, além de produtos cárneos (PELSER et al., 2007; VALENCIA et al., 2008).

2.3.4 Análises reológicas das farinhas mistas de trigo e linhaça

2.3.4.1 Farinografia

A adição de farinha integral de linhaça aumentou significativamente ($p < 0,05$) os teores de Absorção de Água pelas farinhas mistas, sendo necessária a adição de maiores quantidades à farinha para que o centro da curva atingisse a linha as 500 UF, no farinograma. O modelo quadrático foi o que melhor explicou a variação nos teores de Absorção de Água pelas farinhas mistas em função da substituição da farinha de trigo pela farinha de linhaça. O R^2 para este modelo indicou que a regressão explicou 99,27 % da variação dos dados observados (Figura 10).

$$\text{Absorção de Água (\%)} = 63,86131 \text{ FT} + 47,85250 \text{ FIL} + 73,30952 \text{ FT} * \text{FIL}$$

$$R^2 = 0,9927$$

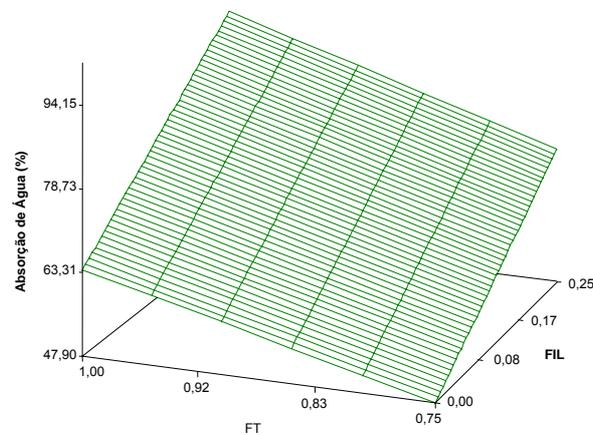
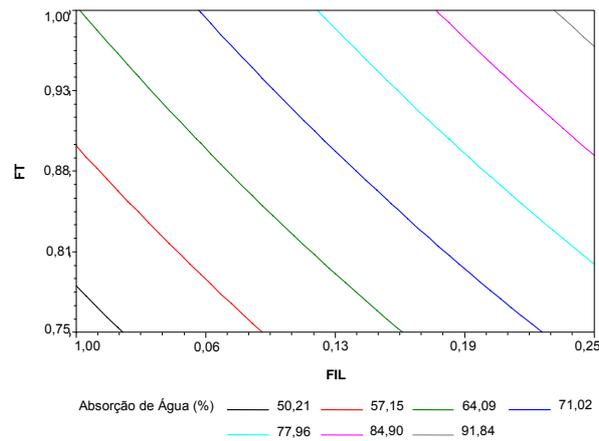


FIGURA 10: Gráficos de contorno e de superfície de resposta para a variação de Absorção de Água (%) das farinhas mistas de trigo e linhaça.

Essa determinação é importante, do ponto de vista tecnológico, pois a água assegura a interação das proteínas que dão origem ao glúten, controla a consistência da massa, dissolve sais, umedece e intumesce o amido deixando-o mais digerível e fornece meio propício ao desenvolvimento da atividade enzimática.

A Absorção de Água é influenciada por vários fatores, e dentre eles, o teor e a qualidade da proteína e do amido. De modo geral, para a farinha de trigo, quanto mais água absorve, melhor será do ponto de vista econômico, pois seu rendimento em massa será maior. Neste caso, o aumento da Absorção de Água se deve ao aumento da quantidade de fibra bruta presente na farinha mista. Isto é provavelmente causado pelo grande número de grupos hidroxilas existentes na estrutura da fibra, o que permite

maior número de interações e mais água por meio de ligações de hidrogênio (ROSELL; ROJAS; BARBER, 2001; COSKUNER; KARABABA, 2007).

Resultado semelhante foi também observado por Tedrus et al. (2001) ao adicionarem farinha de aveia à de trigo e Perez e Germani (2004) em farinha mista de trigo e berinjela. Os autores atribuíram a esse fato o aumento do conteúdo de fibras que possuem grande capacidade de absorver água na farinha mista em relação à farinha de trigo.

De acordo com Basman e Koksel (1999), Wang, Rosell e Barber (2002), Hu et al. (2009), Seyer e Gélinas (2009) ao se utilizar a farinha de trigo associada às matérias-primas ricas em fibra, como por exemplo, farinha de linhaça, farinha de aveia, farelos em geral, dentre outros, é de se esperar que ocorra aumento na capacidade de Absorção de Água pela massa, seguida de diversas modificações nas propriedades reológicas da mistura.

Adição de farinha integral de linhaça reduziu significativamente a Estabilidade, o Tempo de Desenvolvimento da Massa, aumentando o Índice de Tolerância à Mistura ($p < 0,05$). O modelo cúbico especial foi o que melhor explicou o efeito das farinhas mistas nestes fatores, aproximadamente 96 %, 88 % e 98 % das variações ocorridas, respectivamente (Figuras 11, 12 e 13).

Estabilidade (min)= 23,04024 FT-2985,30500 FIL+7852,14586 FT*FIL-5253,33333 FT*FT*FIL

R²= 0,9648

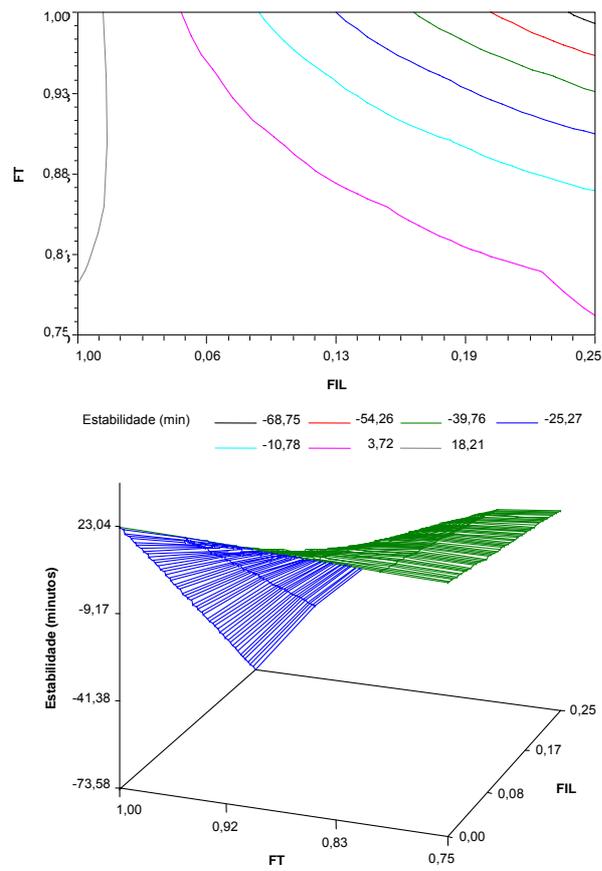


FIGURA 11: Gráficos de contorno e de superfície de resposta para a variação da Estabilidade (min) das farinhas mistas de trigo e linhaça.

$$\text{ITM (UF)} = 21,55981 \text{ FT} + 7377,83204 \text{ FIL} - 18382,00000 \text{ FT} \cdot \text{FIL} + 11596,00000 \text{ FT}^2 \cdot \text{FIL} \\ R^2 = 0,9798$$

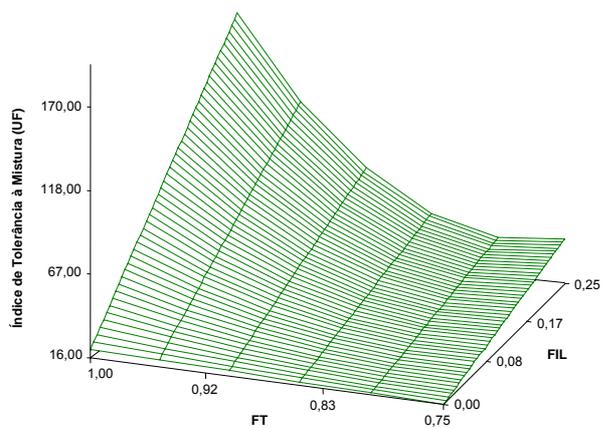
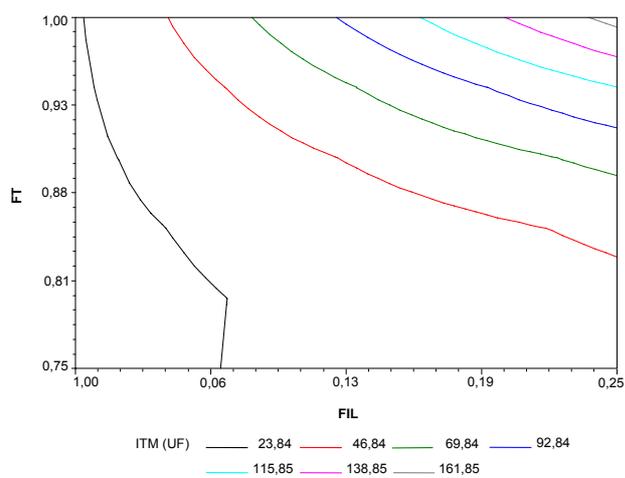


FIGURA 12: Gráficos de contorno e de superfície de resposta para a variação no Índice de Tolerância à Mistura (ITM) (UF) das farinhas mistas de trigo e linhaça.

$$\text{TDM (min)} = 16,77463 \text{ FT} - 804,19759 \text{ FIL} + 2028,69665 \text{ FT} \cdot \text{FIL} - 1261,23457 \text{ FT}^2 \cdot \text{FIL}$$

$$R^2 = 0,8843$$

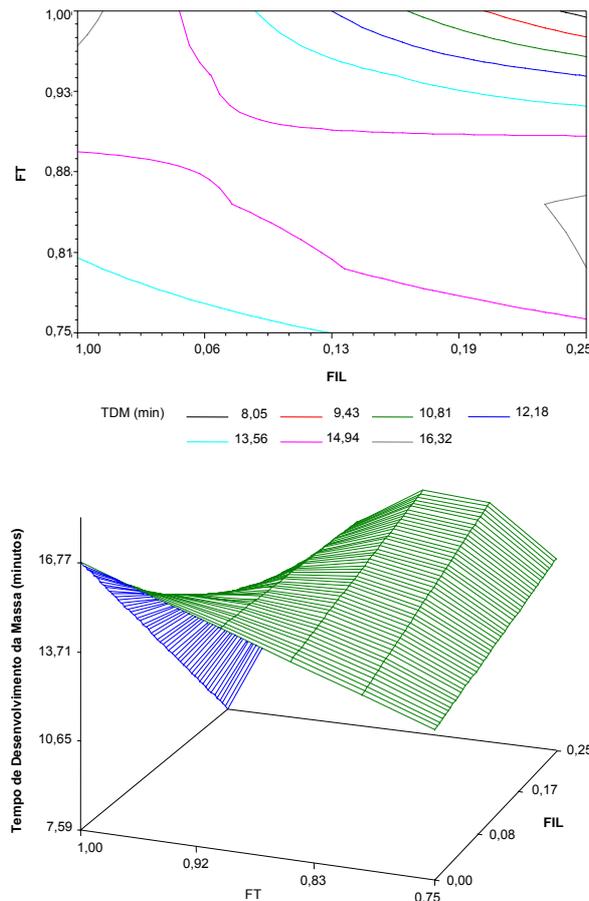


FIGURA 13: Gráficos de contorno e de superfície de resposta para a variação no Tempo de Desenvolvimento da Massa (TDM) (min) das farinhas mistas de trigo e linhaça.

Estes comportamentos podem ser atribuídos à diferença granulométrica da farinha integral de linhaça (maior que na farinha de trigo) e à presença das fibras alimentares, que interfere na rede de glúten, impedindo a formação de uma rede protéica coesa e estável, causando ruptura da massa e redução de sua resistência ao amassamento em decorrência da interferência dos componentes da farinha de linhaça nas ligações cruzadas entre as gliadinas e gluteninas. As ligações de hidrogênio e de enxofre desempenham grande importância na formação do glúten, na elasticidade, na Extensibilidade, na impermeabilidade ao gás e no poder de Absorção de Água pela massa (INDRANI; RAO, 2007). A diminuição da resistência da massa ao amassamento foi comprovada pela pouca consistência das massas produzidas com as farinhas mistas durante todo o

processo, e também pela diminuição na espessura da curva do gráfico sobre a linha das 500 UF (Anexo 13, Figura 21). Lima (2007) observou comportamento semelhante em massas contendo farinha de linhaça nas concentrações de 4 %, 7 % e 10 %, quando comparada ao Controle, contendo 100 % de farinha de trigo. Também Sudha, Vetrimani e Leelavathi (2007) ao avaliarem a influência da adição de farinha de aveia e cevada nas características reológicas da massa de farinha de trigo, obtiveram resultado similar. Gandra et al. (2008) observaram enfraquecimento da massa, registrando um aumento nos valores de ITM ao adicionarem farelo de trigo à farinha de trigo para elaboração de pães de forma.

2.3.4.2 Extensografia

As Figuras 14 e 15 apresentam a equação de regressão, o coeficiente de determinação e a representação gráfica dos resultados de R_{max} (UE) e E (mm) das farinhas mistas. O modelo quadrático para R_{max} (UE) e cúbico especial para E (mm) foram aqueles que melhor explicaram os efeitos das farinhas mistas de trigo e linhaça nas propriedades extensíveis da massa, demonstrando que 92,25 % e 99,74 % da variação ocorrida está sendo explicada pela regressão.

$$R_{\max} \text{ (UE)} = 289,31262 \text{ FT} + 3362,34833 \text{ FIL} - 4455,66667 \text{ FT} \cdot \text{FIL}$$

$$R^2 = 0,9225$$

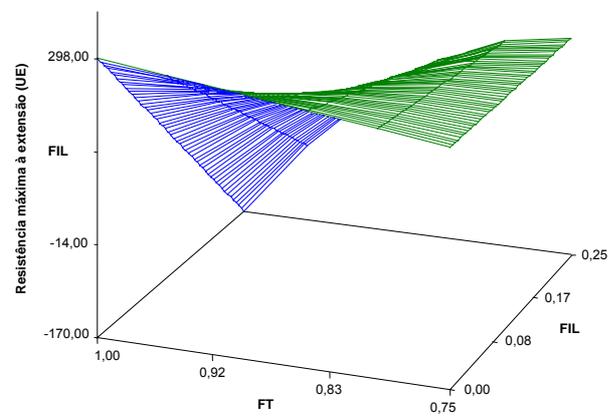
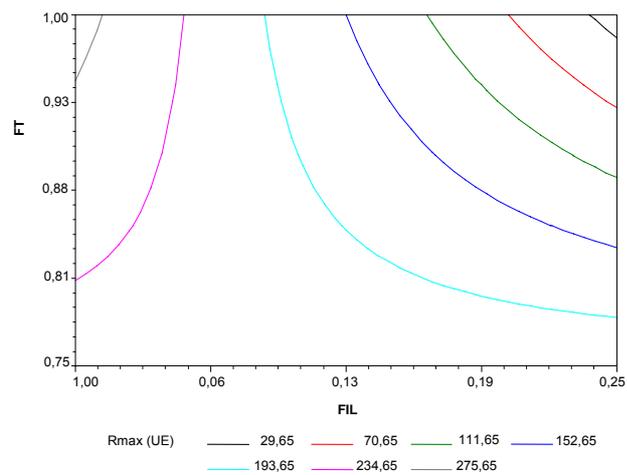


FIGURA 14: Gráficos de contorno e de superfície de resposta para Resistência máxima à extensão (Rmax) (UE) das farinhas mistas de trigo e linhaça.

Extensibilidade (mm)= 124,17860 FT-5743,76981 FIL+14456,00000 FT*FIL-9135,30864 FT*FT*FIL
 $R^2= 0,99744$

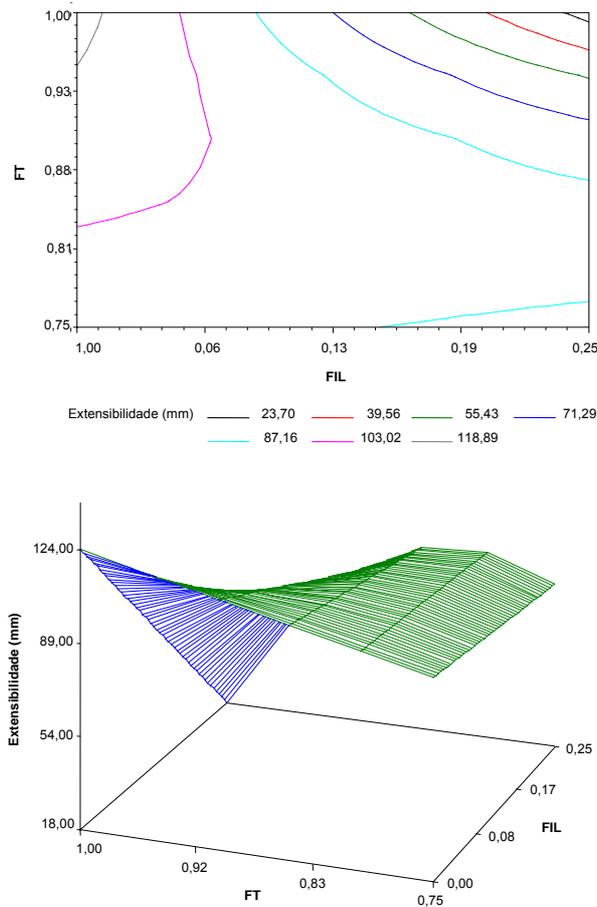


FIGURA 15: Gráficos de contorno e de superfície de resposta para Extensibilidade (mm) das farinhas mistas de trigo e linhaça.

A equação de regressão, o coeficiente de determinação e a representação gráfica dos resultados de R/E das farinhas mistas encontram-se na Figura 16. O modelo cúbico especial foi o mais adequado dentre os modelos testados, explicando 92,35 % da variação observada nas farinhas mistas.

$$R/E = 2,11548 FT + 21,51500 FIL - 23,85714 FT * FIL \quad R^2 = 0,92349$$

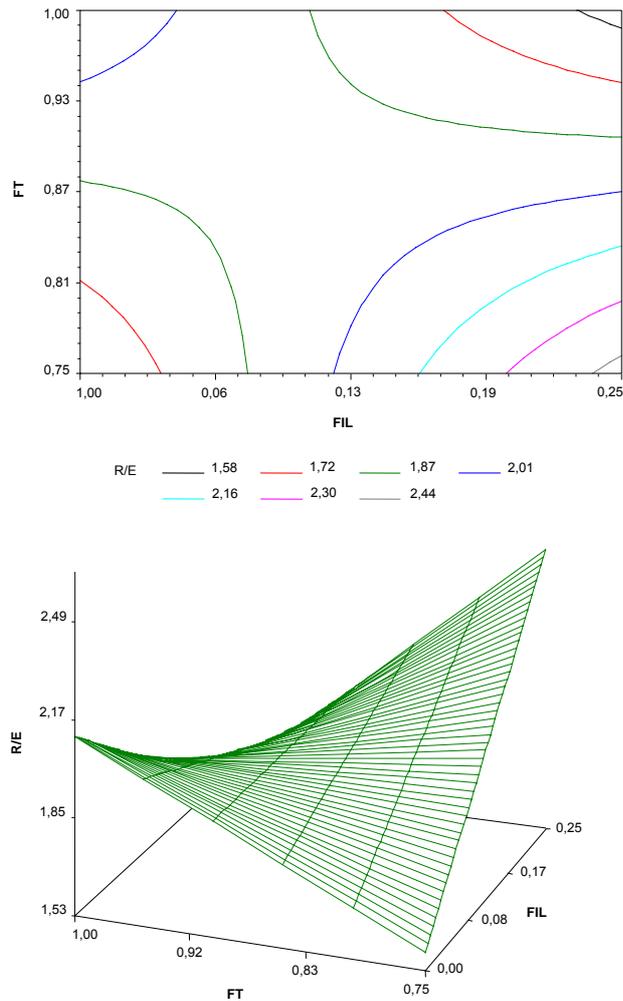


FIGURA 16: Gráficos de contorno e de superfície de resposta para a variação de R/E das farinhas mistas de trigo e linhaça.

Conforme antecipado pelos resultados de farinografia, a adição de farinha de linhaça resultou em enfraquecimento do glúten e a massa não conservou a extensibilidade e elasticidade, o que pode ser atribuído ao aumento de fibra insolúvel na mistura. Segundo Courtin, Roelants e Delcour (1999) e Goesart et al. (2005), a presença destas fibras na massa reduziu sua Extensibilidade e aumentou sua Resistência máxima à extensão.

De acordo com Campos (1985), o glúten representa a estrutura da massa de farinha de trigo e é responsável pelas características de extensibilidade e elasticidade (ou resistência à extensão) e, no processo de panificação, permite a retenção de gases e formação da estrutura do produto final. Wang, Rosell e Barber (2002) comentam que as fibras interagem com as proteínas, agindo como pontos de fraqueza ou "stress", facilitando a

ruptura física da matriz do glúten e, conseqüentemente, prejudicando a expansão da massa. Oliveira, Pirozi e Borges (2007) também observaram perdas nestas propriedades ao avaliarem farinhas mistas de trigo e linhaça nas proporções de 95:05, 90:10 e 85:15. A adição de farinha de linhaça prejudicou a qualidade tecnológica da massa pela redução de glúten, demonstrando que as diferentes misturas não apresentaram as características ideais para a produção de pão. Por outro lado, foi observado um incremento na R_{max} com o aumento crescente de farinha de linhaça nas misturas, o que pode ser atribuído à maior incorporação de lipídios polares na massa.

Os resultados extensográficos mostram que as formulações contendo farinha integral de linhaça apresentaram resultados de massa muito rígida e curta, com redução de E e aumento da R_{max} e R/E , demonstrando maior tendência ao encolhimento. A presença de glúten excessivamente elástico previne a expansão da massa na fermentação e forneamento, dando origem a pães pesados e de menor volume.

As massas obtidas a partir das farinhas mistas apresentaram consistência pegajosa, evidenciando quebra da estrutura do glúten, com liberação de água, sendo esta característica mais acentuada nas formulações contendo 20 % e 25 % de farinha integral de linhaça, não permitindo o boleamento e a moldagem feitos no extensógrafo. Assim, essa etapa foi realizada manualmente para todas as formulações.

Em concordância com os parâmetros farinográficos, as farinhas mistas utilizadas neste trabalho apresentaram características extensográficas impróprias à fabricação de pães.

2.3.4.3 Número de Queda

A Figura 17 apresenta a equação de regressão, o coeficiente de determinação e os gráficos de contorno e de superfície de resposta para Número de Queda (NQ) (s) das farinhas mistas de trigo e linhaça, sendo o modelo cúbico especial o que melhor explicou as alterações ocorridas, com R^2 indicando que 96,44 % da variação ocorrida está sendo explicada pela regressão.

$$NQ (s) = 417,34392 FT + 46216 FIL - 117586,00000 FT * FIL + 75654,00000 FT * FT * FIL$$

$$R^2 = 0,9644$$

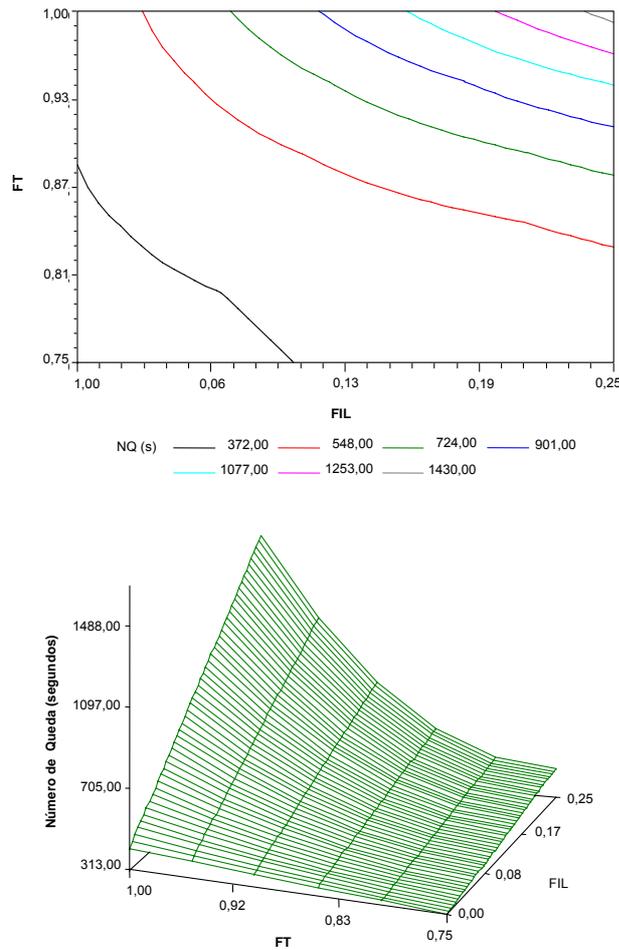


FIGURA 17: Gráficos de contorno e de superfície de resposta para a variação do Número de Queda (NQ) (s) das farinhas mistas de trigo e linhaça.

Percebe-se que um aumento nos valores de número de queda nas farinhas mistas, com o incremento de farinha integral de linhaça na mistura. Entretanto, todas as farinhas apresentaram número de queda superiores a 350 segundos, sendo consideradas de baixa atividade enzimática. O número de queda ideal para produção de pães varia de 200 a 250 segundos (PYLER, 1988; BRASIL, 2001). Estes resultados estão relacionados ao volume e textura final dos pães, onde farinhas com alta atividade enzimática geram pães pesados, com baixo volume e miolo pegajoso; e aquelas com baixa atividade enzimática, pães com volume reduzido e miolo seco. Assim, para as farinhas mistas no presente estudo, conforme sugerem Gutkoski e Neto (2002), Goesaert et al. (2005), o desejável seria suplementação enzimática (α e β amilase), visando melhorar a qualidade final do produto.

2.3.4.4 Teste de panificação experimental

As Figuras 18 e 19 apresentam os resultados do teste de panificação das farinhas, considerando o Escore Total, obtido a partir da avaliação das características externas (cor de crosta, quebra e simetria) e internas (cor de miolo e estrutura de células) e o Volume Específico dos pães. Os modelos cúbico especial e linear foram aqueles que melhor explicaram as variações causadas no Escore Total e no Volume Específico dos pães demonstrando que 98,34 % e 96,89 % das variações ocorridas foram explicadas pela regressão, respectivamente.

$$\text{Escore Total} = 39,66614 \text{ FT} - 1485,60370 \text{ FIL} + 3656,27866 \text{ FT} * \text{FIL} - 2293,82716 \text{ FT} * \text{FT} * \text{FIL}$$
$$R^2 = 0,9834$$

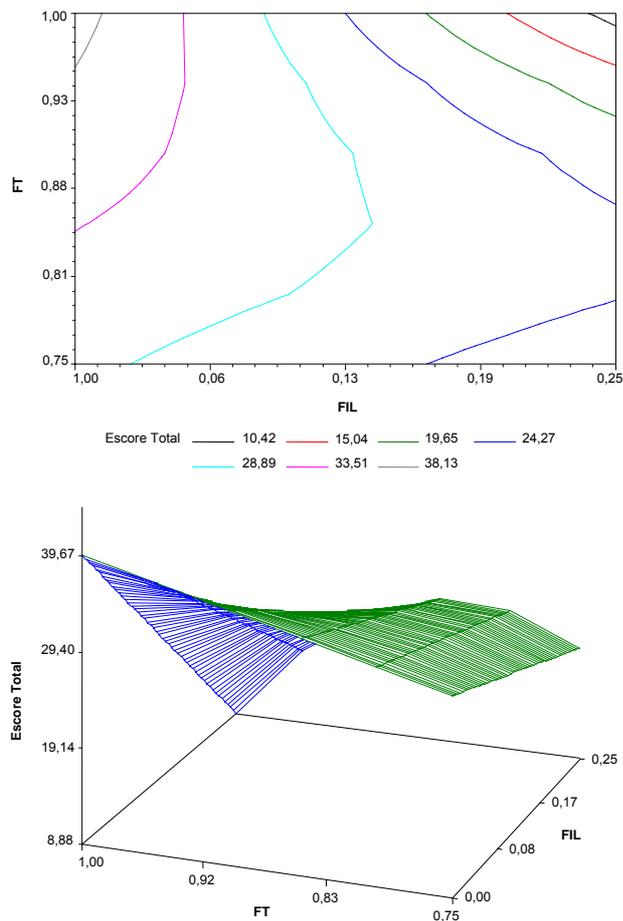


FIGURA 18: Gráficos de contorno e de superfície de resposta para a variação de Escore Total de pães obtidos a partir das farinhas mistas de trigo e linhaça.

$$\text{Volume Específico (mL/g)} = 3,76063 \text{ FT} - 1,63556 \text{ FIL}$$

$$R^2 = 0,9689$$

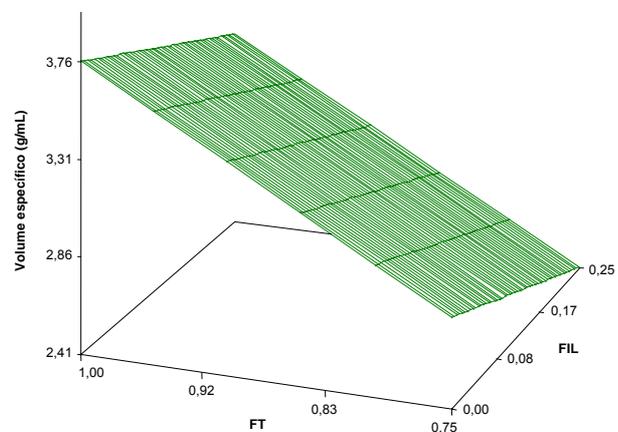
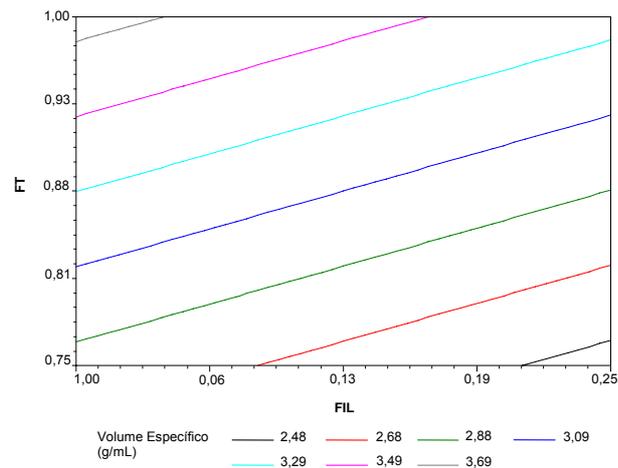


FIGURA 19: Gráficos de contorno e de superfície de resposta para a variação de Volume Específico (mL/g) de pães obtidos a partir das farinhas mistas de trigo e linhaça.

Menores notas no Escore Total foram atribuídas àqueles pães contendo maiores níveis de farinha de linhaça, indicando que sua utilização influenciou negativamente a qualidade dos produtos, considerando-se atributos como cor de crosta e de miolo, quebra e simetria e estrutura de miolo.

À medida que foi aumentando a porcentagem de farinha integral de linhaça na formulação, ocorreu diminuição acentuada de volume nos pães de sal, o que está diretamente associado à diluição do glúten e enfraquecimento de sua estrutura. O comprometimento da estrutura do glúten implica em alterações das propriedades viscoelásticas da massa que, por sua vez, não consegue formar uma rede capaz de se expandir, dar

forma adequada ao pão e reter com eficiência os gases formados pela fermentação da massa, resultando, portanto em pães de menor volume.

Baixos volumes foram também verificados por Wang, Rosell e Barber (2002) ao produzirem pães contendo em sua formulação inulina, fibras de alfarroba e fibras de ervilha. Resultados semelhantes do efeito de farinhas isentas de glúten, como a farinha de linhaça, em mistura a farinha de trigo na elaboração de “muffins” e pão foram obtidos por Banks, Wang e Susan (1997) e Siddiq et al. (2009), respectivamente.

Segundo Grossman e Barber (1997) e Sánchez, Osella e Torre (1998) o volume do pão está relacionado ao método de processamento, qualidade e quantidade dos ingredientes, principalmente dos melhoradores de farinha. Wang, Rosell e Barber (2002) ressaltam que as interações entre as proteínas da farinha de trigo e as fibras adicionadas ao produto podem impedir a expansão do pão durante o período de fermentação.

Zhang e Moore (1999) e Gómez et al. (2003) observaram que houve redução do volume específico dos pães com o aumento da adição de farelo de trigo em níveis de até 5 % e 15 %, respectivamente. Salmenkallio-Marttila, Katina e Autio (2001) observaram redução de 19 % do volume ao adicionar 20 % de farelo de trigo em formulação de pães.

A adição das enzimas em panificação tem como objetivo melhorar as características reológicas da massa, atuando nas moléculas do amido, das fibras ou proteínas, aumentando o volume do pão, a vida útil, melhorando a estrutura do miolo e características de textura (HASAN; SHAH; HAMEED, 2006; GANDRA et al., 2008). Além das amilases, atualmente vêm sendo introduzidas novas enzimas na tecnologia de panificação, dentre as quais destacam-se as hemicelulases, as glicose-oxidases, as xilanases, as lipases e as proteases (HAROS; ROSELL; BENEDITO, 2002; LEÓN; DURÁN; BARBER, 2002; GIMÉNEZ et al., 2007).

O efeito físico da redução do Volume Específico pela adição do farelo de trigo estaria relacionado à diluição do conteúdo de glúten e à mudança na estrutura do miolo, que fazem com que a retenção de dióxido de carbono fique enfraquecida. Para Wang, Rosell e Barber (2002), a adição de fibra causa aumento da permeabilidade da massa ao gás carbônico, prejudicando a expansão da massa durante a fermentação. A adição de partículas

promove rompimento físico da matriz protéica do glúten da massa, além de restringir e forçar as células de gás a expandirem em uma direção particular, comprometendo a estrutura do miolo nos pães.

2.4 CONCLUSÕES

- Quanto maior o nível de substituição de farinha de trigo pela farinha integral de linhaça, mais heterogênea foi a granulometria das misturas, o que pode influenciar diretamente na Absorção de Água, tempo de assamento e na aparência geral dos pães.

- A presença de farinha integral de linhaça favoreceu ao escurecimento das farinhas mistas, demonstrado pelos baixos valores de L^* , e aumentos de a^* e b^* , o que deve-se também à presença de pericarpo da semente.

- Houve aumento de lipídios nas farinhas mistas, com conseqüente incremento de lipídios polares na massa, propiciando melhorias nas propriedades reológicas da massa, favorecendo a obtenção de pães de textura macia e de volume.

- Houve aumento de fibra bruta nas farinhas mistas, tornando a massa fraca, por formar barreira física com o glúten, interrompendo sua estrutura, o que favorece a obtenção de pães com baixos volumes e textura mais firme.

- A incorporação de farinha de linhaça nas farinhas mistas reduziu os teores de proteína quando comparado à farinha de trigo, aumentando quando maiores níveis desta foi substituído, o que pode ser uma desvantagem do ponto de vista tecnológico, devido à proteína de linhaça não formar glúten.

- Houve redução nos níveis de carboidratos totais na mistura com o incremento de farinha de linhaça na formulação.

- As características farinográficas demonstraram que o aumento crescente de farinha integral de linhaça nas farinhas mistas interferiu nas propriedades tecnológicas da massa, enfraquecendo-a, o que pode ser comprovado pelos baixos valores de Estabilidade, Tempo de Desenvolvimento da Massa e aumento no Índice de Tolerância a Mistura.

- Foram observadas alterações nas características extensográficas das farinhas mistas, com aumento significativo da Resistência máxima à

extensão, redução da Extensibilidade e aumento no número proporcional, com o incremento nos níveis de farinha integral de linhaça na mistura.

- O Número de Queda obtido em todas as farinhas mistas, demonstrou a necessidade de uso de suplementação enzimática de maneira a aumentar a atividade enzimática, tornando a farinha mais adequada ao processamento de pães.

- O Volume Específico e o Escore Total reduziu com o aumento de farinha integral de linhaça na formulação dos pães.

- A utilização de farinha integral de linhaça prejudicou as propriedades reológicas da massa. Entretanto, o uso de aditivos e, ou o emprego de adequações no processamento pode auxiliar no desenvolvimento de características desejáveis à produção de pães.

CAPÍTULO 3

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E SENSORIAL DE PÃES DE SAL ENRIQUÉCIDOS COM FARINHA INTEGRAL DE LINHAÇA

3.1 INTRODUÇÃO

Os produtos de panificação têm um papel importante na nutrição humana. Os pães, geralmente, são considerados uma boa fonte de energia e nutrientes para o ser humano, sobretudo quando são fabricados com grão integral ou farinhas obtidas a partir do beneficiamento com alta taxa de extração (ISSERLIYSKA; KARADJOV; ANGELOV, 2001; INSEL; TURNER; ROSS, 2003; VASCONCELOS et al., 2006), pois a farinha refinada, obtida a partir do endosperma amiláceo, é basicamente fonte de carboidratos (BODROŽA-SOLAROV et al., 2008), considerando que, grande parte dos minerais, vitaminas, fibras, lipídios e proteínas são eliminados junto com o farelo.

De modo geral, eles são consumidos na forma de lanches ou juntamente às refeições, sendo apreciado pela sua aparência, aroma, sabor, preço e disponibilidade. São um dos produtos alimentícios mais estudados com relação a características tecnológicas como a elasticidade da massa, o aspecto de crosta, a crocância, o volume e o sabor (SOMMIER et al., 2005; BATTOCHIO et al., 2006).

Vários estudos têm sido realizados com a finalidade de melhorar o valor nutritivo de pães, no que diz respeito a proteína, minerais, vitaminas e fibras alimentares. Pães obtidos a partir de farinhas mistas, farinhas integrais ou mesmo pela adição de algum micro ou macronutriente em especial, têm adquirido popularidade em todo o mundo, principalmente por contribuir no suprimento de necessidades nutricionais diárias, disponibilizando, ainda, importantes substâncias com alegações de propriedades funcionais, como fibras, ácidos graxos essenciais e outros (KAJICHIMA; PUMAR; GERMANI,

2003; SKRBIC; FILIPCEV, 2008; HU et al., 2009), geralmente deficientes no produto convencional.

Diversas pesquisas evidenciam os efeitos positivos da alimentação acrescentada com linhaça: no tratamento e prevenção de doenças cardiovasculares, câncer, sintomas indesejáveis da menopausa, constipação, entre outras. Pode ser comercialmente encontrada como grão e farinha integral ou desengordurada. Atribui-se ao grão o sabor e aroma de nozes, podendo ser facilmente incorporado a diversos produtos (pães, biscoitos, bolos tipo “muffins”, biscoitos tipo “cookies” e bolos) tanto integralmente, como na forma de farinhas (MORRIS, 2001; BATTOCHIO, 2007; LIMA, 2007; MENTES; BAKKALBAS; ERCAN, 2008).

A nutrição e a alimentação estão relacionadas à qualidade de vida e prevenção de doenças. As características físico-químicas, tecnológicas e sensoriais das matérias-primas e produtos processados são fatores importantes no planejamento, processamento, comercialização e consumo de produtos alimentícios. Do ponto de vista de nutrição e saúde, o conhecimento da composição e funcionalidade dos alimentos forma o pilar da educação nutricional, adequando a ingestão de nutrientes ou componentes funcionais pelos indivíduos ou populações, primando desta forma pela promoção e manutenção da saúde (DANTAS et al., 2005; NEPA, 2006).

O presente trabalho teve por objetivo estudar o efeito da utilização de farinha mista de trigo e de linhaça integral nas características físicas e físico-químicas de pão de sal em comparação com a formulação tradicional, avaliando também seu impacto sobre a aceitação e intenção de compra pelo consumidor.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi desenvolvido nos Laboratórios de Amido e Farinha, Análise de Alimentos do Departamento de Tecnologia de Alimentos e Estudo Experimental dos Alimentos do Departamento de Nutrição e Saúde e na Central de Ensino e Desenvolvimento Agrário de Florestal (CEDAF), da Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.

As farinhas mistas utilizadas neste estudo foram selecionadas com base na avaliação das propriedades farinográficas, extensográficas, qualidade panificável e condições de processamento. As farinhas mistas F5, F10 e F15 foram aquelas que apresentaram os melhores resultados. Considerando os benefícios de consumo da linhaça, foram escolhidas as formulações F10 e F15 para a produção dos pães de sal em uma panificadora comercial da CEDAF, localizada na cidade de Florestal-MG.

3.2.1 Produção dos pães

Para produção dos pães foram utilizadas farinha de trigo especial e farinha integral de linhaça, glúten vital de trigo doado pela Granotec do Brasil S.A., fermento biológico fresco Fleischmann, açúcar refinado União, sal refinado Cisne, margarina Delícia Cremosa com sal e melhorador em pó Adimix[®], adquiridos no comércio local de Viçosa-Minas Gerais.

As proporções de farinha de trigo e farinha integral de linhaça nas formulações foram de 100:0 (Controle), 90:10 (F10) e 85:15 (F15).

Os pães foram preparados conforme El-Dash, Mazzari e Germani (1994), utilizando método de massa direta, sendo processados nas condições de produção usualmente utilizadas na panificadora da CEDAF, seguindo as formulações apresentadas na Tabela 4.

TABELA 4: Ingredientes utilizados nas formulações dos pães Controle, F10 e F15.

Ingredientes	Formulações (%) [*]		
	Controle	F10	F15
Farinha de trigo	100	90	85
Farinha de linhaça	0	10	15
Glúten vital de trigo	2,50	2,50	2,50
Fermento biológico fresco	5	5	5
Açúcar refinado	3	3	3
Sal refinado	2	2	2
Margarina	3	3	3
Melhorador em pó	0,50	0,50	0,50
Água	58	60	60

^{*} Ingredientes em relação a 100 % do total de farinhas mistas (Baker's, %).

3.2.2 Análise físico-química dos pães

3.2.2.1 Composição centesimal

A composição centesimal foi realizada conforme citado no item 2.2.3 para umidade, lipídios, proteína bruta, cinzas e carboidratos. Fibra alimentar foi determinada segundo o Method 985.29 (AOAC, 1997).

3.2.3 Cor do miolo dos pães

A quantificação objetiva de cor do miolo dos pães foi realizada conforme descrito no item 2.2.2.2. Os pães foram divididos em três partes iguais, sendo utilizado o terço médio em fatias de 25 mm de espessura. Os valores correspondentes às coordenadas de cromaticidade L^* a^* b^* foram obtidos por meio de leitura direta das fatias de pão submetidas ao colorímetro.

3.2.4 Volume Total e Específico dos pães

A massa dos pães foi determinada em balança de precisão e expressa em gramas, sendo o Volume Total obtido pelo método de deslocamento de sementes (Método 10-05, AACC, 2001) e o Volume Específico pela divisão do Volume Total do pão (cm^3) pela sua massa (g) (EL-DASH, 1978; EL-DASH; CAMARGO; DIAZ, 1982).

3.2.5 Firmeza dos pães

A análise de firmeza foi realizada nos pães após 1 hora do assamento por teste de compressão do miolo (Método 74-09, AACC, 1999), utilizando máquina universal de ensaios mecânicos, INSTRON, modelo 3367, EUA, 2005, equipado com uma célula de carga de 50 N e um Probe cilíndrico de 55 mm de diâmetro, sendo o resultado expresso em Newton (N). Os parâmetros utilizados no 1º e 2º ciclo foram 40 % de taxa de compressão, velocidade de 0,6 mm/s e velocidade de retorno de 1 mm/s. Os pães foram

divididos em três partes iguais, sendo utilizado o terço médio em fatias de 25 mm de espessura.

3.2.6 Teste de aceitação sensorial e intenção de compra dos pães

Os pães F10 e F15 foram avaliados quanto à aceitação sensorial considerando os atributos aroma, cor, aparência, sabor, textura e impressão global, utilizando-se de escala hedônica estruturada de nove pontos (ANZALDÚA-MORALES, 1994) e intenção de compra, conforme apresenta a Figura 20.

AVALIAÇÃO SENSORIAL E INTENÇÃO DE COMPRA		Data: / /2007.
Sexo: M () F ()	Idade: _____ a.	Escolaridade: _____
1. TESTE SENSORIAL DE ACEITAÇÃO		
Por favor, prove a amostra e avalie as características à direita de acordo com a escala abaixo.		
9. Gostei extremamente.		Atributos
8. Gostei muito.		Nota
7. Gostei moderadamente.		Aroma: _____
6. Gostei ligeiramente.		Cor: _____
5. Indiferente.		Aparência: _____
4. Desgostei ligeiramente.		Sabor: _____
3. Desgostei moderadamente.		Textura: _____
2. Desgostei muito.		Impressão global: _____
1. Desgostei extremamente.		
Comentários: _____ _____		
2. INTENÇÃO DE COMPRA		
Indique na escala abaixo sua atitude se encontrasse este produto a venda. Se eu encontrasse Pão de sal contendo farinha integral de linhaça a venda, eu:		
<input type="checkbox"/> Certamente compraria. <input type="checkbox"/> Provavelmente compraria. <input type="checkbox"/> Tenho dúvidas se compraria. <input type="checkbox"/> Provavelmente não compraria. <input type="checkbox"/> Certamente não compraria.		
Comentários: _____ _____		

FIGURA 20: Ficha de resposta para teste de aceitação sensorial e intenção de compra dos pães F10 e F15.

As amostras dos pães F10 e F15 foram servidas monadicamente, de acordo com delineamento inteiramente casualizado, com 138 julgadores não treinados (consumidores), com idade entre 9 e 75 anos, de ambos os sexos, residentes na cidade de Florestal-MG.

3.2.7 Delineamento experimental e análise estatística

O experimento foi disposto no delineamento inteiramente casualizado com 3 formulações (Controle, F10, F15) e 3 repetições, totalizando 9 unidades experimentais. Todas as análises foram feitas em triplicata. Para comparar as médias da análise de cor, análise físico-química e de firmeza em função do nível de substituição da farinha de trigo pela farinha integral de linhaça, realizou-se análise de variância (ANOVA) e teste de Dunnett. Em ambas as análises, trabalhou-se com nível de significância estatística de 5 %.

Os resultados do teste de aceitação sensorial, obtidos por meio de ficha de avaliação, foram submetidos à análise de variância, sendo as médias dos tratamentos comparadas pelo teste F ao nível de 5 % de probabilidade.

Todas as análises foram realizadas utilizando o programa Statistical Analysis System (SAS) versão 9.1, licenciado para a Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2009.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Composição centesimal dos pães

A Tabela 5 apresenta os resultados da composição química dos pães Controle, F10 e F15. Pode-se verificar que a substituição parcial da farinha de trigo pela farinha integral de linhaça aumentou significativamente ($p < 0,05$) os teores de lipídios, cinzas e fibra alimentar total, sendo o teor de proteína maior em F15. Resultados semelhantes foram observados por Oliveira, Pirozi e Borges (2007) ao substituírem 10 % da farinha de trigo por farinha de linhaça na formulação de pão de sal. Para Straumite et al. (2008) o valor nutricional de pães depende do tipo de farinha e demais ingredientes (ovos, leite, açúcar, gordura, dentre outros) utilizados em sua formulação.

TABELA 5: Composição em umidade, lipídios, cinzas, fibra alimentar total (solúvel e insolúvel), proteína e carboidratos dos pães Controle, F10 e F15.

Componentes (%)	Pães		
	Controle	F10	F15
Umidade	30,99 ± 0,66	32,32 [*] ± 0,08	34,03 [*] ± 0,20
Lipídios	2,17 ± 0,05	5,66 [*] ± 0,01	5,77 [*] ± 0,02
Cinzas	2,02 ± 0,04	2,22 [*] ± 0,01	2,30 [*] ± 0,01
Fibra Alimentar total	2,57 ± 0,04	5,85 [*] ± 0,18	7,08 [*] ± 0,01
Solúvel	1,03 ± 0,06	1,75 [*] ± 0,03	2,12 [*] ± 0,08
Insolúvel	1,54 ± 0,09	4,10 [*] ± 0,10	4,96 [*] ± 0,33
Proteína	13,57 ± 0,22	13,73 ^{ns} ± 0,16	14,19 [*] ± 0,13
Carboidratos	48,67 ± 0,50	40,23 [*] ± 0,27	36,63 [*] ± 0,20

* Representa diferença significativa em relação ao Controle pelo teste de Dunnett, a nível de 5 % de probabilidade. ^{ns} Não significativo.

Os pães F10 e F15 apresentaram teor médio de umidade de 32,32 % e 34,03 %, respectivamente, apresentando diferença quando comparada ao Controle, demonstrando que, a adição de farinha integral de linhaça favoreceu a maior retenção de água no produto final, de acordo com resultados também obtidos por Maciel (2006) e Lima (2007) em biscoito tipo “cracker” e pães de forma, respectivamente. Os valores registrados encontram-se enquadrados no limite de até 38 %, conforme recomendações da ANVISA (2000).

A quantidade de água adicionada nas formulações foi de 58 % para o Controle e 60 % para F10 e F15, de maneira a dissolver os ingredientes solúveis, possibilitar formação do glúten, decorrente da hidratação de suas proteínas, intumescer os grânulos de amido e sua posterior gelatinização, durante a cocção (KATINA et al., 2006). Sua quantidade depende dos ingredientes na formulação e do processo de panificação utilizados, constituindo o meio dispersante para os demais ingredientes, além de favorecer o crescimento do pão durante o assamento. A adição de quantidades crescentes de água à massa favorece à maciez e pegajosidade, enquanto que sua escassez torna-a dura e sem aderência. Segundo Queiroz (2001), o meio úmido favorece ao desenvolvimento da atividade enzimática e fermentação da massa, além de determinar a consistência final, contribuir no controle de temperatura da massa, na maciez e textura do pão e maior tempo de conservação.

Os teores lipídicos para F10 e F15 apresentaram em média de 2,63 vezes superiores ao encontrado para o Controle. Isto era esperado pelo fato de a farinha integral de linhaça ter maior quantidade deste componente em sua composição do que a farinha de trigo, resultando em maior quantidade desse componente em relação ao total do material analisado.

Este aumento nos teores lipídicos, proporcionado pela farinha de linhaça, pode ser favorável a um produto com melhores características para consumo por um maior período de tempo quando comparado ao pão Controle. Segundo Zambrano et al. (2002), este componente atua nas paredes das bolhas de gás, aumentando sua impermeabilização e resistência à saída de umidade, prevenindo ou retardando a retrogradação do amido e envelhecimento do pão, que tornam o miolo mais firme, dando a sensação de produto seco ao ser ingerido.

Segundo Oomah, Mazza e Przybylski (1996), Gómez (2003) a linhaça contém predominância de lipídios polares, que, segundo Li; Dobraszczyk e Wilde (2004) e McCann et al. (2009) possuem a capacidade de formar complexos com proteínas durante o processo de mistura, influenciando positivamente na capacidade de retenção de gás na massa e no volume do pão. As interações proteína-lipídios na massa têm importante efeito na qualidade de produtos de panificação, melhorando características reológicas e propriedades funcionais do glúten (OOMAH; MAZZA; PRZYBYLSKI, 1996; MCCANN et al., 2009).

No que se refere aos aspectos de saúde, a linhaça é considerada o alimento de origem vegetal mais rico em ácido α -linolênico, o que vem despertando interesse em estudos sobre seus possíveis efeitos funcionais (DAUN et al., 2003; STAVRO et al., 2003). O efeito do consumo de dieta à base de semente de linhaça em ratos Wistar, durante 28 dias, foi testado por Cintra et al. (2006), cujos resultados demonstraram maior redução dos níveis de colesterol total e de triacilgliceróis, maior excreção fecal de lipídios e menor deposição de colesterol no fígado.

Com o aumento nos níveis de adição de farinha de linhaça, observou-se incremento no conteúdo de cinzas nos pães F10 e F15 em comparação com o Controle, conforme a Tabela 5. Hussain et al. (2006) e Maciel (2006) observaram essa elevação do teor de cinzas, quando adicionaram farinha de

linhaça em “cookies” e biscoito tipo “cracker”, respectivamente. Estas diferenças são também atribuídas aos minerais presentes na farinha de linhaça.

Maiores valores para fibra alimentar total foram obtidos com a inclusão da farinha de linhaça na formulação do pão, o que pode estar relacionado diretamente ao aumento na Absorção de Água pela massa e sua maior retenção no produto final. Isso ocorre, pois as fibras possuem em sua estrutura um grande número de grupos hidroxila, o que permite maior interação com a água por meio de ligações de hidrogênio. Resultados semelhantes foram obtidos por Vasconcelos et al. (2006), em pães de forma contendo farinha de trigo especial e soja integral, o que, segundo os autores, atribuiu-se ao aumento nos teores de fibra da formulação. Altos teores de fibra foram também verificados por Justo et al. (2007) em pães provenientes de farinhas mistas: trigo, linhaça e soja nas proporções de 85:10:05. Para os autores, esse resultado foi atribuído ao conteúdo de fibra alimentar presente na linhaça (22,60 %).

A incorporação de farinha de linhaça aumentou os valores de fibra alimentar total de F10 e F15 em aproximadamente 128 % e 124 %, respectivamente, quando comparado ao Controle. Por outro lado, é importante também conhecer o tipo de fibra presente em cada alimento, pelo menos quanto a sua solubilidade em água, tendo em vista que, embora haja efeitos fisiológicos relacionados com a fração fibra total, existem outros, como a redução da colesterolemia e da glicemia, que têm sido mais associados com a fração solúvel da fibra (CHERBUT et al., 1997; ANDERSON et al., 2000; DERIVI; MENDEZ, 2001). Pelos resultados, nota-se que houve um aumento de aproximadamente 70 % e 105 % de fibra solúvel e de 166 % e 222 % de fibra insolúvel nos pães F10 e F15, respectivamente.

A presença de fibra alimentar nos alimentos é de grande interesse na área da saúde, já que têm sido relatados numerosos estudos que relacionam seu papel com a redução do risco de enfermidades como diverticulite, câncer de cólon, obesidade, problemas cardiovasculares e diabetes (MEYER et al., 2000; DERIVI; MENDEZ, 2001; PARK; ARAYA, 2001).

Os produtos à base de cereais, como a farinha de trigo, por exemplo, apresentam grande variação quanto ao teor de fibra alimentar, pelo fato de que esta se concentra, em sua maior parte, nas camadas externas do grão, as quais estão presentes nos produtos integrais, mas ausentes, ou muito reduzidas, nos refinados e seus derivados, como pode ser observado pela composição do Controle em comparação a F10 e F15. Há, também, bastante variação quanto a proporção de fibra solúvel e insolúvel entre os diferentes cereais, e, mesmo, entre variedades diferentes de um mesmo cereal (SANGRONIS; REBOLLEDO, 1993; MENEZES; CARUSO; LAJOLO, 2001).

De acordo com a ANVISA (1998), para se declarar que o alimento é fonte de fibras alimentares, o mesmo deve conter no mínimo 3 % e o alimento com alto teor de fibras, no mínimo 6 %. Baseando-se nestes valores e nos teores de fibra alimentar das formulações contendo farinha integral de linhaça (F10 e F15), conforme demonstrado na Tabela 5, pode-se dizer que, ambos os produtos são alimentos com alto teor de fibras.

A substituição de 15 % de farinha de trigo pela farinha de linhaça favoreceu o aumento ($p < 0,05$) no teor de proteína total, o que pode ser indesejável do ponto de vista tecnológico, uma vez que estas não são formadoras de glúten. Resultado semelhante foi, também, observado por Maciel (2006) ao utilizar a mesma concentração de farinha de linhaça em biscoito tipo “cracker” e Moura (2008) em pães de forma contendo 6 % e 9 % de farinha de linhaça na formulação.

A presença de proteína, não formadora de glúten, pode enfraquecer a rede de glúten, reduzindo sua elasticidade, viscosidade da massa, pela elevada competição por moléculas de água, exigindo maior adição desta à mistura, rompimento do complexo amido-glúten e ligações cruzadas com grupos sulfidrilas, conforme observado por Doxastakis et al. (2002), Ribotta et al. (2005), Maforimbo et al. (2006) e Roccia et al. (2009), ao avaliarem a influência da adição de outras fontes proteína (lupin, soja e cacau) em mistura à farinha de trigo nas propriedades reológicas da massa. Segundo estes autores, estas proteínas promovem, também, uma interrupção na estrutura tridimensional do glúten, aumentando sua porosidade, prejudicando com isso sua capacidade de retenção de gases, o

que, juntamente com outros componentes da farinha de linhaça, ajudam a elucidar as alterações observadas no presente estudo.

A elasticidade do glúten é atribuída principalmente à glutenina pela resistência ao rompimento. Este complexo proteico deverá conter um conteúdo apropriado de grupos ligados ao nitrogênio amídico para garantir sua hidratação e formação de ligações de hidrogênio, além do conteúdo e posicionamento adequado de radicais sulfidrilas que se convertem em pontes dissulfeto, garantindo a correta conformação e tamanho molecular (LAGRAIN et al. 2008; MOREL; REDL; GUIBERT, 2002; XU et al., 2001).

Redução significativa foi observada nos carboidratos dos pães F10 e F15. Isto pode relacionar-se com um menor teor de amido na formulação, considerado o mais importante carboidrato presente na farinha de trigo, o qual tem relevante função no processo de panificação por contribuir na formação da estrutura, consistência e textura do miolo e no aumento de volume (QUAGLIA, 1991; QUEJI; SCHEMIN; TRINDADE, 2006), além de desempenhar papel importante no envelhecimento de pães.

Os resultados encontram-se em acordo com aqueles verificados por Lima (2007), Oliveira; Pirozi e Borges, (2007) ao utilizarem farinha integral de linhaça na elaboração de pães de forma e pão de sal, respectivamente. Škrbic et al. (2009), também, obteve redução no teor de carboidratos ao produzirem pães a partir de farinhas mistas de trigo integral e refinado. Para estes autores farinhas integrais e seus derivados geralmente apresentam menor quantidade deste componente.

Considerando aspectos de saúde, isso pode ser vantajoso, pois, o consumo de produtos integrais ou produtos processados, contendo partes destes em sua formulação, é preferível do ponto de vista de prevenção de doenças em oposição àqueles provenientes de carboidratos refinados por dificultarem a absorção de gorduras e açúcares, proporcionando efeito baixo ou lento na concentração de glicose sanguínea e no nível de insulina, aumentando desta forma, a sensação de saciedade. Ademais, conforme afirmam Carvalho e Alfenas (2008) o elevado consumo de carboidratos tem sido associado ao aumento da obesidade, às dislipidemias, à intolerância à glicose/*diabetes mellitus* e à resistência insulínica, estando, dessa forma, entre os fatores de risco das doenças cardiovasculares.

Alimentos com baixo índice glicêmico (IG) promovem menor elevação da glicemia pós-prandial, devido à sua lenta taxa de digestão e absorção. Por outro lado, os alimentos com alto IG, como é o caso daqueles derivados de matérias primas refinadas, como pães brancos, por exemplo, proporcionam maior aumento da glicemia por serem digeridos e absorvidos mais rapidamente pelo organismo (POWELL; HOLT; MILLER, 2002; JIMÉNEZ-CRUZ et al., 2004).

3.3.2 Cor do miolo dos pães

Os resultados para as coordenadas de cromaticidade L* a* b* estão mostrados na Tabela 6.

TABELA 6: Coordenadas de cromaticidade L* a* b* no miolo dos pães de sal F10, F15 em comparação com o Controle.

Coordenadas de cromaticidade	Pães		
	Controle	F10	F15
L*	82,57 ± 0,44	68,40* ± 0,07	66,73* ± 0,10
a*	0,06 ± 0,01	1,37* ± 0,04	1,09* ± 0,01
b*	13,78 ± 0,17	15,06* ± 0,23	14,54* ± 0,05

* Representa diferença significativa em relação ao Controle pelo teste de Dunnett, a nível de 5 % de probabilidade.

Os pães F10 e F15 apresentaram-se mais escuros quando comparados ao Controle, o que foi demonstrado pela redução nos valores de luminosidade, maior tendência ao amarelo e vermelho, devido a presença da farinha integral de linhaça na formulação, indicando que a pigmentação marrom escura da farinha de linhaça interferiu na cor dos pães. Resultados semelhantes foram também observados por Alpaslan e Hayta (2006) e Conforti e Davis (2006) ao utilizarem farinha de linhaça no processamento de pão de sal. Koca e Anil (2007) verificaram que, tanto a crosta, quanto o miolo de pães, contendo farinha de linhaça, apresentaram tonalidade mais escura quando comparada ao pão Controle, a base de farinha de trigo apenas, em acordo com os resultados observados no presente estudo.

De modo geral, houve alteração significativa na cor dos pães em função do incremento da substituição de farinha de trigo pela farinha integral

de linhaça. Maciel (2006) constatou alteração semelhante para todos os componentes de cor ao utilizar, respectivamente, farinhas mistas de trigo e linhaça nas proporções de 100:0, 90:10, 85:15 e 80:20, na obtenção de biscoito. A farinha de linhaça é mais escura do que a farinha de trigo, sendo esperado um miolo mais escuro na medida em que se aumenta o teor desta farinha na formulação dos pães, indicando que, apesar da preferência do consumidor por pães de miolo branco, a cor obtida é característica de produtos integrais, e os consumidores já associam esta cor a produtos mais saudáveis.

3.3.3 Volume Total e Específico dos pães

Os volumes, Total e Específico, dos pães, contendo farinha de trigo e farinha de linhaça integral, são apresentados na Tabela 7, podendo-se notar uma diminuição em seus valores quando comparado ao Controle. Entretanto, embora a linhaça tenha favorecido a diminuição nos volumes apresentados, os valores encontrados foram próximos àqueles encontrados por Esteller e Lannes (2005) em pão francês (4,63 mL/g).

TABELA 7: Efeito da substituição da farinha de trigo pela farinha de linhaça no volume dos pães F10 e F15 em comparação com o pão Controle.

Variáveis	Pães		
	Controle	F10	F15
Massa (g)	55,73 ± 1,10	66,60* ± 0,66	75,33* ± 0,75
Volume Total (mL)	434,00 ± 3,61	301,67* ± 2,08	310,00* ± 1,00
Volume Específico (mL/g)	7,79 ± 0,12	4,46* ± 0,03	4,12* ± 0,05

* Representa diferença significativa em relação ao Controle pelo teste de Dunnett, a nível de 5 % de probabilidade.

A massa (g) dos pães contendo farinha de linhaça diferiu significativamente ($p < 0,05$), do pão Controle, o que provavelmente deve-se às diferenças na capacidade de Absorção de Água pelos constituintes destas farinhas como as fibras, proteínas, amido nativo, amido danificado e pentosanas (GUTKOSKI et al., 2007).

A diluição do glúten em formulações, contendo farinhas mistas de trigo e outras farinhas isentas desta proteína, é responsável pela baixa

retenção de CO₂ oriundo da fermentação, tendo como principal consequência a redução de volume e aumento da densidade no produto (SHARMA; CHAUHAN, 2000). Percebe-se que, a presença de farinha integral de linhaça na formulação reduziu, significativamente, tanto o Volume Total, quanto o Volume Específico dos pães, o que também pode estar relacionado à presença de fibras na mistura. Resultados semelhantes foram obtidos por Conforti e Davis (2006) ao produzirem pão de sal contendo farinha integral de linhaça.

As fibras competem com o glúten pela água presente na massa, resultando em diminuição de volume, além de interromperem a estrutura protéica, prejudicando a expansão da massa, retenção de gases provenientes da fermentação (GOESAERT et al., 2005; AUTIO, 2006). A adição de fibras em produtos de panificação é considerada um benefício saudável; entretanto, segundo afirmam Katina et al. (2006), pode causar problemas de qualidade por enfraquecer a estrutura de pães, diminuindo o volume e a elasticidade do miolo. Esta interferência foi também constatada por Dhingra e Jood (2004), Couto (2007) e Soares Júnior et al. (2008) ao utilizarem sucedâneos como farinha de cevada, farinha de casca de pequi e farelo de arroz, respectivamente, em substituição parcial à farinha de trigo na formulação de pães.

3.3.4 Firmeza dos pães

A firmeza dos pães de sal provenientes das formulações F10 e F15 em comparação com o pão Controle é apresentada na Tabela 8. Assim, como o sabor, a textura é um importante indicador de qualidade de um alimento. A firmeza e crocância de pães de sal são as mais evidentes características de textura observadas pelos consumidores, influenciando grandemente no julgamento da aceitabilidade do produto (KOWASLKI; CARR; TADINI, 2002).

TABELA 8: Firmeza dos pães de sal provenientes das formulações F10 e F15 em comparação com o pão Controle.

Componente	Pães		
	Controle	F10	F15
Firmeza (N) ¹	1,40 ± 0,24	7,32* ± 0,44	6,12* ± 0,98

¹ Newton. * Representa diferença significativa em relação ao Controle pelo teste de Dunnett, a nível de 5 % de probabilidade.

A análise dos resultados de textura demonstrou um valor significativamente menor de firmeza para o pão Controle (1,40 N) em relação aos pães com linhaça F10 (7,32 N) e F15 (6,12 N), respectivamente, pelo teste Dunnett a 5 % de probabilidade. A firmeza de pães está relacionada com a força aplicada para ocasionar uma deformação ou rompimento da amostra, e pode ser correlacionada com a mastigação humana. A força máxima avaliada para produtos panificados é dependente da formulação (qualidade da farinha, quantidade de açúcares, gorduras, emulsificantes, enzimas, adição de glúten e melhoradores de farinha), umidade da massa e conservação (tempo de fabricação do produto e embalagem) (ROUDAUT et al., 2002; LUYTEN; PLIJTER; VAN VLIET, 2004; ESTELLER; LANNES, 2005).

Os resultados obtidos, neste estudo, estão de acordo com aqueles registrados por Alpaslan e Hayta (2006) e Oliveira, Pirozi e Borges (2007), ao avaliarem a firmeza em pães de sal tipo francês contendo farinha integral de linhaça. Conforti e Davis (2006) obtiveram aumento de firmeza em pães provenientes de farinha mista de trigo e linhaça na proporção de 95:05. Segundo Vittadini e Vodovotz (2003) o enfraquecimento do glúten, com consequente redução da capacidade de expansão e retenção de gases, aumento da densidade e redução de volume, são responsáveis pelo resultado obtido. Também, Moura (2008) verificou que, a adição de sementes de linhaça nas concentrações de 3 %, 6 % e 9 % interferiu na dureza de pães de forma, apresentando aumento de 42,39 %, 23 % e 49,45 % em relação ao Controle, respectivamente.

3.3.5 Teste de aceitação sensorial dos pães

Verificou-se comportamento semelhante para a aceitação sensorial dos atributos textura, aparência, aroma, cor e impressão global, sendo observada diferença significativa entre os pães F10 e F15, apenas para o atributo sabor (Tabela 9). Ambas as formulações obtiveram médias localizadas entre os termos “gostei moderadamente” e “gostei muito”. Resultados semelhantes foram também verificados por Lima (2007) em pães de forma, contendo farinha integral de linhaça.

TABELA 9: Escores sensoriais dos atributos, textura, aparência, aroma, cor, sabor e impressão global dos pães F10 e F15¹.

Atributos sensoriais	Pães	
	F10	F15
Textura	8,17a ± 0,99	7,97a ± 1,05
Aparência	7,94a ± 1,29	7,88a ± 1,13
Aroma	8,06a ± 0,96	8,14a ± 0,98
Cor	7,83a ± 1,21	7,90a ± 1,15
Sabor	8,25a ± 1,00	8,00b ± 1,05
Impressão Global	8,19a ± 0,96	8,05a ± 1,03

¹ Médias seguidas pela mesma letra nas linhas não diferem entre si ao nível de 5 % de significância pelo teste de F.

As principais observações feitas pelos avaliadores citam pouca ou nenhuma alteração entre as formulações avaliadas. Muitos revelaram ainda que substituiriam o pão de sal tradicional, definindo o pão com farinha integral de linhaça como muito bom, saboroso, de massa leve, crocante e saudável. Apesar do pão com linhaça ter apresentado maiores valores de firmeza na análise instrumental, essa diferença não foi observada na avaliação do atributo textura pelos provadores, o que, na prática, não resultou em descaracterização do produto.

As médias para sabor mostradas na Tabela 9 indicam a boa aceitação de ambas as formulações, na faixa hedônica de aceitação, sugerindo que a farinha de linhaça contribui positivamente para o sabor dos pães, embora tenha ocorrido diferença ($p < 0,05$) entre as amostras. A formulação com adição de 10 % de farinha de linhaça obteve o maior escore de aceitação (8,25), estando de acordo Hussain et al. (2006) que adicionaram farinha de

linhaça em “cookies” e observaram que os percentuais mais aceitos com relação ao sabor foram com 10 % e 15 %.

Mathias et al. (2008) avaliaram pães industriais obtidos a partir de farinha de trigo e linhaça nas proporções de 83:17, 66:34 e 49:51 em relação à aceitação global utilizando uma escala hedônica para os parâmetros de sabor, aparência, textura, e verificaram que menores níveis de linhaça na formulação dos pães promoveram melhor aceitabilidade do produto pelos consumidores.

3.3.6 Intenção de compra dos pães

Pode-se verificar, pela Figura 21, que, em geral, os consumidores apresentaram uma atitude positiva (certamente compraria) quanto à intenção de compra para ambos os pães. Para as duas amostras, a maioria indicou que certamente as compraria.

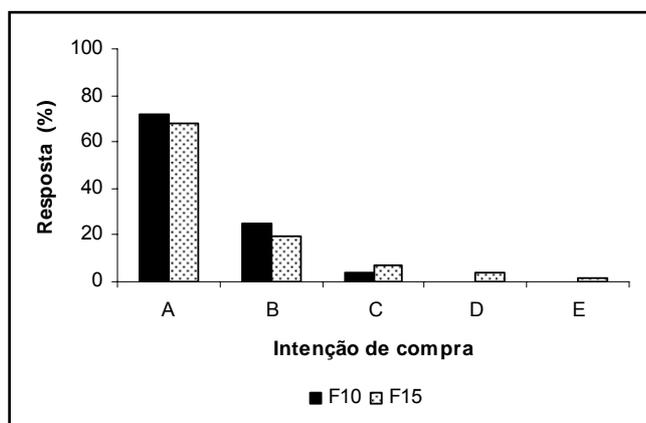


FIGURA 21: Intenção de compra dos pães F10 e F15.

- A: Certamente compraria.
- B: Provavelmente compraria.
- C: Tenho dúvidas se compraria.
- D: Provavelmente não compraria.
- E: Certamente não compraria.

Dentre os 138 provadores que avaliaram os pães 71,74 % e 68,12 % revelaram que, certamente comprariam (escore 5) os pães F10 e F15, respectivamente. Apenas a amostra F15 apresentou votação para as opções tenho dúvidas se compraria (7,25 %, escore 3), provavelmente não

compraria (5,85 %, escore 2) e certamente não compraria (0,72 %, escore 1).

Os resultados da intenção de compra sugerem interesse dos consumidores pelos produtos, não tendo sido observada, portanto, rejeição para nenhuma das duas formulações. Os melhores resultados para intenção de compra foram obtidos por Mathias et al. (2008), ao utilizarem menores teores de farinha integral de linhaça em formulações de pães industriais.

3.4 CONCLUSÕES

A utilização de farinha de linhaça alterou a composição química dos pães F10 e F15, com destaque para o aumento nos teores de fibra alimentar e lipídios, que foram aproximadamente 2,6 vezes superiores ao encontrado para o Controle.

Comparados ao pão de sal tradicional, a substituição da farinha de trigo pela linhaça integral promoveu aumento significativo do teor de fibras, permitindo a alegação de “alto teor de fibras”, segundo a legislação brasileira.

A presença de farinha de linhaça interferiu nas coordenadas cromaticidade $L^* a^* b^*$; de modo que os pães F10 e F15 ficaram mais escuros. Houve redução significativa de Volume Total e Específico e maior firmeza, indicando enfraquecimento da estrutura protéica da massa, com prejuízo na capacidade de retenção de gases provenientes da fermentação.

No teste de aceitação sensorial, para os atributos aroma, cor, aparência, textura e impressão global, os pães F10 e F15 tiveram escores, localizados entre os termos “gostei moderadamente” e “gostei muito”, indicando boa aceitação para ambas as formulações. Os avaliadores apresentaram atitude positiva quanto à intenção de compra (certamente compraria), acima de 68 %, tanto para F10, quanto para F15. Apesar de promover uma diminuição da qualidade tecnológica dos pães de sal, a incorporação de até 15% de farinha integral de linhaça foi promissora para comercialização, pela sua aceitação e conteúdo em componentes nutricionais.

CAPITULO 4

QUALIDADE PROTÉICA DE PÃO DE SAL CONTENDO FARINHA INTEGRAL DE LINHAÇA

4.1 INTRODUÇÃO

O valor nutritivo de uma proteína depende, não somente, do teor no alimento, mas também, do perfil de aminoácidos e da sua digestibilidade e, portanto, da sua biodisponibilidade. A digestibilidade pode ser entendida como sendo a hidrólise das proteínas pelas enzimas digestivas até aminoácidos e a absorção dos mesmos pelo organismo, os quais estariam biologicamente disponíveis, desde que não houvesse interferência na absorção dos mesmos pelo organismo. É avaliada pelo quociente entre nitrogênio absorvido e o nitrogênio ingerido da dieta, expresso em percentagem (SGARBIERI, 1996). As proteínas devem fornecer todos os aminoácidos indispensáveis na dieta para garantir a síntese protéica.

A linhaça apresenta composição protéica comparável à soja, em termos de aminoácidos indispensáveis na dieta (ambas apresentam altos teores de ácido aspártico, glutamina, leucina e arginina). É considerada um alimento funcional, pois, além de suas propriedades nutricionais básicas, atua também na redução de risco de doenças crônicas não transmissíveis, pela presença de componentes antioxidantes e anticancerígenos (GÓMEZ, 2003; POSSAMAI, 2005; COSKUNER; KARABABA, 2007).

Conforme afirmaram Barre et al. (2005), Oomah, Der e Godfrey (2006) e Popova, Hall e Kubátová (2009), os benefícios fisiológicos desta oleaginosa, geralmente são atribuídos ao seu conteúdo em óleo rico em ácido graxo α -linolênico, lignanas (uma classe de fitoestrogênios) e fibras. A ingestão de 10 g ao dia promove alterações hormonais, contribuindo com a redução do risco de câncer e de diabetes, redução do colesterol total e de lipoproteína de baixa densidade, assim como favorece a diminuição de agregação plaquetária, fortalecendo ainda unhas, dentes e ossos, além de

tornar a pele mais saudável (PRASAD, 1997; HASLER, 1998; PRASAD et al., 1998).

Estudos em nutrição humana confirmam que as fibras presentes na linhaça têm efeito hipocolesterolemizante (redução dos níveis de colesterol sanguíneo) e ajudam a modular a resposta glicêmica (OOMAH, 2001; RAFTER, 2002; SIMBALISTA; CAPRILLES; ARÊAS, 2003). Ainda, a demanda crescente por proteínas vegetais vem intensificando o estudo deste grão como fonte de alimento para o ser humano (OOMAH; MAZZA, 2000; LI-CHAN; MA, 2002). A linhaça tem sido amplamente usada em produtos como pães, biscoitos, dentre outros, facilmente encontrados em supermercados e lojas de produtos naturais.

Os produtos de panificação estão entre os alimentos que constituem a base da pirâmide alimentar. Os cereais, de um modo geral, contribuem com aproximadamente metade da ingestão energética e protéica do ser humano (YOUNG; PELLETT, 1994). A farinha de trigo é o elemento fundamental na indústria de panificação, por possuir propriedades únicas, formação de rede de glúten forte e coesa, capaz de reter os gases formados durante a fermentação; garantindo as características próprias do pão (KAJISHIMA; PUMAR; GERMANI, 2001). Apesar do trigo possuir boas propriedades tecnológicas adequadas à produção de pão, suas proteínas são consideradas de baixa qualidade nutricional, devido à deficiência em aminoácidos essenciais, como a lisina (PIRES et al., 2006).

O pão de sal (tipo francês) é um produto fermentado, preparado obrigatoriamente com farinha de trigo, cloreto de sódio e água, que apresenta casca crocante, de cor uniforme castanho-dourada, miolo de cor branco-creme, textura e granulação fina não-uniforme (ANVISA, 2000). Constitui uma das principais fontes calóricas da dieta do brasileiro, com boa aceitação por todas as faixas etárias (OSAKA, 2002).

A qualidade nutricional de uma proteína está relacionada à sua capacidade de satisfazer as necessidades do organismo humano, quanto à promoção de crescimento normal em crianças e manutenção no adulto (OLIVEIRA; MARCHINI, 1998). A utilização de farinhas mistas em produtos de panificação, tem por finalidade a substituição parcial da farinha de trigo,

para oferecer aos consumidores produtos diversificados e com melhor qualidade nutricional.

O presente estudo teve por objetivo avaliar a qualidade protéica de pães de sal obtidos a partir de farinhas mistas de trigo e de linhaça integral em comparação com o pão de sal tradicional.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido nos Laboratórios de Amido e Farinha do Departamento de Tecnologia de Alimentos e de Nutrição Experimental do Departamento de Nutrição e Saúde, da Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.

4.2.1 Produção dos pães e obtenção das fontes protéicas

Foram utilizadas farinha de trigo (FT) e farinha integral de linhaça (FIL) adquiridas do comércio de Viçosa (MG). Os pães foram produzidos com FT e de sua mistura com FIL nas proporções de 100:00 (Controle, F0), 90:10 (F10) e 85:15 (F15) conforme item 3.2.2. Em seguida, foram desidratados em estufa com circulação de ar, a 70 °C por 12 horas, moídos em moinho de faca Brabender, modelo WI, de bancada (Brabender Technologie KG) e peneirados para obtenção das farinhas de pão, sendo estas as fontes protéicas das dietas-teste. Caseína comercial, obtida da Rhooster Indústria e Comércio Ltda, foi utilizada na preparação das dietas-padrão.

4.2.2 Determinação do teor de proteínas

O teor de proteína das farinhas de pães, dietas-teste e dieta padrão de caseína foi determinado pelo método semimicro Kjeldhal, segundo a AOAC (1995). No cálculo de conversão do nitrogênio em proteínas, foram utilizados os fatores 5,7 e 6,25, para as proteínas de origem vegetal (FT e FIL) e animal (Caseína), respectivamente.

4.2.3 Ensaio biológico

Foram preparadas dieta aprotéica, livre de nitrogênio (LN), dieta de caseína (Caseína) e as dietas-teste (Controle, F10 e F15), conforme apresentado na Tabela 10.

TABELA 10: Formulação das dietas utilizadas no experimento com ratos (g/100g de mistura).

Ingredientes	Dietas ¹				
	Controle	F10	F15	Caseína	LN
	72,57	-	-	-	-
Farinha de pão	-	69,70	-	-	-
	-	-	68,69	-	-
Caseína	-	-	-	11,81	-
Maltodextrina	2,05	8,25	9,26	13,20	13,20
Sacarose	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Óleo de soja	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00
Fibra	3,33	0,00	0,00	5,00	5,00
Minerais	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50
Vitaminas	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
L. cistina	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Bitartrato de Colina	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Amido de milho	0,00	0,00	0,00	47,94	59,75

¹ Dieta à base de pão contendo farinha de trigo e linhaça nas proporções de 100:00 (Controle), 90:10 (F10). LN: dieta livre de nitrogênio.

A composição das dietas foi baseada na AIN-93G, segundo Reeves, Nielsen e Fahey (1993), com o teor de proteínas alterado para 9 % a 10 %. Os ingredientes foram pesados, misturados manualmente e em seguida homogeneizados em batedeira industrial da marca Lieme e acondicionadas em sacos de polietileno, devidamente identificadas e armazenadas em refrigerador.

Os teores de maltodextrina, fibra e amido de milho foram ajustados de acordo com a composição química dos pães, de forma que as dietas fossem isoprotéicas e isocalóricas.

4.2.3.1 Animais

Foram utilizados 30 ratos machos, raça Wistar, recém-desmamados, com média de 23 dias de idade, peso variando de 62 g a 79 g, provenientes do Biotério do Centro de Ciências Biológicas e da Saúde da Universidade Federal de Viçosa.

Os animais foram divididos em cinco grupos com seis animais cada, de modo que a média dos pesos entre os grupos não excedesse a 5 g. Os ratos foram alocados em gaiolas individuais, onde receberam água e suas dietas *ad libitum*, por 14 dias, sendo mantidos em condições de temperatura de 22 ± 3 °C. O monitoramento do consumo alimentar foi feito semanalmente.

4.2.3.2 Coeficiente de Eficácia Alimentar

O Coeficiente de Eficácia Alimentar (CEA) avalia a eficiência da dieta em promover o ganho de peso corporal do animal alimentado com uma dieta específica, durante um período de teste. O CEA foi calculado de acordo com a seguinte equação:

$$\text{CEA} = \frac{\text{Ganho de peso (g)}}{\text{Consumo de ração (g)}}$$

4.2.3.3 Digestibilidade Verdadeira

Para a determinação da Digestibilidade Verdadeira (DV), as dietas-teste foram marcadas com índigo carmim na proporção de 100 mg/100 g e oferecidas aos animais no 7º e 13º dias. As fezes foram coletadas do 8º ao 14º dias em recipientes individuais para cada animal e mantidas sob refrigeração. No 8º dia foram coletadas apenas as fezes marcadas e no 14º dia apenas as não marcadas com o corante.

Ao término do experimento, as fezes foram secas em estufa com circulação de ar a 105 °C por 24 horas. Em seguida foram resfriadas, pesadas em balança analítica e trituradas em multiprocessador para

determinação da concentração de nitrogênio, pelo método semimicro Kjeldahl, com determinações em triplicatas (AOAC, 1995).

A DV foi calculada medindo-se a quantidade de nitrogênio ingerido na dieta, a excretada nas fezes e a perda metabólica nas fezes, que corresponde ao nitrogênio fecal do grupo com dieta aprotéica. Esta última foi estimada pela média de nitrogênio excretada pelos ratos alimentados com a dieta livre de nitrogênio.

O cálculo de DV foi feito de acordo com a seguinte equação:

$$DV (\%) = \frac{I - (F - FK)}{I} \times 100$$

Em que:
I: nitrogênio ingerido pelo grupo com dieta-teste.
F: nitrogênio fecal do grupo com dieta-teste.
FK: nitrogênio fecal do grupo com dieta aprotéica.

O valor de DV das dietas dos grupos-teste expresso como percentual em relação à caseína é denominado DV relativa (DVR).

4.2.3.4 Coeficiente de Eficácia Protéica ou Protein Efficiency Ratio

O Coeficiente de Eficácia Protéica (PER) foi determinado por meio do método de Osborne, Mendel e Ferry, de acordo com a AOAC (1975), modificado de 28 para 14 dias. Este método relaciona o ganho de peso dos animais com o consumo de proteína. O PER foi calculado pela seguinte equação:

$$PER = \frac{\text{Ganho de peso (g) do grupo teste}}{\text{Proteína consumida (g) pelo grupo-teste}}$$

Os valores obtidos podem ser expressos como percentual em relação ao valor obtido para a dieta de caseína, que é considerada 100 %. Este percentual é denominado PER relativo (RPER).

4.2.3.5 Razão Protéica Líquida ou Net Protein Ratio

A Razão Protéica Líquida (NPR) foi determinada, segundo Bender e Doell (1957), no 14º dia do experimento, levando-se em consideração o ganho de peso do grupo teste, mais a perda de peso do grupo com dieta

aprotéica em relação ao consumo de proteína do grupo teste, sendo calculado de acordo com a seguinte equação (HEGSTED, 1977):

$$\text{NPR} = \frac{\text{Ganho de peso (g) do grupo teste} + \text{perda de peso (g) do grupo aprotéico}}{\text{Proteína consumida (g) pelo grupo-teste}}$$

O valor de NPR das dietas dos grupos-teste expresso como percentual em relação à caseína é denominado NPR relativo (RNPR).

4.2.4 Determinação e quantificação de aminoácidos essenciais nos pães Controle, F10 e F15

A determinação dos aminoácidos essenciais fenilalanina, tirosina, histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, cistina, treonina, triptofano e valina foi realizada nas amostras dos pães Controle, F10 e F15, previamente desengorduradas e hidrolisadas com ácido clorídrico (HCl) bidestilado 6 N, seguida de derivação pré-coluna dos aminoácidos livres com fenilisotiocianato (PITC), e a separação dos derivados feniltiocarbamil-aminoácidos (PTC-aa) em coluna de fase reversa C18 (Pico-Tag-3,9 x 150 mm) com monitoração em comprimento de onda em 254 nm. A quantificação da amostra foi baseada na área de cada pico de aminoácido, tomando-se como referência a área do pico do padrão de aminoácidos com concentração conhecida, sendo que o padrão foi derivado nas mesmas condições e ao mesmo tempo que as amostras. Esta análise foi realizada no Centro de Química de Proteínas, Departamento de Biologia Celular, Molecular e Bioagentes Patogênicos, Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo-SP.

Para o cálculo do escore químico e do PDCAAS, os valores do conteúdo de aminoácidos foram expressos em mg de aminoácido por grama de proteína e comparados com o padrão da FAO/WHO (1991) para crianças de 2 a 5 anos.

Para o cálculo do PDCAAS, tomou-se por base o valor do escore químico do aminoácido essencial mais limitante de cada fonte de proteína. Calculou-se o PDCAAS multiplicando-se o escore mais baixo de aminoácido essencial pela digestibilidade da proteína. A proteína com

PDCAAS igual ou superior a 1,0 foi considerada de boa qualidade (HENLEY; KUSTER, 1994).

4.2.5 Delineamento experimental e análise estatística

Procedeu-se o experimento no delineamento inteiramente casualizado (DIC) com três dietas (Controle, F10, F15) e seis repetições (seis ratos por dieta), totalizando 18 unidades experimentais. Para comparar as médias do consumo alimentar, ganho de peso e coeficiente de eficácia alimentar e dos índices de qualidade protéica entre as dietas em função do nível de substituição da farinha de trigo pela farinha integral de linhaça, realizou-se análise de variância (ANOVA) e o teste de Dunnett. Em ambas as análises, trabalhou-se com nível de significância estatística de 5 %, utilizando o programa Statistical Analysis System (SAS) versão 9.1, licenciado para a Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2009.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises de proteína das dietas padrão (Caseína) e dietas-teste Controle, F10, F15 foram: 9,96 %, 9,80 %, 9,78 % e 9,57 %, respectivamente, atendendo o planejamento, entre 9 % e 10 % de proteína.

A Tabela 11 apresenta os valores médios para o consumo de dieta alimentar, proteína, ganho de peso e CEA das dietas Controle, F10, F15 e Caseína.

TABELA 11: Consumo alimentar (dieta e proteína), ganho de peso e Coeficiente de Eficácia Alimentar (CEA) dos animais alimentados com dietas à base de pães de sal F10 e F15 em comparação com o Controle.

Dietas	Consumo (g)		Ganho de peso (g)	CEA
	Dieta	Proteína		
Controle	120,92 ± 11,96	12,04 ± 1,17	11,00 ± 1,90	0,09 ± 0,02
F10	108,82 ^{ns} ± 15,19	10,66 ^{ns} ± 1,49	10,00 ^{ns} ± 2,19	0,09 ^{ns} ± 0,02
F15	120,87 ^{ns} ± 14,52	11,82 ^{ns} ± 1,42	17,17* ± 3,31	0,14* ± 0,02
Caseína	171,46 ± 18,45	16,41 ± 1,77	57,33 ± 10,21	0,33 ± 0,03

^{ns} Não significativo. * Representa diferença significativa em relação ao Controle pelo teste de Dunnett a 5 % de probabilidade, na coluna.

Em relação ao consumo alimentar (dieta e proteína), as dietas contendo farinha integral de linhaça não diferiram da dieta Controle, demonstrando que a incorporação de FIL não alterou a palatabilidade da dieta. O ganho de peso (g) e o coeficiente de eficácia alimentar das dietas contendo 15 % de FIL apresentaram aumento significativo ($p < 0,05$) quando comparado à dieta Controle, ao final do experimento (Tabela 10), registrando-se ganho de peso médio de 17,17 g, o que se refletiu sobre o resultado calculado para o PER (Tabela 13). Não foi observada diferença significativa ($p > 0,05$) entre os grupos que receberam as dietas F10 e Controle.

O menor ganho de peso dos grupos alimentados com as dietas Controle e a contendo 10 % de FIL pode ser explicado, em parte, pela qualidade inferior da proteína ingerida em termos de aminoácidos essenciais (Tabela 10). Isso porque o consumo de dieta foi semelhante entre esses grupos e as proteínas em análise possuem qualidades similares em relação ao conteúdo de aminoácidos essenciais. Resultado semelhante foi também obtido por Arshad, Anjum e Zahoor (2007), ao avaliarem a qualidade protéica de “cookies” à base de farinha de trigo e germe de trigo desengordurado.

A baixa qualidade protéica pode justificar, por sua vez, o menor consumo de dieta, ao se comparar as dietas testadas com a dieta de caseína. O grupo que recebeu a dieta de caseína ganhou mais peso, devido provavelmente ao maior consumo alimentar e de proteína (Tabela 11), sendo esta, considerada completa, de alto valor nutritivo e de melhor balanço de aminoácidos, quando comparada a proteína de origem vegetal.

4.3.1 Avaliação biológica das proteínas

Os valores obtidos para a digestibilidade verdadeira das amostras estudadas foram 90,33 % (F10) e 91,87 % (F15), não apresentando diferença significativa ($p > 0,05$) entre as dietas testadas e a dieta Controle. Pelos dados da Tabela 12, percebe-se que a adição de FIL não interferiu na digestibilidade protéica dos pães. Casagrandi et al. (1999) e Pires et al.

(2006) obtiveram digestibilidade verdadeira para farinha de trigo e macarrão de trigo, respectivamente; próxima ao encontrado no presente trabalho.

TABELA 12: Valores médios (\pm desvios-padrão) de Digestibilidade Verdadeira (DV), Digestibilidade Verdadeira Relativa (DVR), Coeficiente de Eficácia Protéica (PER), Coeficiente de Eficácia Protéica Relativo (PERR), Razão Protéica Líquida (NPR), Razão Protéica Líquida Relativa (NPRR) dos animais alimentados com dietas à base de pães de sal F10 e F15 em comparação com o Controle.

Índices biológicos	Dietas			
	Controle	F10	F15	Caseína
DV (%)	90,98 \pm 5,31	90,33 ^{ns} \pm 7,14	91,87 ^{ns} \pm 5,54	93,88 \pm 4,36
DR	96,91 \pm 5,66	96,81 \pm 7,10	97,86 \pm 5,90	100,00 \pm 4,64
PER	0,92 \pm 0,15	0,94 ^{ns} \pm 0,16	1,45* \pm 0,19	3,47 \pm 0,28
PERR	26,00 \pm 4,35	27,00 \pm 4,52	41,71 \pm 5,36	100,00 \pm 8,00
NPR	2,17 \pm 0,47	2,37 ^{ns} \pm 0,24	2,74* \pm 0,23	4,40 \pm 0,19
NPRR	49,42 \pm 10,73	53,85 \pm 5,56b	61,30 \pm 4,65	100,00 \pm 4,27

^{ns} Não significativo. * Representa diferença significativa em relação à dieta Controle pelo teste de Dunnett a 5 % de probabilidade, nas linhas.

A digestibilidade mede a porcentagem das proteínas que são hidrolisadas pelas enzimas digestivas e absorvidas na forma de aminoácidos, ou de qualquer outro composto nitrogenado pelo organismo. Proteínas cujas ligações peptídicas não são hidrolisadas pelo processo digestivo, são excretadas nas fezes ou sofrem transformações no intestino grosso (SGARBIERI, 1996; MACEDO; DAMICO, 2000).

Não foi encontrada diferença para a digestibilidade dos pães e a caseína, entretanto, a adição de 15 % propiciou maiores ($p < 0,05$) valores de NPR implicando num aumento da qualidade protéica, ou seja, nesta concentração, a FIL pode melhorar o perfil de aminoácidos e estes podem estar sendo mais bem aproveitados para a síntese protéica. A digestibilidade é o primeiro fator que reflete a eficiência da utilização protéica da dieta, sendo, portanto, um condicionante de sua qualidade (CHIARADIA, 1997).

A maioria das proteínas de origem animal apresenta boa digestibilidade, o que significa eficaz absorção de aminoácidos. As de origem vegetal geralmente são inferiores em razão de terem estruturas

mais organizadas e resistentes ao ataque enzimático (CARIAS; CIOCCIA; HEVIA, 1995; MAGA; LORENZ; ONAUEMI, 1973).

A digestibilidade encontrada para as dietas contendo farinha de trigo e farinha integral de linhaça foi próxima àquela registrada para a caseína (93,88 %). Estudos da FAO/WHO (1985, 1991) identificaram vários fatores que contribuem para a menor digestibilidade das proteínas de alimentos vegetais em relação às proteínas animais. A presença de fatores dietéticos (compostos fenólicos, componentes da fibra alimentar, pigmentos, inibidores de enzimas e outros) modifica a digestão e as reações químicas que alteram a liberação de aminoácidos e de proteínas por processos enzimáticos. Muitos dos fatores antinutricionais são termolábeis e podem ser inativados por diferentes tratamentos térmicos (QIN et al., 1998; OLGUIN, et al., 2003; SEENA; SRIDHARA; RAMESH, 2005), melhorando a qualidade nutricional das proteínas vegetais.

A presença de fibra e sua interação com proteína pode reduzir a acessibilidade da proteína à proteólise, causando redução de digestibilidade (MELITO; TOVAR, 1995; GALLAND-IRMOULI et al., 1999). Entretanto, os resultados encontrados no presente estudo demonstram que a adição de FIL nas concentrações de 10 % e 15 % não interferiu na digestibilidade.

O aumento nos valores de PER e PER relativo à caseína (PERR) dos pães contendo 15 % de FIL em comparação com o pão Controle, demonstrou uma melhor utilização da proteína para fins de manutenção. Segundo a interpretação deste índice (COSTA; PELÚZIO, 2008), para cada 1 grama de proteína do pão com 15 % de FIL ingerida, é possível obter um ganho de peso de 1,45 g. Este valor é superior ($p < 0,05$) ao obtido para a dieta Controle, cuja ingestão de 1 grama de proteína significou um incremento ponderal de 0,92 gramas. Isto significa que, apesar de limitante em alguns aminoácidos essenciais, a proteína contida neste produto apresenta eficiência protéica em relação ao ganho de peso.

Os valores de NPR das dietas-teste variaram entre 2,37 e 2,74 (49,42 % e 61,30 %) em relação à dieta Controle (2,17). Não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre a F10 e Controle. Estes valores são próximos àqueles obtidos por Pires et al. (2006) em farinha de trigo e por Santucci et al. (2003), em macarrões a base de trigo e extrato de espinafre.

A substituição de 15 % de farinha de trigo por FIL aumentou significativamente ($p < 0,05$) o valor de NPR, demonstrando uma melhor utilização da proteína para fins de crescimento.

4.3.2 Escore químico de aminoácidos e escore químico de aminoácidos corrigido pela digestibilidade protéica

A composição em aminoácidos essenciais das proteínas estudadas está apresentada na Tabela 13. Os valores foram divididos pelo recomendado pela FAO/WHO (1985) para crianças de 2 a 5 anos. O resultado para o escore químico de aminoácido (EQ) encontra-se na Tabela 14. O EQ estabelece uma comparação entre o teor de cada aminoácido indispensável da proteína teste com o aminoácido correspondente de um padrão ou uma proteína tomada como referência. O padrão de referência mais utilizado é da FAO/WHO de 1985 (FAO/WHO, 1991). O aminoácido que apresenta o menor EQ é considerado o limitante (WAITZBERG, 2001) e uma proteína que apresenta EQ maior que 1,0 para todos os aminoácidos é considerada de alto valor nutricional (PIRES et al., 2006).

TABELA 13: Composição de aminoácidos essenciais das proteínas de Controle, F10, F15 e Caseína em comparação ao padrão da FAO/WHO (1985) para crianças de 2 a 5 anos.

Aminoácidos essenciais	mg aminoácido/g proteína ¹				Padrão FAO/WHO (1985)
	Dietas				
	Controle	F10	F15	Caseína ²	
Fenilalanina + Tirosina	61,18	64,52	64,95	109,71	63
Histidina	21,25	23,46	23,05	18,99	19
Isoleucina	28,94	31,16	28,28	46,91	28
Leucina	56,78	61,59	54,82	93,05	66
Lisina	21,98	23,83	24,10	78,66	58
Metionina + Cistina	22,72	24,56	27,94	30,14	25
Treonina	24,91	25,08	28,99	43,22	34
Triptofano	7,70	7,34	8,03	nd ³	11
Valina	28,94	30,80	27,24	54,95	35

¹ Resultados da dieta Controle, F10 e F15 são médias de duas repetições. ² Dados obtidos de estudos realizados por Pires et al., (2006). ³ Não detectado.

TABELA 14: Escore químico de aminoácidos das proteínas das dietas Controle, F10, F15 e Caseína.

Aminoácidos essenciais	Escore de Aminoácido (mg/g proteína amostra)/(mg/g proteína Padrão FAO/WHO)			
	Dietas			
	Controle	F10	F15	Caseína
Fenilalanina + Tirosina	0,97	1,02	1,03	1,74
Histidina	1,12	1,24	1,21	1,00
Isoleucina	1,03	1,11	1,01	1,68
Leucina	0,86	0,93	0,83	1,41
Lisina	0,38*	0,41*	0,42*	1,36
Metionina + Cistina	0,91	0,98	1,12	1,21
Treonina	0,73***	0,74***	0,85	1,27
Triptofano	0,70**	0,67**	0,73**	nd ¹
Valina	0,83	0,88	0,78***	1,57

* Primeiro limitante. ** Segundo limitante. *** Terceiro limitante. ¹ Não detectado.

Embora a adição de farinha integral de linhaça tenha favorecido um discreto aumento nos teores de alguns aminoácidos essenciais, não foi observada complementação efetiva entre as fontes protéicas estudadas nos pães. A complementação das proteínas ocorre de forma que as deficiências de uma sejam compensadas pelos excessos dos mesmos aminoácidos em outras, dando à mistura valor nutritivo superior ao de cada componente individualmente (MOLINA et al., 2001; MAHAN; SCOTT-STUMP, 2005).

A limitação da proteína dos pães é significativa em se tratando dos aminoácidos indispensáveis lisina (1º limitante) e triptofano (2º limitante), quando comparados ao padrão FAO/WHO. Miranda e El-Dash (2002), Santucci et al. (2003) e Pires et al. (2006) verificaram que a lisina é o aminoácido mais limitante da proteína de trigo, presente em teores de 28 mg/g, 22 mg/g e 25 mg/g de proteína, respectivamente, próximo ao encontrado no presente trabalho. Esses valores são inferiores ao recomendado pela FAO (1985), que é de 58 mg de lisina por grama de proteína (Tabela 13). Resultados similares foram registrados por Trevino et al. (2000) e Bombo (2006) em farinha de linhaça e “snack” de farinha mista de milho e linhaça, respectivamente.

Os resultados do escore químico corrigido pela digestibilidade protéica (PDCAAS) para as amostras de proteína estudadas encontram-se na Tabela 15.

TABELA 15: Escore químico de aminoácidos corrigido pela digestibilidade protéica (PDCAAS) das proteínas de Controle, F10 e F15.

Aminoácidos essenciais	Pães		
	Controle	F10	F15
Lisina	0,38	0,41	0,42
Digestibilidade verdadeira	90,98	90,33	91,87
PDCAAS (%) ¹	34,57	37,04	38,59

¹ PDCAAS: 1º aminoácido limitante x digestibilidade verdadeira da proteína, obtida em experimento com ratos.

O pão Controle foi o que apresentou menor PDCAAS, com valor de 34,57 %, resultante do produto do primeiro aminoácido limitante pela digestibilidade verdadeira da proteína, obtida no ensaio biológico (Tabela 14). O maior PDCAAS foi obtido com substituição de 15 % da farinha de trigo por farinha integral de linhaça, indicando uma melhor utilização dos aminoácidos fornecidos pela proteína deste pão.

4.4 CONCLUSÕES

Os melhores resultados para ganho de peso, coeficiente de eficácia alimentar, coeficiente de eficácia protéica e razão protéica líquida dos pães de sal avaliados foram obtidos quando maior teor de farinha de trigo foi substituído por farinha integral de linhaça. A lisina foi o primeiro aminoácido mais limitante nestes produtos, com incremento no valor de escore químico de aminoácidos corrigido pela digestibilidade protéica para aquele pão contendo 15 % de farinha integral de linhaça. Portanto, a adição de 15 % de linhaça foi promissora para a melhoria da qualidade protéica do pão.

5 CONCLUSÕES GERAIS

- Ao ser incorporada à farinha de trigo, a farinha integral de linhaça afetou a distribuição granulométrica, produzindo farinhas mistas com granulometria mais grosseira e de cor mais escura.
- Houve redução de qualidade tecnológica das farinhas mistas na medida em que aumentou os níveis de substituição de farinha de trigo pela farinha integral de linhaça na mistura, expressa principalmente pela redução de Extensibilidade, Estabilidade, Tempo de Desenvolvimento da Massa, e aumento do Índice de Tolerância à Mistura e da tendência ao encolhimento.
- O teste de panificação experimental indicou redução de Volume Específico e Escore Total dos pães com o aumento do nível de substituição da farinha de trigo pela farinha integral de linhaça.
- O aumento do nível de substituição da farinha de trigo pela farinha integral de linhaça promoveu interferência negativa, principalmente das fibras, nas propriedades tecnológicas da massa. Desta forma, os melhores resultados foram obtidos para as formulações contendo farinhas mistas de trigo e linhaça nas proporções de 90:10 e 85:15, sendo estas formulações selecionadas para produção de pão de sal em escala comercial.
- Os pães de sal produzidos a partir das farinhas mistas de trigo e farinha integral de linhaça nas proporções de 90:10 e 85:15 em panificadora comercial, apresentaram-se mais escuros, mais firmes e com menor volume quando comparados ao pão Controle.
- Os pães de sal obtidos com as farinhas mistas de trigo e linhaça nas proporções de 90:10 e 85:15, apresentaram boa aceitação e intenção de compra pelos consumidores, além de melhor valor nutricional quando

comparados ao pão de sal Controle, resultados favoráveis à utilização da farinha de linhaça na formulação deste tipo de pão.

- A avaliação da qualidade protéica demonstrou que o pão contendo farinha mista de trigo e de linhaça na proporção de 85:15 foi mais promissora para melhoria da qualidade protéica.

- Considerando os aspectos tecnológicos, sensoriais e nutricionais, é possível produzir pão de sal a partir de farinhas mistas de trigo e farinha integral de linhaça nas proporções de 90:10 e 85:15 em escala de produção comercial.

Espera-se que os resultados, com o presente estudo, possam contribuir para a maior divulgação da linhaça como matéria-prima alimentícia, além de dar suporte a futuras pesquisas na área de panificação, com vistas à disponibilizar aos consumidores, produtos que além do aspecto nutricional e sensorial, contribuam com sua funcionalidade, auxiliando desta maneira na manutenção da saúde e prevenção de doenças.

Os resultados obtidos permitem sugerir que novos estudos sejam realizados com a utilização de enzimas que minimizem o efeito das fibras da linhaça na estrutura do glúten, favorecendo a obtenção de produtos com melhores aspectos tecnológicos e sensoriais. Será importante também investigar o efeito do processamento no perfil lipídico dos pães de sal contendo farinha mistas de trigo e linhaça, visando maior preservação de suas propriedades funcionais.

6 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Portaria n.354, de 18 de julho de 1996. **Norma técnica referente à farinha de trigo**. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br>>. Acesso em: 24 de setembro de 2009.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Portaria n.27, de 13 de janeiro de 1998. **Regulamento técnico referente à informação nutricional complementar**. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br>>. Acesso em: 25 de setembro de 2009.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução n.383 de 05 de agosto de 1999. Regulamento técnico que aprova o uso de aditivos alimentares, estabelecendo suas funções e seus limites máximos para a categoria de alimentos 7 - produtos de panificação e biscoitos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília-DF, 09 agosto de 1999.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Resolução RDC n. 90, de 18 de outubro de 2000**. Aprova o regulamento técnico para fixação de identidade e qualidade de pão. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, out. 2000. Disponível em: <<http://e-legis.anvisa.gov.br>>. Acesso em 24 de setembro de 2009.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. RDC n.263, de 22 de setembro de 2005. **Regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos**. Disponível em: <<http://e-legis.anvisa.gov.br>>. Acesso em: 25 de setembro de 2009.

AGRIANUAL. **Consultoria e Agroinformativos**. Anuário da Agricultura Brasileira, 2004. p.479-486.

AHMED, Z.S. Physico-chemical structural and sensory quality of corn-based flax-snack. **Nahrung Weinheim**, v.43, n.4, p.253-258, 1999.

ALPASLAN, M.; HAYTA, M. The effects of flaxseed, soy and corn flours on the textural and sensory properties of a bakery product. **Journal of Food Quality**, v.29, n.6, p.617-627, dec. 2006.

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS (AACC). **Approved methods of AACC**. 9 ed. Saint Paul, 1995, v.1 e 2.

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS (AACC). **Approved Methods of AACC**. 8 ed. Saint Paul, 1999.

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS (AACC). **Approved Methods of the AACC**. 10 ed, The Association, Saint Paul, 2000.

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS (AACC). **Guidelines for measurement of volume by rapeseed displacement**. Saint Paul, 2001.

ANDERSON, J.W.; ALLGOOD, L.D.; LAWRENCE, A.; ALTRINGER, L.A.; JERDACK, G.R.; HENGHOLD, D.A.; MOREL, J.G. Cholesterol-lowering effects of psyllium intake adjunctive to diet therapy in men and women with hypercholesterolemia: Meta-analysis of controlled trials. **American Journal of Clinical Nutrition**, v.71, n.2, p.472-479, febr. 2000.

ANGIOLONI, A.; COLLAR, C. Gel, dough and fibre enriched fresh breads: Relationships between quality features and staling kinetics. **Journal of Food Engineering**, v.91, n. 4, p.526-532, apr. 2009.

ANTON, A.A.; FRANCISCO, A.; HAAS, P. Análise físico-química de pães da cidade de Florianópolis e a situação dos alimentos integrais no Brasil. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v.17, n.4, p.381-386 out./dez. 2006.

ANZALDÚA-MORALES, A. **La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica**. Zaragoza (España): Editorial Acribia, 1994, 198p.

ARABBI, P.R. Alimentos funcionais-aspectos gerais. **Nutrire**, v.21, p.87-102, jun. 2001.

ARSHAD, M.U.; ANJUM, F.M.; ZAHOOOR, T. Nutritional assessment of cookies supplemented with defatted wheat germ. **Food Chemistry**, v.102, n.1, p.123-128, 2007.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. Washington, 1094p., 1975.

ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS (AOAC). **Official Methods of Analysis of the Association of Official Agriculture Chemists**. 16th ed. Washington, 1995. v.2.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY (AOAC). **Official methods of analysis of AOAC international**. Virginia, 1996.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). **Official methods of analysis of AOAC International**. 16 ed. Washington, 1997.

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

BAKKE, A.; VICKERS, Z. Consumer liking of refined and whole wheat breads. **Journal of Food Science**, v.72, n.7, p.S473-S480, sept. 2007.

BANKS, W.T.; WANG, C.; SUSAN, M. Partially defatted soy flour effects on sensory and physical characteristics of baked products. **Journal of Consumer Studies and Home Economics**, v.21, n.2; p.151–156, jun. 1997.

BARRE, D.E., GRISCTI, O., MIZIER-BARRE, K.A.; HAFEZ, K. Flaxseed oil and lipoprotein (a) significantly increase bleeding time in type 2 diabetes patients in Cape Breton, Nova Scotia, Canada. **Journal of Oleo Science**, v.54, n.6, p.347–354, may 2005.

BASMAN, A., KOKSEL, H. Properties and composition of Turkish flan bread (Bazlana) supplemented with barley flour and wheat bran. **Cereal Chemistry**, v.76, n.4; p.506-511, jul.-aug. 1999.

BATOCHIO, J.R.; CARDOSO, J.M.P.; KIKUCHI, M.; MACCHIONE, M.; MODOLO, J.S.; PAIXÃO, A.L.; PINCHELLI, A.M.; SILVA, A.R.; 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.6, n.2, p.428-433, abr.-jun. 2006.

BATTOCHIO, J.R. **Bolo de linhaça diet: desenvolvimento da formulação, determinação do perfil sensorial e estudos de consumidor**. Campinas-SP: Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, 2007. 128p. Dissertação de Mestrado em Alimentos e Nutrição, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos (UNICAMP-FEA).

BENASSI, V.T.; WATANABE, E. **Fundamento da tecnologia de panificação**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CTAA, 1997. 60 p

BENDER, A.E.; DOELL, B.H. Note on the determination of net protein utilization by carcass analysis. **British Journal Nutrition**, v.11; p.138-143, 1957.

BEZERRA, J.R.M.V.; GONZÁLES, S.L.; KOPF, C.; RIGO, M.; BASTOS, R.G. Elaboração de pães com farinha de pinhão. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v.8, n.1, p.69-81, jan.-jun. 2006.

BODROŽA-SOLAROV, M.; FILIPCEV, B.; KEVREŠAN, Z.; MANDIC, A.; ŠIMURINA, O. Quality of bread supplemented with popped *amaranthus cruentus* grain. **Journal of Food Process Engineering**, v.31, n.5, p.602-618, oct. 2008.

BOMBO, A.J. **Obtenção e caracterização nutricional de snacks de milho (*Zea mays* L.) e linhaça (*Linum usitatissimum* L.)**. São Paulo-SP, Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, 2006. 96p. Dissertação de Mestrado em Saúde Pública, Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública (USP-FSP).

BORGES, J.T.S.; ASCHERI, J.L.R.; ASCHERI, D.R.; NASCIMENTO, R.E.; FREITAS, A.S. Propriedades de cozimento e caracterização físico-química de macarrão pré-cozido à base de farinha integral de quinoa (*Chenopodium quinoa*, Wild) e de farinha de arroz (*Oryza sativa*, L) polido por extrusão termoplástica. **Boletim CEPPA**, Curitiba, v.21, n.2, p.303-322, jul./dez. 2003.

BORGHT, A.V.D., GOESAERT, H., VERAVERBEKE, W.S., DELCOUR, J.A. Review. Fractionation of wheat and wheat flour into starch and gluten: overview of the main processes and the factors involved. **Journal of Cereal Science**, v.41, n.3, p.221-237, may 2005.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Instrução Normativa n.7, 15 de agosto de 2001. Regulamento técnico de identidade e de qualidade do trigo. **Diário Oficial da União**, 21 de agosto de 2001, Seção I, p.33-35.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Instrução Normativa n.8, 02 de junho de 2005. Regulamento técnico de identidade e de qualidade da farinha de trigo. **Diário Oficial da União**, Seção 1, n.105, 3 de junho de 2005.

CAFÉ, S.L.; FONSECA, P.S.M.; AMARAL, G.F.; MOTTA, M.F.S.R.; ROQUE, C.A.L.; ORMOND, J.G.P. **Cadeia produtiva do trigo**. Rio de Janeiro: BNDES Setorial, n.18, p.193-220, set. 2003.

CALDEIRA, N.Q.N.; LIMA, Z.L.A.; SEKI, A.R.; RUNJANEK, F.D., **Diversidade de trigo, tipificação de farinhas e genotipagem**. Revista Biotecnologia Ciência de Desenvolvimento, ano III, n.16, p.44-48, 2000.

CAMACHO, N.A.; AGUIAR O.G. Production, purification and characterization of a low molecular mass xylanase from *Aspergillus sp* and its application in bakery. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v.104, p.159-172, 2003.

CAMARGO, C.E.O.; FERREIRA-FILHO, A.W.P.; SALOMON, M.V. Temperature and pH of the nutrient solution on wheat primary root growth. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.61, n.3, p.313-318, may-jun. 2004.

CAMELO, L.C. **Aplicação das farinhas de linhaça (*Linum usitatissimum* L.) e Maracujá (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deg.) no processamento de pães com propriedades funcionais**. Ceará: Universidade Federal do Ceará, 2007. 157p. Dissertação de mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Ceará (UFC).

CAMPOS, M. S. **Influência da energia de microondas na qualidade tecnológica de trigo**. São Paulo-SP: Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, 1985. 145p. Dissertação de mestrado em Tecnologia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos (UNICAMP-FEA).

CAPRILES, V.D.; AREAS, J.A.G. Desenvolvimento de salgadinhos com teores reduzidos de gordura saturada e ácidos graxos trans. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.25, n.2, p.363-369, abr.-jun. 2005.

CARDOSO-SANTIAGO, R.A. **Desenho de alimento extrusado para intervenção nutricional à base de milho (*Zea mays* L.) e pulmão bovino**. São Paulo-SP, Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, 2002, 103p. Tese de Doutorado em Saúde Pública, Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública (USP-FSP).

CARIAS, D.; CIOCCIA, A.M.; HEVIA, P. Grado de concordancia entre la digestibilidad de proteínas animales y vegetales medidas *in vivo* e *in vitro* y su efecto sobre el cómputo químico. **Archives Latinoamericanas de Nutrición**, v.45, n.2, p.111-116, jun. 1995.

CARR, L.G.; RODAS, M.A.B.; DELLA TORRE, J.C.M.; TADINI, C.C. Physical, textural and sensory characteristics of 7-day frozen part-baked French bread. **LWT-Food Science and Technology**, v.39, n.5, p.540-547, jun. 2006.

CARVALHO, G.Q.; ALFENAS, R.C.G. Índice glicêmico: uma abordagem crítica acerca de sua utilização na prevenção e no tratamento de fatores de risco cardiovasculares. **Revista de Nutrição**, Campinas, v.21, n.5, out. 2008.

CASAGRANDE, D.A.; CANNIATTI-BRAZACA, S.G.; SALGADO, J.M.; PIZZINATTO, A.; NOVAES, N.J. Análise tecnológica, nutricional e sensorial de macarrão elaborado com farinha de trigo adicionada de farinha de feijão-guandu. **Revista de Nutrição**, Campinas, v.12, n.2, p.137-143, maio-agos., 1999.

CAUVAIN, S.P.; YOUNG, L.S. **Technology of Breadmaking**, London: Blackie Academic & Professional, 1998. 354p.

CHERBUT, C.; AUBE, A.-C.; MEKKI, N.; DUBOIS, C.; LAIRON, D.; BARRY, J.-L. Digestive and metabolic effects of potato and maize fibres in human subjects. **British Journal of Nutrition**; v.77, n.1, p.33-46, jan. 1997.

CHIARADIA, A.C.N. **Determinação da estrutura de pigmentos de feijão e estudo da sua ação na qualidade protéica**. Viçosa-MG, Universidade Federal de Viçosa, 1997. 107p. Tese de doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Viçosa (UFV).

CINTRA, D.E.C.; COSTA, A.G.V.; PELUZIO, M.C.G.; MATTA, S.L.P.; SILVA, M.T.C.; COSTA, N.M.B. Lipid profile of rats fed high-fat diets based on flaxseed, peanut, trout or chicken skin. **Nutrition**, v.22, n.2, p.197-205, febr. 2006.

COLLAR, C.; SANTOS, E.; ROSELL, M.C. Assessment of rheological profile of fibre-enriched bread doughs by response surface methodology. **Journal of Food Engineering**, v.78, n.3, p.820-826, febr. 2007.

CONFORTI, F.D.; DAVIS, S.F. The effect of soya flour and flaxseed as a partial replacement for bread flour in yeast bread. **International Journal of Food Science and Technology**, v.41, Suppl.2, p.95-101, dec. 2006.

CORNELL, H.J.; HOVELING, A.W. **Wheat chemistry and utilization**. Technomic Publishing Company, 1998.

COSKUNER, Y.; KARABABA, E. Some physical properties of flaxseed. **Journal of Food Engineering**, v.78, n.3, p.1067-1073, febr. 2007.

COSTA, N.M.B.; PELUZIO, M.C.G. **Nutrição Básica e Metabolismo**. Viçosa(MG): UFV, 2008. 400p.

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, jan.-mar. 2008.

COURTIN, C.M.; ROELANTS, A.; DELCOUR, J.A. Fractionation–reconstitution experiments provide insight into the role of endoxylanases in bread-making. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.47, n.5, p.1870-1877, apr. 1999.

COURTIN, C.M.; GELDERS, G.G.; DELCOUR, J.A. Use of two endoxylanases with different substrate selective for understanding arabinoxylan functionality in wheat flour breadmaking. **Journal of Cereal Chemistry**, v.78, p.564-571, 2001.

COUTO, M.E. **Utilização da farinha de casca de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) na elaboração de pão de forma**. Lavras-MG: Universidade Federal de Lavras, 2007. 107p. Dissertação de mestrado em Ciência dos Alimentos Universidade Federal de Lavras (UFLA).

DANTAS, M.I.S.; DELIZA, R.; MINIM, V.P.R.; HEDDERLEY, D. Avaliação da intenção de compra de couve minimamente processada. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.25, n.4, p.762-767, dez. 2005.

DAUN, J.K.; BARTHET, V.J.; CHORNICK, T.L.; DUGUID. Structure, Composition, and Variety Development of Flaxseed, 1-40p. IN: THOMPSON, L.U.; CUNNANE, S.C. **Flaxseed in Human Nutrition**, 2003, 2ed.

DENDY, D.A.V.; DOBRASZCZYK, B.J. **Cereal and cereal products-chemistry and utilization**. Aspen Publishers, 2001.

DERIVI, S.C.N.; MENDEZ, M.H.M. Uma visão retrospectiva da fibra e doenças cardiovasculares. In: LAJOLO, F.M.; SAURA-CALIXTO, F.; PENNA, E.W.; MENEZES, E.W. (Ed.). **Fibra dietética en iberoamérica: tecnología y salud**. São Paulo: Livraria Varela, 2001, Cap. 30, p. 411-430.

DHINGRA, S.; JOOD, S. Effect of flour blending on functional, baking and organoleptic characteristics of bread. **International Journal of Food Science and Technology**, v.39, n.2, p.213-222, febr. 2004.

DONALDSON, M.S. Nutrition and cancer: A review of the evidence for an anti-cancer diet. **Nutrition Journal**, v.3, n.19, out. 2004.

DOXASTAKIS, G.; ZAFIRIADIS, I.; IRAKLI, M.; MARLANI, H.; TANANAKI, C. Lupin, soya and triticale addition to wheat flour doughs and their effect on rheological properties. **Food Chemistry**, v.77, n.2; p.219-227, may 2002.

EDWARDS, N.M.; DEXTER, J.E., SCANLON, M.G., CENKOWSKI, S. Relationship of creep-recovery and dynamic oscillatory measurements to durum wheat physical dough properties. **Cereal Chemistry**, v.76, p. 638–645, 1999.

EL-DASH, A.A. Standardized mixing and fermentation procedure for experimental baking test. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.55, n.4, p.436-446, jul-aug. 1978.

EL-DASH, A.A; CAMARGO, C. O.; DIAZ, N. M. **Fundamentos da tecnologia de panificação**. São Paulo: Secretaria da Indústria, Comércio e Tecnologia, 1982. p.1-243.

EL-DASH, A.A.; GERMANI, R. **Tecnologia de farinhas mistas: uso de farinhas mistas na produção de biscoitos**. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa de Tecnologia Agroindustrial de Alimentos (EMBRAPA-SPI), 1994. v.6.

EL-DASH, A.A.; MAZZARI, M.R.; GERMANI, R. **Tecnologia de farinhas mistas: uso de farinha mista de trigo e milho na produção de pães**. Brasília. EMBRAPA-CTAA, v.1, p.42-88, 1994.

ESTELLER, M.S.; LANNES, S.C.S. Parâmetros complementares para fixação de identidade e qualidade de produtos panificados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.25, n.4, p.802-806, out.-dez. 2005.

FAO/WHO. Food and Agriculture Organization/World Health Organization. **Necessidades de energia y de proteínas**. Ginebra: OMS, 1985. 220p. (Informe de una reunión consultiva conjunta FAO/OMS/UNU de expertos).

FAO/WHO. Food and Agriculture Organization/World Health Organization. **Evaluation of protein quality**. Rome: FAO, Food Nutrition, 1991. (Report of the Joint FAO/WHO expert consultation on protein quality evaluation).

FELÍCIO, J.C.; CAMARGO, C.E.O.; GERMANI, R.; GALLO, P.B.; PEREIRA, J.C.V.N.A.; BORTOLETTO, N.; PETTINELLI, A.J. Influência do ambiente no rendimento e na qualidade de grãos de genótipos de trigo com irrigação por aspersão no estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v.60, n.2, p.111-120, 2001.

FONSECA FILHO, A.A.; ARAÚJO, W.M.C.; FALCIROLI, D.M.C.; PILLA, N.; MARQUES, A.O. Avaliação da qualidade tecnológica de pães enriquecidos com farelo de trigo. **Alimentos e Nutrição**, v.8, p.17-25, 1997.

FUNCK, L.G. **Determinação de glutatona e glutatona dissulfeto em farinha de trigo e massas de pão fresca e congelada por eletroforese capilar**. Santa Catarina, Universidade Federal de Santa Catarina, 2006. 122p. Dissertação de mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

GALLAND-IRMOULI, A.V.; FLEURENCE, J.; LAMGHARY, R.; LUCON, M.; ROUXEL, C.; BARBAROUX, O.; BRONOWICKI, J.P.; VILLAUME, C.; GUÉANT, J.L. Nutritional value of proteins from edible seaweed *Palmaria palmata* (Dulse). **The Journal of Nutrition Biochemistry**, v.10, n.6, p.353-359, jun. 1999.

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**, Campinas, v.28, n.1, p.182-192, jan.-mar. 2008.

GIANIBELLI, M.C.; LARROQUE, O.R.; MACRITCHIE, F.; WRIGLEY, C.W. Biochemical, genetic, and molecular characterization of wheat glutenin and its component subunits. **Cereal Chemistry**, v.78, n.6, p. 635-646, 2001.

GIANNOU, V.; KESSOGLOU, V.; TZIA, C. Quality and safety characteristics of bread made from frozen dough. **Trends in Food Science Technology**, v.14, n.3, p.99-108, mar. 2003.

GIECO, E.A.; DUBKOVSKY, J.; CAMARGO, L.E.A. Interaction between resistance to *Septoria tritici* and phenological stages in wheat. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.61, n.4, p.422-426, 2004.

GIL-HUMANES, J.; PISTÓN, F.; HERNANDO, A.; ALVAREZ, J.B.; SHEWRY, P.R.; BARRO, F. Silencing of g-gliadins by RNA interference (RNAi) in bread wheat. **Journal of Cereal Science**, v.48, n.3, p.565-568, nov. 2008.

GIMÉNEZ, A.; VARELA, P.; SALVADOR, A.; ARES, G.; FISZMAN, S.; GARITTA, L. Shelf life estimation of brown pan bread: A consumer approach. **Food Quality and Preference**, Barking, v.18, n.2, p.196-204, mar. 2007.

GIUNTINI, E.B.; LAJOLO, F.M.; MENEZES, E.W. Potencial de fibra alimentar em países ibero-americanos: alimentos, produtos e resíduos. **Archivos Latinoamericanos de Nutricion**, v.53, n.1, p.1-7, mar. 2003.

GOESAERT, H.; BRIJS, K.; VERAVERBEKE, W.S.; COURTIN, C.M.; GEBREUS, K.; DELCOUR, J.A. Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. **Trends in Food Science and Technology**, v.16, n.1-3, p.12-30, jan.-mar 2005.

GÓMEZ, M.E.D.B. **Modulação da composição de ácidos graxos poliinsaturados ômega 3 de ovos e tecidos de galinhas poedeiras, através da dieta.** São Paulo-SP, Universidade de São Paulo, Faculdade de Ciências Farmacêuticas, 2003. 149 p. Tese de doutorado em Ciência dos Alimentos, Universidade de São Paulo, Faculdade de Ciências Farmacêuticas (USP-FCF).

GOMEZ, M.; RONDA, F.; BLANCO, C.A.; CABALLERO, P.A.; APESTEGUIA, A. Effects of dietary fibre on dough rheology and bread quality. **European Food Research and Technology**, v.216, n.1, p.51-56, jan. 2003.

GRIEL, A.E.; KRIS-ETHERTON, P.M.; HILPERT, K.F.; ZHAO, G.; WEST, S.G.; CORWIN, R.L. An increase in dietary n₃ fatty acids decreases a marker of bone resorption in humans. **Nutrition Journal**, v.6, n.2, jan. 2007.

GROSSMAN, M.V.E.; BARBER, C.B. Envejecimiento del pan. Efecto combinado de α -amilasa bacteriana y emulsificante en la textura e en las características amilográficas de la miga. **Archivos Latinoamericanos de Nutricion**, v.47, n.3, p.229-233, 1997.

GUARIENTI, E.M. **Qualidade industrial de trigo.** Passo Fundo: Embrapa-CNPT, 1996. 36p. Documentos, 27.

GUNNING, P.A.; MACKIE, A.R.; WILDE, P.J.; MORRIS, V.J. In situ observation of the surfactant-induced displacement of protein from a graphite surface by atomic force microscopy. **Langmuir**, v.15, n.13, p.4636-4640, may 1999.

GUTKOSKI, L.C.; NODARI, M.L.; NETO, R.J. Avaliação de farinhas de trigos cultivados no Rio Grande do Sul na produção de biscoitos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.23, p.91-97, dez. 2003.

GUTKOSKI, L.C.; ANTUNES, E.; ROMAN, T.I. Avaliação do grau de extração de farinhas de trigo e de milho em moinho tipo colonial. **Boletim do CEPPA**, v.17, n.2, p.153-166, jul.-dez. 1999.

GUTKOSKI, L.C.; DURIGON, A.; MAZZUTTI, S.; SILVA, A.C.T.; ELIAS, M.C. Efeito do período de maturação de grãos nas propriedades físicas e reológicas de trigo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.28, n.4, p.888-894, out.-dez. 2008.

GUTKOSKI, L.C.; NETO, R.J. Procedimento para teste laboratorial de panificação-pão tipo forma. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.32, n.5, p.873-879, sept-oct. 2002.

GUTKOSKI, L.C.; PAGNUSSATT, F.A.; SPIER, F.; PEDÓ, I. Efeito do teor de amido danificado na produção de biscoitos tipo semi-duros. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.27, n.1, p.119-124, mar. 2007.

GUTKOSKI, L.C.; PEDÓ, I. **Aveia: composição química, valor nutricional e processamento**. São Paulo: Varela, 2000. 96 p.

HANF, V.; GONDER, U. Nutrition and primary prevention of breast cancer: Foods, nutrients and breast cancer risk. **European Journal of Obstetrics Gynecology and Reproductive Biology**, v.123, n.2, p.139-149, dec. 2005.

HAROS, M.; ROSELL, C.M.; BENEDITO, C. Effect of different carbohydrases on fresh bread texture and bread staling. **European Food Research and Technology**, Berlin, v.215, n.5, p.425-430, nov. 2002.

HASAN, F.; SHAH, A.A.; HAMEED, A. Industrial applications of microbial lipases. **Enzyme and Microbial Technology**, New York, v.39, n.2, p.235-251, jun. 2006.

HASLER, C.M. Functional foods: their role in disease prevention and health promotion. **Food Technology**, v.52, n.11, p.57-62, nov. 1998.

HEGSTED, D.M. Protein quality and its determination. In: WHITAKER, J.R., TANNENBAUM, S.R. **Food proteins**. Westport, Connecticut, AVI, p.347-362, 1977.

HENLEY, E.C.; KUSTER, J.M. Protein quality evaluation by protein digestibility corrected amino acid scoring. **Food Technology**, v.4, n.1, p.74-77, 1994.

HILLE, J.D.R.; SCHOONEVELD-BERGMANS, M.E.F. Hemicellulases and their synergism em breadmaking. **Cereal Foods World**, v.49, n.5, p.283-286, sept.-oct. 2004.

HU, G.; HUANG, S.; CAO, S.; MA, Z. Effect of enrichment with hemicellulose from rice bran on chemical and functional properties of Bread. **Food Chemistry**, v.115, n.3, p.839-842, aug. 2009.

HUNTERLAB. **User's manual with universal software versions 3.5**. Reston: HunterLab, 1998.

HUSSAIN, S.; ANJUM, F.M.; BUTT, M.S.; KHAN, M.I.; ASGHAR, A. Physical and sensory attributes of flaxseed flour supplemented cookies. **Turkish Journal of Biology**, v.30, n.2, p.87-92, may 2006.

INDRANI, D.; RAO, G.V. Rheological characteristics of wheat flour dough as influenced by ingredients of *Parotta*. **Journal of Food Engineering**, California, v.79, n.1, p.100-105, mar. 2007.

INSEL, P., TURNER, R.E., ROSS, D. **Discovering Nutrition**. American Dietetic Association, 2003. 612p.

ISSERLIYSKA, D.; KARADJOV, G.; ANGELOV, A. Mineral composition of Bulgarian wheat bread. **European Food Research and Technology**, v.213, n.3, p.244-245, sept. 2001.

IZYDORCZYK, M.S.; CHORNICK, T.L.; PAULLEY, F.G.; EDWARDS, N.M.; DEXTER, J.E. Physicochemical properties of hull-less barley fibre-rich fractions varying in particle size and their potential as functional ingredients in two-layer flat bread. **Food Chemistry**, v.108, n.2, p.561-570, may 2008.

IZYDORCZYK, M.S.; HUSSAIN, A.; MACGREGOR, A.W. Effect of barley and barley components on rheological properties of wheat dough. **Journal of Cereal Science**, v.34, n.3, p.251-260, nov. 2001.

JIMÉNEZ-CRUZ, A.; TURNBULL, W.H.; BACARDI-GASCÓN, M.; ROSALES-GARAY, P. A high-fiber, moderate-glycemic-index, Mexican style diet improves dyslipidemia in individuals with type 2 diabetes. **Nutrition Research**, v.24, n.1, p.19-27, jan. 2004.

JONES, J.M.; REICKS, M.; ADAMS, J.; FULCHER, G.; MARQUART, L. Becoming proactive with the wholegrains message. **Nutrition Today**, v.39, n.1, p.10-17, jan. 2004.

JUNQUEIRA, R.M.; COCATO, M.L.; COLLI, C.; CASTRO, I.A. Synergism between lipoxygenase-active soybean flour and ascorbic acid on rheological and sensory properties of wheat bread. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.88, n.2, p.194-198, 2008.

JUSTO, M.B.; ALFARO, A.D.C.; AGUILAR, E.C.; WROBEL, K.; WROBEL, K.; GUZMÁN, G.A.; SIERRA, Z.G.; ZANELLA, V.M. Desarrollo de pan integral con soya, chía, linaza y ácido fólico como alimento funcional para la mujer. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v.57, n.1, p.78-84, mar. 2007.

KAJISHIMA, S.; PUMAR, M.; GERMANI, R. Efeito da adição de diferentes sais de cálcio nas características da massa e na elaboração de pão francês. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.23, n.2, p.222-225, mai-agos. 2003.

KAJISHIMA, S.; PUMAR, M.; GERMANI, R. Elaboração de pão francês com farinha enriquecida de sulfato de cálcio. **Boletim CEPPA**, Curitiba, v.19, n.129, p.125-127, jul.-dez. 2001.

KATINA, K., SALMENKALLIO-MARTTILA, M., PARTANEN, R., FORSELL, P., AUTIO, K. Effects of sourdough and enzymes on staling of high-fibre wheat bread. **LWT-Food Science and Technology**, v.39, n.5 p.479-491, jun. 2006.

KELLER, R.C.; ORSEL, R.; HAMER, R.J. Competitive absorption behavior of wheat flour components and emulsifiers at air-water interface. **Journal of Cereal Science**, v.25, n.2, p.175-183, mar. 1997.

KOCA, A.F.; ANIL, M. Effect of flaxseed and wheat flour blends on dough rheology and bread quality. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.87, n.6, p.1172-1175, apr. 2007.

KOWASLKI, M.B.; CARR, L.G.; TADINI, C.C. Parâmetros físicos e de textura de pão francês produzido na cidade de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 18, 2002, Porto Alegre. **Anais ...** Porto Alegre: SBCTA, 2002. p.3133-3136.

LAGRAIN, B.; THEWISSEN, B.G.; BRIJS K.; DELCOUR J.A. Mechanism of gliadin–glutenin cross-linking during hydrothermal treatment. **Food Chemistry**, v.107, n.2, p.753-776, mar. 2008.

LAURIKAINEN, T.; HARKONEN, H.; AUTIO, K.; POUTANEN, K. Effects of enzymes in fibre-enriched baking. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.76, n.2, p.239-249, febr. 1998.

LEÓN, A.E.; DURÁN, E.; BARBER, C.B. Utilization of enzyme mixtures to retard bread crumb firming. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v.50, n.6, p.1416-1419, febr. 2002.

LI-CHAN, E.C.Y.; MA, C.-Y. Thermal analysis of flaxseed (*Linum usitatissimum*) proteins by differential scanning calorimetry. **Food Chemistry**, v.77, n.4, p.495-502, jun. 2002.

LI, W.; DOBRASZCZYK, B.J.; WILDE, P.J. Surface properties and locations of gluten proteins and lipids revealed using confocal scanning laser microscopy in bread dough. **Journal of Cereal Science**, v.39, n.3, p.403-411, may 2004.

LIMA, C.C. **Aplicação das farinhas de linhaça (*Linum usitatissimum* L.) e maracujá (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deg.) no processamento de pães com propriedades funcionais**. Ceará: Universidade Federal do Ceará, 2007. 148p. Dissertação de mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Ceará (UFV).

LINDEN, G.; LORIENT, D. **Bioquímica agroindustrial**. España (zaragoza): Acribia, 1994. 426 p.

LOPES, A.S.; ORMENESE, R.C.S.C.; MONTENEGRO, F.M.; FERREIRA JÚNIOR, P. G. Influência do uso simultâneo de ácido ascórbico e azodicarbonamida na qualidade do pão francês. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.27, n.2, p.307-312, abr.-jun. 2007.

LUYTEN, A.; PLIJTER, J. J.; VAN VLIET, T. Crispy/crunchy crusts of cellular solid foods: A literature review with discussion. **Journal of Texture Studies**, v.35, n.5, p.445-492, oct. 2004.

MACEDO, M.L.R.; DAMICO, D.C.S. Effects of protein fractions from *Zea mays* L. on development and survival of Mexican bean weevil *Zabrotes subfasciatus* (Boh.). **Insect Science and its Application**, v.20, n.2, p.135-139, 2000.

MACIEL, L.M.B. **Utilização de farinha de linhaça (*Linum usitatissimum* L.) no processamento de biscoito tipo “cracker”: características físico-químicas, nutricionais e sensoriais.** Ceará, Universidade Federal do Ceará, 2006. 114p. Dissertação de mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Ceará (UFV).

MAFORIMBO, E.; SKURRAY, G.; UTHAYAKUMARAN, S.; WRIGLEY, C.W. Improved functional properties for soywheat doughs due to modification of the size distribution of polymeric proteins. **Journal of Cereal Science**, v.43, n.2, p.223-229, mar. 2006.

MAGA, J.A.; LORENZ, K.; ONAUEMI, O. Digestive acceptability of proteins as measured by the initial rate of *in vitro* proteolysis. **Journal Food Science**, v.38, n.1, p.173-174, jan. 1973.

MAHAN, L.K.; ESCOTT-STUMP, S. **Alimentos, nutrição e dietoterapia.** 11 Ed. São Paulo: Roca, 2005. 1242p.

MANDARINO, J.M.G.; ROESSING, A.C.; BENASSI, V.T. **Óleo: alimentos funcionais.** Londrina: Embrapa Soja, 2005. 91p.

MANTHEY, F.A.; LEE, R.E.; HALL III, C.A.; KEGODE, R. **Quality of spaghetti containing ground flaxseed.** Proceedings of the 59 th Flax Institute of the U.S. p.92-99, 2000.

MANTHEY, F.A.; LEE, R.E.; HALL III, C.A. Processing and cooking effects on lipid content and stability of α -linolenic acid in spaghetti containing ground flaxseed. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.50, n.6, p.1668-1671, mar. 2002.

MATHIAS, E.; MARQUES, C.; NOGUEIRA, D.; COSTA, I.; BRITO, L.; OLIVEIRA, M.R.; MACEDO, Y. **Aceitabilidade de pães industrializados com diferentes teores de farinha de linhaça em substituição parcial de farinha de trigo.** Salvador (BA): 4º Fórum de Nutrição, 2008. Disponível em: <<http://nutricaoempauta.com.br>>. Acesso em: 23 de setembro de 2009.

MCCANN, T.H.; SMALL, D.M.; BATEY, I.L.; WRIGLEY, C.W.; DAY, L. Protein–lipid interactions in gluten elucidated using acetic-acid fractionation. **Food Chemistry**, v.115, n.1, p.105-112, jul. 2009.

MEAGHER, L.P.; BEECHER, G.R. Assessment of data on the lignan content of foods. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.13, n.6, p.935-947, dec. 2000.

MELITO, C.; TOVAR, J. Cell walls limit *in vitro* protein digestibility in processed legume seed. **Food Chemistry**, v.53, n.3, p.305-307, 1995.

MELO, L.L. M.M. **Síntese enzimática dos ésteres de aroma butirato e valerato de citronelila por lipase de *Rhizopus* SP.** Campinas-SP, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, 2004, 94p. Dissertação de mestrado em Ciência de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos (UNICAMP-FEA).

MENEZES, E.W.; CARUSO, L.; LAJOLO, F.M. Avaliação dos dados de fibra alimentar. Estudo em alimentos brasileiros. In: LAJOLO, F.M.; SAURACALIXTO, F.; PENNA, E.W.; MENEZES, E.W. (Ed.). **Fibra dietética en iberoamérica: tecnología y salud.** São Paulo: Varela, 2001, Cap.11, p.165-178.

MENTES, O.; BAKKALBASSI, E.; ERCAN, R. Effect of the use of ground flaxseed on quality and chemical. **Food Science and Technology International**, v. 14, n.4, p.299-306, aug. 2008.

MEYER, K.A.; KUSHI, L.H.; JACOBS, D.R.JR.; SLAVIN, J.; SELLERS, T.A.; FOLSOM, A.R. Carbohydrates, dietary fiber, and incident type 2 diabetes in older women. **American Journal of Clinical Nutrition**, v.71, n.4, p.921-930, apr. 2000.

MIRANDA, M.Z.; EL DASH, A. Farinha integral de trigo germinado: características nutricionais e estabilidade ao armazenamento. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.22, n.3, p.216-223, set.-dez, 2002.

MOLINA, S.M.G.; GAZIOLA, S.A.; LEA, P.J.; AZEVEDO, R.A. Manipulação de cereais para acúmulo de lisina em sementes. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.58, n.1, p.205-211, mar. 2001.

MONFORT, A.; BLASCO, A.; PRIETO, J.A.; SANZ, P. Construction of baker's yeast strains that secrete different xylanolytic enzymes and their use in bread making. **Journal of cereal Science**, v.26, n.2, p.195-199, sept. 1997.

MOREL, M-H.; REDL, A.; GUILBERT, S. Mechanism of heat and shear mediated aggregation of wheat gluten protein upon mixing. **Biomacromolecules**, v.3, n.3, p.488-497, mar. 2002.

MORRIS, D.H. Essential nutrients and other functional compounds in flaxseed. **Nutrition Today**, v.36, n.3, p.159-162, may-jun. 2001.

MOURA, N.C. **Características físico-químicas, nutricionais e sensoriais de pão de forma com adição de grãos de linhaça (*Linum usitatissimum*).** São Paulo-SP, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2008. 94p. Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (USP-ESALQ).

NÉRON, S.; EL AMRANI, F.; POTUS, J.; NICOLAS, J. Separation and quantification by high-performance liquid chromatography with light scattering detection of the main wheat flour phospholipids during dough mixing in the presence of phospholipase. **Journal of Chromatography A**, Amsterdam, v.1047, n.1, p.77-83, aug. 2004.

NICOLAS, Y.; SMIT, R.J.M.; VAN AALST, H.; ESSELINK, F.J.; WEEGELS, P.L.; AGTEROF, W.G.M. Effect of storage time and temperature on rheological and microstructural properties of glúten. **Cereal Chemistry**, v.80, n.4, p. 371-377, jul.-aug. 2003.

NÚCLEO DE ESTUDOS E PESQUISA EM ALIMENTOS-NEPA. **Tabela brasileira de composição de alimento-TACO** (versão 2). Campinas: NEPA-UNICAMP, 2006. 114p.

OLGUIN, M.C.; HISANO N.; D' OTTAVIO, A.E.; ZINGALE, M.I.; REVELANT, G.C.; CALDERARI, S.A. Nutritional and antinutritional aspects of an Argentinian soy flour assessed on weanling rats. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.16, n.4, p.441-449, aug. 2003.

OLIVEIRA, J.E.D.; MARCHINI, J.S. **Ciencias Nutricionais**. Sao Paulo: Sarvier Editora de Livros Medicos Ltda; 1998.

OLIVEIRA, T.M.; PIROZI, M.R.; BORGES, J.T.S. Elaboração de pão de sal utilizando farinha mista de trigo e linhaça. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v.18, n.2, p. 141-150, abr./jun. 2007.

OOMAH, B.D.; DER, T.J.; GODFREY, D.V. Thermal characteristics of flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) proteins. **Food Chemistry**, v.98, n.4, p.733-741, 2006.

OOMAH, B.D.; MAZZA, G. Flaxseed proteins: A review. **Food Chemistry**, v.48, n.2, p.109-114, 1993.

OOMAH, B.D.; MAZZA, G.; PRZYBYLSKI, R. Comparison of flaxseed meal lipids extracted with different solvents. **LWT-Food Science and Technology**, v.29, n.7, p. 654-658, nov. 1996.

OOMAH, B.D.; MAZZA, G. Bioactive components of flaxseed: occurrence and health benefits. In F. Shahidi, & C. T. Ho (Eds.), **Phytochemicals and phytopharmaceuticals**. Champaign: AOCS Press, p.105-120, 2000.

OOMAH, B.D. Flaxseed as a functional food source. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.81, n.9, p.889-894, jul. 2001.

OSAKA, H.J. Mercados, empresas e cia. **Aditivos & Ingredientes**. São Paulo, n.18, p.16, jan.-fev. 2002.

OZBOY, O.; KOKSEL, H. Unexpected strengthening effects of a coarse wheat bran on dough rheological properties and baking quality. **Journal of Cereal Science**, v.25, n.1, p.77–82, jan. 1997.

PAPANTONIOU, E.; HAMMOND, E. W.; SCRIVEN, F.; GORDON, M. H.; SCHOFIELD, J. D. Effects of endogenous flour lipids on the quality of short-dough biscuits. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.84, n.11, p.1371–1380, 2004.

PARK, D.N.; ARAYA, L.H. Fibra dietética Y obesidad. In: LAJOLO, F.M.; SAURA-CALIXTO, F.; PENNA, E.W.; MENEZES, E.W. (Ed.) **Fibra dietética en iberoamérica: tecnología y salud**. São Paulo: Varela, 2001, Cap.27, p.371-384.

PELSER, W.M.; LINSSEN, J.P.H.; LEGGER, A.; HOUBEN, J.H. Lipid oxidation in n-3 fatty acid enriched Dutch style fermented sausages. **Meat Science**, v.75, n.1, p.1-11, jan. 2007.

PEREZ, P.M.P.; GERMANI, R. Farinha mista de trigo e berinjela: características físicas e químicas. **Boletim CEPPA**, Curitiba, v.22, n.1, p.15-24, jan.-jun. 2004.

PHILIPPI, S.T. **Nutrição e técnica dietética**. Barueri: Manole, 2003. 390 p.

PIRES, C.V.; OLIVEIRA, M.G.A.; ROSA, J.C.; COSTA, N.M.B. Qualidade nutricional e escore químico de aminoácidos de diferentes fontes protéicas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.26, n.1, p.179-187, jan.-mar. 2006.

PIROZI, M.S.; GERMANI, R. Efeito do armazenamento sobre as propriedades tecnológicas da farinha de trigo, de variedades de trigo cultivado no Brasil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v.41, n.1, p.155-169, 1998.

POPOVA, I.E.; HALL, C.; KUBÁTOVÁ, A. Determination of lignans in flaxseed using liquid chromatography with time-of-flight mass spectrometry. **Journal of Chromatography A**, v.1216, n.2, p.217-229, jan.-mar. 2009.

POSSAMAI, T.N. **Elaboração do pão de mel com fibra alimentar proveniente de diferentes grãos, sua caracterização físico-química, microbiológica e sensorial**. Paraná, Universidade Federal do Paraná, 2005. 82p. Dissertação de mestrado em Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Paraná (UFPR).

POUTANEN, K. Enzymes: An important tool in the improvement of the quality of cereal foods. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v.8, n.9, p.300-306, sept.1997.

PYLER, E.J. **Baking: science & technology**. 3rd ed. Kansas: Sosland Publ., 1988. v.2.

POWELL, K.F.; HOLT, S.H.; MILLER, J.C.B. International table of glycemic index and glycemic load values: 2002. **American Journal of Clinical Nutrition**, v.76:n.1, p.5-56, jul. 2002.

PRASAD, K. Dietary flaxseed in prevention of hypercholesterolemic atherosclerosis. **Atherosclerosis**, Shannon, v.132, n.1, p.69-76, jul. 1997.

PRASAD, K.; MANTHA, S.V.; MUIR, A.D.; WESTCOTT, N.D. Reduction of hypercholesterolemic atherosclerosis by CDC-flaxseed with very low alpha-linolenic acid. **Atherosclerosis**, Shannon, v.136, n.2, p.367-375, feb.1998.

PRAZNIK, W.; CIESLIK, E.; FILIPIAK-FLORKIEWICZ, A. Soluble dietary fibres in Jerusalem artichoke powders: composition and application in bread. **Nahrung/Food**, v.46, p.151-157, 2002.

PRESOTO, A.E.F.; ALMEIDA-MURADIAN, L.B. Validação de métodos cromatográficos por clae para análise das vitaminas B1, B2, B6 e niacina naturalmente presentes em farinha de cereais. **Química Nova**,v.31, n.3, p.498-502, 2008.

QIN, G.X.; VERSTEGEN, M.W.A.; VAN DER POEL, A.F.B. Effect of temperature and time during steam treatment on the protein quality of full-fat soybeans from different origins. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.77, n.3, p.393-398, jul. 1998.

QUAGLIA, G. **Ciencia y tecnología de la panificación**. 2. ed. España (Zaragoza): Acribia, 1991. 485 p.

QUEIROZ, G.M. **Determinação de propriedades termofísicas do pão francês durante o processamento de assamento**. São Paulo-SP, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2001. 179f. Dissertação de mestrado em Engenharia, Universidade de São Paulo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

QUEJI, M.F.D.; SCHEMIN, M.H.; TRINDADE, J.L.F. Propriedades reológicas da massa de farinha de trigo adicionada de alfa-amilase. UEPG. **Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias**, Ponta Grossa, v.12, n.2, p.21-29, agos. 2006.

RAFTER, J.J. Scientific basis of biomarkers and benefits of functional foods for reduction of disease risk: cancer. **British Journal of Nutrition**, v.88, suppl.2, p.S219-S224, nov. 2002.

RAMCHARITAR, A.; BADRIE, N.; MATTFELDT-BEMAN, M.; MATSUO, H.; RIDLEY, C. Consumer acceptability of muffins with flaxseed (*Linum usitatissimum*). **Journal of Food Science**, v.70, n.7, p.504-507, sept. 2005.

REEVES, P.G.; NIELSEN, F.H.; FAHEY, G.C. AIN-93 purified diets for laboratory rodents: final report of the American Institute of Nutrition ad hoc writing committee on the reformulation of the AIN-76A rodent diet. **Journal of Nutrition**, v.123, n.11, p.1939-1951, 1993.

RIBOTTA, P.D.; ARNULPHI, S.; LEON, A. E.; ANON, M. C. Effect of soybean addition on the rheological properties and breadmaking quality of wheat flour. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.85, n.11, p.1889-1896, aug. 2005.

ROCCIA, P.; RIBOTTA, P.D.; PEREZ, G.T.; LEON, A.E. Influence of soy protein on rheological properties and water retention capacity of wheat gluten. **LWT-Food Science and Technology**, v.42, n.1, p.358-362, 2009.

ROSELL, C.M.; ROJAS, J.A.; BARBER, C.B. Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. **Food Hydrocolloids**, v.15, n.1, p.75-81, jan. 2001.

ROUDAUT, G.; DACREMONT, B.; VALLES PAMIES, B.; COLAS, B.; LE MESTE, M. Crispness: a critical review on sensory and material science approaches. **Trends in Food Science and Technology**, v.13, n.6-7, p.217-227, jun.-jul. 2002.

RYAN, K.J.; HOMCO-RYAN, C.L.; JENSON, J.; ROBBINS, K.L.; PRESTAT, C.; BREWER, M.S. Effect of lipid extraction process on performance of texturized soy flour added wheat bread. **Journal of Food Science**, v.67, n.6, p.2385-2390, aug. 2002.

SALMENKALLIO-MARTTILA, M.; KATINA, K.; AUTIO, K. Effects of bran fermentation on quality and microstructure of high-fibre wheat bread. **Cereal Chemistry**, v.78, n.4, p.429-435, jul.-aug. 2001.

SÁNCHEZ, H.D.; OSELLA, C.A.; TORRE, M.A.G. Mejoramiento de la calidad nutricional de pan tipo francés. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v.48, n.4, p.349-353, 1998.

SANGRONIS, E.; REBOLLEDO, M.A. Fibra dietética soluble, insoluble y total en cereales, productos derivados de su procesamiento y en productos comerciales a base de cereales. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, Caracas, v.43, n.3, p.258-263, 1993.

SANTUCCI, M.C.C.; ALVIM, I.D.; SCHMIT, F.; FARIA, E.V.; SGARBIERI, V.C. Enriquecimento de macarrão tipo tubo (massa curta) com derivados de levedura (*Saccharomyces* sp.): impacto nutricional e sensorial. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.23, n.2, p.290-295, agos. 2003.

SAS INSTITUTE. **The SAS System for Windows (Statistical Analysis System)**, release 6.12 software. Cary, 1996.

SEENA, S.; SRIDHARA, K.R.; RAMESH, S.R. Nutritional and protein quality evaluation of thermally treated seeds of *Canavalia maritima* in the rat. **Nutrition Research**, v.25, n.6, p.587-596, jun. 2005.

SEYER, M.E.; GELINAS, P. Bran characteristics and wheat performance in whole wheat bread. **International Journal of Food Science and Technology**, v.44, n.4, p.688-693, apr. 2009.

SGARBIERI, V.C. **Proteínas em alimentos proteicos: propriedades, degradação, modificação**. São Paulo: Livraria Varela, 1996. 517p.

SHARMA, H.R.; CHAUHAN, G.S. Physicochemical and rheological quality characteristics of fenugreek (*Trigonella foenum graecum* L.) supplemented wheat flour. **Journal of Food Science and Technology**, v.37, n.1, p.87-90, 2000.

SHEARER, A.E.H.; DAVIES, C.G.A. Physicochemical properties of freshly baked and stored whole-wheat muffins with and without flaxseed meal. **Journal of Food Quality**, v.28, n.2, p.137-153, apr. 2005.

SIDDIQ, M.; NASIR, M.; RAVI, R.; BUTT, M.S.; DOLAN, K.D.; HARTE, J.B. Effect of defatted maize germ flour addition on the physical and sensory quality of wheat bread. **LWT-Food Science and Technology**, v.42, n.2, p.464-470, mar. 2009.

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, n.4, p.365-371, dec. 1999.

SIDHU, J.S.; AL-HOOTI, S.N.; AL-SAQER, J.M.; AL-OTHMAN, A. Studies on the development of pan bread using raw wheat germ. **Journal of Food Quality**, v.24, n.3, p.235-247, jul. 2001.

SILVA, M.R. **Caracterização química e nutricional da farinha de jatobá (*Hymenaea stigonocarpa* Mart.): desenvolvimento e otimização de produtos através de testes sensoriais afetivos**. Campinas-SP, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, 1997. 154p. Tese de doutorado em Ciência da Nutrição, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos (UNICAMP-FEA).

SIMBALISTA, R.L.; CAPRILLES, V.D.; ARÊAS, J.A.G. Caracterização a semente de linhaça (*Linum usitatissimum*). In.: **Anais do 7º Congresso da Sociedade Brasileira de Alimentação e Nutrição**, Belo Horizonte, p.27, 2003.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DE PANIFICAÇÃO E CONFEITARIA DE SÃO PAULO, ASSOCIAÇÃO DOS INDUSTRIAIS DE PANIFICAÇÃO E CONFEITARIA DE SÃO PAULO (SINDIPAN/AIPAN-SP). **Panorama Setorial: Consumo de pão no Brasil e outros países em 2008**. Disponível em: <<http://www.sindipan.org.br>>. Acesso em: 24 de setembro de 2009.

SKRBIC, B.; FILIPCEV, B. Nutritional and sensory evaluation of wheat breads supplemented with oleic-rich sunflower seed. **Food Chemistry**, v.108, n.1, p.119-129, may 2008.

ŠKRBIĆ, B.; MILOVAC, S.; CODIG, D.; FILIPČEV, B. Effects of hull-less barley flour and flakes on bread nutritional composition and sensory properties. **Food Chemistry**, v.115, n.3, p.982-988, aug. 2009.

SOARES JÚNIOR; M.S.; BASSINELLO, P.Z.; LACERDA, D.B.C.L.; KOAKUZU, S.N.; GEBIN, P.F.C.; JUNQUEIRA, T.L.; GOMES, V.A. Características físicas e tecnológicas de pães elaborados com farelo de arroz torrado. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.29, n.4, p.815-828, out./dez. 2008.

SOMMIER, A.; CHIRON, H.; COLONNA, P.; VALLE, G. D.; ROUILLÉ, J. An instrumented pilot scale oven for the study of French bread baking. **Journal of Food Engineering**, v.69, n.1, p.97-106, jul. 2005.

STAUFFER, C.E. Principles of dough formation. In: CAUVAIN, S.P.; YOUNG, L.S. **Technology of breadmaking**, London: Blackie Academic & Professional, 1998. p.262-295.

STAVRO, P.M.; MARCHIE, A.L.; KENDALL, C.W.C.; VUKSAN, V.; JENKINS, D.J. Flaxseed, fiber, and coronary heart disease: clinical studies, 288-300p. IN: THOMPSON, L.U.; CUNNANE, S.C. **Flaxseed in Human Nutrition**, 2003, 2ed.

STRAUMITE, E.; MURNIECE, I.; KUNKULBERGA, D.; KLAVA, D. Evaluation of nutrients available from different kinds of bread and their coverage in comparison to reference daily intake in adult group. **FOODBALT**, 2008, 4p. Disponível em: <<http://lufb.ltu.lv>>. Acesso em: 24 de setembro de 2009.

SUDHA, M.L.; VETRIMANI, R.; LEELAVATHI, K. Influence of fibre from different cereals on the rheological characteristics of wheat flour dough and on biscuit quality. **Food Chemistry**, v.100, n.4, p.1365-1370, 2007.

TEDRUS, G.A.S.; ORMENESE, R.C.S.; SPERANZA, S.M.; CHANG, Y.K.; BUSTOS, F.M. Estudo da adição de vital glúten a farinha de arroz, farinha de aveia e amido de trigo na qualidade dos pães. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.21, n.1, 2001.

THEBAUDIN, J.Y.; LEFEBVRE, A.C.; HARRINGTON, M.; BOURGEOIS, C. M. Dietary fibres: nutritional and technological interest. **Trends in Food Science & Technology**, v.8, n.2, p.41-48, febr. 1997.

TREVINO, J.; RODRIGUEZ, M.L.; ORTIZ, L.T.; REBOLE, A.; ALZUETA, C. Protein quality of linseed for growing broiler chicks. **Animal Feed Science and Technology**, v.84, n.3-4, p.155-166, 2000.

VAN DER MAAREL, M.J.E.C.; VAN DER VEEN, B.; UITDEHAAG, J.C.M.; HANS LEEMHUIS, H.; DIJKHUIZEN, L. Properties and applications of starch-converting enzymes of the alpha-amylase family. **Journal of Biotechnology**, Amsterdam, v.94, n.2, p.137-155, mar. 2002.

VASCONCELOS, A.C. PONTES, D.F.; GARRUTI, D.S.; SILVA, A.P.V. Processamento e aceitabilidade de pães de forma a partir de ingredientes funcionais: farinha de soja e fibra alimentar. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v.17, n.1, p.43-49, jan./mar. 2006.

VITTADINI, E.; VODOVOTZ, Y. Changes in the physiochemical properties of wheat- and soy-containing breads during storage as studied by thermal analyses. **Journal of Food Science**, v.68, n.6, p.2022-2027, aug. 2003.

WAITZBERG, D.L. **Nutrição oral, enteral e parenteral na prática clínica**. 3 Ed, São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte: Editora Atheneu; 2001.

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, n.2, p.221-226, nov. 2002.

WANG, M.-W.; HAMER, R.J.; VAN VLIET, T.; GRUPPEN, H.; MARSEILLE, J.P.; WEEGELS, P.L. Effect of water unextractable solids on gluten formation and properties: mechanistic considerations. **Journal of Cereal Science**, v.37, p.55-64, 2003.

WU, W.; HUFF, H. E.; HSIEHI, F. Processing and properties of extruded flaxseed-corn puff. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.31, n.2, p.211-226, apr. 2007.

XIE, S.; CUI, S.W.; LI, W.; TSAO, R. Isolation and characterization of wheat bran starch. **Food Research International**, v.41, n.9, p.882-887, nov. 2008.

XU, J.; BIETZ, J.A.; CARRIERE, C. J. Viscoelastic properties of wheat gliadin and glutenin suspensions. **Food Chemistry**, v.101, n.3, p.1025-1030, 2007.

XU, J.; BIETZ, J.A.; FELKER, F.C.; CARRIERE, C.J.; WIRTZ, D. Rheological Properties of vital wheat gluten suspensions. **Cereal Chemistry**, v.78, n.2, p.181-185, mar.-apr. 2001.

YOUNG, V.R.; PELLETT, P.L. Plant proteins in relation to human protein and amino acid nutrition. **American Journal of Clinical Nutrition**, v.59 (suppl.), n.5, p.1203S-1212S, may 1994.

ZAMBRANO, F.; ORMENESES, R.C.; PIZZINATTO, A.; ANJOS, V.D.A.; BRAGAGNOLO, N. Cookies com substituição parcial de gordura: composição centesimal, valor calórico, características físicas e sensoriais. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.5, p.43-52, 2002.

ZHANG, W.; XU, S.; WANG, Z.; YANG, R.; LU, R. Demucilaging and dehulling flaxseed with a wet process. **LWT-Food Science and Technology**, v.42, n.6, p.1193-1198, jul. 2009.

ZHANG, D.; MOORE, W.R. Wheat bran particle size effects on bread baking performance and quality **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.79, n.6, p.805-809, may 1999.

ANEXOS

ANEXO 1: Cor das farinhas mistas F0, F5, F10, F15, F20 e F25.

TABELA 16: Análise de variância para as coordenadas cromáticas L* a* b* das farinhas mistas F0, F5, F10, F15, F20 e F25.

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrado Médio
L*	5	33,59896 *
Erro puro	12	0,05631
Total	17	
a*	5	0,03292 *
Erro puro	12	0,00162
Total	17	
b*	5	0,29274 *
Erro puro	12	0,04266
Total	17	

* Apresenta significância estatística ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F.

TABELA 17: Resultados dos testes de ajustamento dos modelos linear, quadrático e cúbico especial para as coordenadas de cromaticidade L* a* b* das farinhas mistas F0, F5, F10, F15, F20 e F25.

Modelo	Grau de liberdade	Quadrado médio	R ² (1)
L*			
Linear	2	79,83520	0,9504
Resíduo da Regressão	15	0,60000	
Falta de ajuste	3	2,77479 *	
Erro puro	12	0,56306	
Quadrático	3	54,22346	0,9683
Resíduo da Regressão	14	0,42857	
Falta de ajuste	2	2,66219 *	
Erro puro	12	0,56306	
Cúbico especial	4	41,16760	0,9802
Resíduo da Regressão	13	0,30770	
Falta de ajuste	1	3,32438 *	
Erro puro	12	0,56306	
a*			
Linear	2	0,04180	0,5080
Resíduo da Regressão	15	0,00670	
Falta de ajuste	3	0,02699 *	
Erro puro	12	0,00162	
Quadrático	3	0,05429	0,9897
Resíduo da Regressão	14	0,00151	
Falta de ajuste	2	0,00084 ^{ns}	
Erro puro	12	0,00162	
Cúbico especial	4	0,04095	0,9954
Resíduo da Regressão	13	0,00156	
Falta de ajuste	1	0,00076 ^{ns}	
Erro puro	12	0,00162	

¹ Coeficiente de determinação= Soma de quadrados da regressão/Soma de quadrados do tratamento. * Apresenta significância estatística ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F.

TABELA 17: Resultados dos testes de ajustamento dos modelos linear, quadrático e cúbico especial para as coordenadas cromaticidade L* a* b* das farinhas mistas F0, F5, F10, F15, F20 e F25. (Continuação).

Modelo	Grau de liberdade	Quadrado médio	R ² (¹)
b*			
Linear	2	0,48688	0,6653
Resíduo da Regressão	15	0,06679	
Falta de ajuste	3	0,16332 *	
Erro puro	12	0,04266	
Quadrático	3	0,37593	0,7705
Resíduo da Regressão	14	0,04688	
Falta de ajuste	2	0,16796 *	
Erro puro	12	0,04266	
Cúbico especial	4	0,34054	0,9306
Resíduo da Regressão	13	0,04719	
Falta de ajuste	1	0,10155 ^{ns}	
Erro puro	12	0,04265	

¹ Coeficiente de determinação= Soma de quadrados da regressão/Soma de quadrados do tratamento. * Apresenta significância estatística ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F. ^{ns} Não apresenta significância estatística ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F

ANEXO 2: Composição centesimal das formulações F0, F5, F10, F15, F20 e F25.

TABELA 18: Análise de variância para cinzas, lipídios, proteína, fibra bruta e carboidratos, em base seca, das farinhas mistas F0, F5, F10, F15, F20 e F25.

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrado Médio
Cinzas (%)	5	0,25754 *
Erro puro	12	0,00009
Total	17	
Lipídios (%)	5	34,04175 *
Erro puro	12	0,19317
Total	17	
Proteína (%)	5	1,90368 *
Erro puro	12	0,02940
Total	17	
Fibra bruta (%)	5	0,95653 *
Erro puro	12	0,01675
Total	17	
Carboidratos (%)	5	59,79521 *
Erro puro	12	0,06577
Total	17	

* Apresenta significância estatística ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F.

TABELA 19: Resultados dos testes de ajustamento dos modelos linear, quadrático e cúbico especial para cinzas, lipídios, proteína, em base seca, das farinhas mistas F0, F5, F10, F15, F20 e F25.

Modelo	Grau de Liberdade	Quadrado médio	R ² (1)
Cinzas (%)			
Linear	2	0,62273	0,9672
Resíduo da Regressão	15	0,00289	
Falta de ajuste	3	0,01408 *	
Erro puro	12	0,00009	
Quadrático	3	0,41724	0,9720
Resíduo da Regressão	14	0,00265	
Falta de ajuste	2	0,01799 *	
Erro puro	12	0,00009	
Cúbico especial	4	0,31296	0,9721
Resíduo da Regressão	13	0,00284	
Falta de ajuste	1	0,03587 *	
Erro puro	12	0,00009	
Lipídios (%)			
Linear	2	86,97987	0,9868
Resíduo da Regressão	15	0,30459	
Falta de ajuste	3	0,75026 *	
Erro puro	12	0,19317	
Quadrático	3	55,98988	0,9868
Resíduo da Regressão	14	0,32551	
Falta de ajuste	2	1,11954 *	
Erro puro	12	0,19317	
Cúbico especial	4	42,01651	0,9874
Resíduo da Regressão	13	0,34313	
Falta de ajuste	1	2,14268 *	
Erro puro	12	0,19317	
Proteína (%)			
Linear	2	0,01847	0,0039
Resíduo da Regressão	15	0,65562	
Falta de ajuste	3	3,16049 *	
Erro puro	12	0,02940	
Quadrático	3	2,04606	0,6449
Resíduo da Regressão	14	0,26665	
Falta de ajuste	2	1,69012 *	
Erro puro	12	0,02940	
Cúbico especial	4	2,26143	0,9503
Resíduo da Regressão	13	0,06350	
Falta de ajuste	1	0,47271 *	
Erro puro	12	0,02970	

¹ Coeficiente de determinação= Soma de quadrados da regressão/Soma de quadrados do tratamento. * Apresenta significância estatística ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F.

TABELA 19: Resultados dos testes de ajustamento dos modelos linear, quadrático e cúbico especial para proteína, fibra bruta e carboidratos, em base seca, das formulações F0, F5, F10, F15, F20 e F25. (Continuação)

Modelo	Grau de liberdade	Quadrado médio	R ² (¹)
Fibra bruta (%)			
Linear	2	2,30747	0,9649
Resíduo da Regressão	15	0,02458	
Falta de ajuste	3	0,05589 ^{ns}	
Erro puro	12	0,01675	
Quadrático	3	1,55400	0,9748
Resíduo da Regressão	14	0,02298	
Falta de ajuste	2	0,06032 ^{ns}	
Erro puro	12	0,01675	
Cúbico especial	4	1,19506	0,9995
Resíduo da Regressão	13	0,01565	
Falta de ajuste	1	0,00240 ^{ns}	
Erro puro	12	0,01675	
Carboidratos (%)			
Linear	2	144,38263	0,9658
Resíduo da Regressão	15	0,73333	
Falta de ajuste	3	3,40359 [*]	
Erro puro	12	0,06577	
Quadrático	3	97,58842	0,9792
Resíduo da Regressão	14	0,50000	
Falta de ajuste	2	3,10539 [*]	
Erro puro	12	0,06577	
Cúbico especial	4	74,69131	0,9993
Resíduo da Regressão	13	0,07692	
Falta de ajuste	1	0,21078 ^{ns}	
Erro puro	12	0,06577	

¹ Coeficiente de determinação= Soma de quadrados da regressão/Soma de quadrados do tratamento. * Apresenta significância estatística ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F. ^{ns} Não apresenta significância estatística ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F

ANEXO 3: Farinografia das farinhas mistas F0, F5, F10, F15, F20 e F25.

TABELA 20: Análise de variância para AA (%), EST (min), TDM (min) e ÍTM (UF) das farinhas mistas F0, F5, F10, F15, F20 e F25¹.

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrado Médio
AA (%)	5	40,90214 [*]
Erro puro	12	0,12598
Total	17	
EST (min)	5	178,42015 [*]
Erro puro	12	0,57402
Total	17	
TDM (min)	5	1,93658 [*]
Erro puro	12	0,60007
Total	17	
ITM (UF)	5	202,09709 [*]
Erro puro	12	8,71198
Total	17	

¹ AA (%): Absorção de Água, em percentagem. EST (min): Estabilidade, em minutos. TDM (min): Tempo de Desenvolvimento da Massa, em minutos. ITM (UF): Índice de Tolerância à Mistura, em Unidades Farinográficas. * Apresenta significância estatística ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F.

TABELA 21: Resultados dos testes de ajustamento dos modelos linear, quadrático e cúbico especial para AA (%), EST (min), TDM (min) e ITM (UF)¹ das farinhas mistas F0, F5, F10, F15, F20 e F25.

Modelo	Grau de liberdade	Quadrado médio	R ² (2)
Absorção de Água (%)			
Linear	2	100,01121	0,9780
Resíduo da Regressão	15	0,39999	
Falta de ajuste	3	1,49609 *	
Erro puro	12	0,12598	
Quadrático	3	67,67414	0,9927
Resíduo da Regressão	14	0,21428	
Falta de ajuste	2	0,74413 *	
Erro puro	12	0,12598	
Cúbico especial	4	51,00561	0,9976
Resíduo da Regressão	13	0,15384	
Falta de ajuste	1	0,48826 ^{ns}	
Erro puro	12	0,12598	
Estabilidade (min)			
Linear	2	224,41700	0,5031
Resíduo da Regressão	15	30,10335	
Falta de ajuste	3	147,75559 *	
Erro puro	12	0,57402	
Quadrático	3	388,41749	0,8708
Resíduo da Regressão	14	8,72529	
Falta de ajuste	2	38,42192 *	
Erro puro	12	0,57402	
Cúbico especial	4	215,16561	0,9648
Resíduo da Regressão	13	2,94820	
Falta de ajuste	1	31,43833 *	
Erro puro	12	0,57402	
Tempo de Desenvolvimento da Massa (min)			
Linear	2	1,71392	0,3540
Resíduo da Regressão	15	0,89706	
Falta de ajuste	3	2,08501 ^{ns}	
Erro puro	12	0,60007	
Quadrático	3	1,24366	0,3853
Resíduo da Regressão	14	0,93948	
Falta de ajuste	2	2,97596 *	
Erro puro	12	0,60007	
Cúbico especial	4	2,14069	0,8843
Resíduo da Regressão	13	0,64007	
Falta de ajuste	1	1,12013 ^{ns}	
Erro puro	12	0,60007	

¹ AA (%): Absorção de Água, em percentagem. EST (min): Estabilidade, em minutos. TDM (min): Tempo de Desenvolvimento da Massa, em minutos. ITM (UF): Índice de Tolerância à Mistura, em Unidades Farinográficas. * Apresenta significância estatística ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F. ^{ns} Não apresenta significância estatística ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F

TABELA 21: Resultados dos testes de ajustamento dos modelos linear, quadrático e cúbico especial para AA (%), EST (min), TDM (min) e ITM (UF)¹ das farinhas mistas F0, F5, F10, F15, F20 e F25. (Continuação).

Modelo	Grau de liberdade	Quadrado médio	R ² (2)
Índice de Tolerância a Mistura (UF)			
Linear	2	216,01462	0,4275
Resíduo da Regressão	15	45,53333	
Falta de ajuste	3	192,81873 *	
Erro puro	12	8,71198	
Quadrático	3	193,67641	0,5750
Resíduo da Regressão	14	38,14286	
Falta de ajuste	2	214,72630 *	
Erro puro	12	8,71198	
Cúbico especial	4	247,50731	0,9798
Resíduo da Regressão	13	9,61538	
Falta de ajuste	1	20,45620 ^{ns}	
Erro puro	12	8,71198	

¹ AA (%): Absorção de Água, em percentagem. EST (min): Estabilidade em minutos. TDM (min): Tempo de Desenvolvimento da Massa, em minutos. ITM (UF): Índice de Tolerância à Mistura, em Unidades Farinográficas. * Apresenta significância estatística ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F. ^{ns} Não apresenta significância estatística ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F

ANEXO 4: Extensografia das farinhas mistas F0, F5, F10, F15, F20 e F25.

TABELA 22: Análise de variância para Rmax (UE), E (mm) e R/E das farinhas mistas F0, F5, F10, F15, F20 e F25¹.

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrado Médio
Rmax (UE)	5	5067,32006 [*]
Erro puro	12	68,31902
Total	17	
E (mm)	5	566,87753 [*]
Erro puro	12	15,89476
Total	17	
R/E	5	0,15081 [*]
Erro puro	12	0,01355
Total	17	

¹ Rmax (UE): Resistência máxima à extensão, em Unidades Extensográficas, E (mm): Extensibilidade, em milímetros, R/E: Número proporcional. * Apresenta significância estatística ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F.

TABELA 23: Resultados dos testes de ajustamento dos modelos linear, quadrático e cúbico especial para Rmax (UE), E (mm) e R/E das farinhas mistas F0, F5, F10, F15, F20 e F25¹.

Modelo	Grau de liberdade	Quadrado médio	R ² (2)
Rmax (UF)			
Linear	2	4738,71430	0,3741
Resíduo da Regressão	15	1111,93333	
Falta de ajuste	3	5286,39056 *	
Erro puro	12	68,31902	
Quadrático	3	7791,47620	0,9225
Resíduo da Regressão	14	198,71428	
Falta de ajuste	2	981,08584 *	
Erro puro	12	68,31902	
Cúbico especial	4	6244,60715	0,9859
Resíduo da Regressão	13	90,61538	
Falta de ajuste	1	358,17169 *	
Erro puro	12	68,31902	
E (UF)			
Linear	2	1234,06240	0,8708
Resíduo da Regressão	15	37,13333	
Falta de ajuste	3	122,08762 *	
Erro puro	12	15,89476	
Quadrático	3	858,04160	0,9082
Resíduo da Regressão	14	32,21428	
Falta de ajuste	2	130,13143 *	
Erro puro	12	15,89476	
Cúbico especial	4	706,78120	0,9974
Resíduo da Regressão	13	15,23077	
Falta de ajuste	1	7,26287 ^{ns}	
Erro puro	12	15,89476	
R/E			
Linear	2	0,14897	0,3951
Resíduo da Regressão	15	0,04125	
Falta de ajuste	3	0,15204 *	
Erro puro	12	0,01355	
Quadrático	3	0,23212	0,9235
Resíduo da Regressão	14	0,01573	
Falta de ajuste	2	0,02884 ^{ns}	
Erro puro	12	0,01355	
Cúbico especial	4	0,18739	0,9940
Resíduo da Regressão	13	0,01285	
Falta de ajuste	1	0,00449 ^{ns}	
Erro puro	12	0,01355	

¹ Rmax (UF): Resistência máxima à extensão, em Unidades farinográficas, E (mm): Extensibilidade, em milímetros, R/E: Número proporcional. ² R²: Coeficiente de determinação= Soma de quadrados da regressão/Soma de quadrados do tratamento. * Apresenta significância estatística ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F. ^{ns} Não apresenta significância estatística ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F

ANEXO 5: Número de Queda (s) das farinhas mistas F0, F5, F10, F15, F20 e F25.

TABELA 24: Análise de variância para Número de Queda (s)¹ das farinhas mistas F0, F5, F10, F15, F20 e F25.

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrado Médio
Número de Queda (s)	5	7865,02222*
Erro puro	12	590,11111
Total	17	

¹ Segundos. * Apresenta significância estatística ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F.

TABELA 25: Resultados dos testes de ajustamento dos modelos linear, quadrático e cúbico especial para Número de Queda (s)¹ das farinhas mistas F0, F5, F10, F15, F20 e F25.

Modelo	Grau de liberdade	Quadrado médio	R ² (2)
Número de Queda (s)			
Linear	2	253,22200	0,0129
Resíduo da Regressão	15	3060,00003	
Falta de ajuste	3	12939,55570 *	
Erro puro	12	590,11111	
Quadrático	3	6853,14800	0,5228
Resíduo da Regressão	14	18203,35717	
Falta de ajuste	2	9382,83335 *	
Erro puro	12	590,11111	
Cúbico especial	4	9486,50000	0,9644
Resíduo da Regressão	13	650,80342	
Falta de ajuste	1	1379,11111 ^{ns}	
Erro puro	12	590,11111	

¹ Segundos. ² Coeficiente de determinação = Soma de quadrados da regressão / Soma de quadrados do tratamento.

* Apresenta significância estatística ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F. ^{ns} Não apresenta significância estatística ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F.

ANEXO 6: Qualidade panificável das farinhas mistas F0, F5, F10, F15, F20 e F25.

TABELA 26: Análise de variância para Escore Total e Volume Específico (g/cm³) dos pães obtidos a partir das farinhas mistas F0, F5, F10, F15, F20 e F25.

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrado Médio
Escore Total	5	121,72055 *
Erro puro	12	1,16055
Total	17	
Volume Específico (g/cm ³)	5	0,78894 *
Erro puro	12	0,01301
Total	17	

* Apresenta significância estatística ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F.

TABELA 27: Resultados dos testes de ajustamento dos modelos linear, quadrático e cúbico especial para Escore Total e Volume Específico (g/cm³) dos pães obtidos a partir das farinhas mistas F0, F5, F10, F15, F20 e F25.

Modelo	Grau de liberdade	Quadrado médio	R ² (1)
Escore Total			
Linear	2	579,52944	0,9522
Resíduo da Regressão	15	2,86667	
Falta de ajuste	3	9,69111 *	
Erro puro	12	1,16055	
Quadrático	3	579,52944	0,3190
Resíduo da Regressão	14	2,85714	
Falta de ajuste	2	26,07334 *	
Erro puro	12	13,92667	
Cúbico especial	4	579,52944	0,9834
Resíduo da Regressão	13	1,84615	
Falta de ajuste	1	0,00449 ^{ns}	
Erro puro	12	13,92667	
Volume Específico (g/cm³)			
Linear	2	1,91092	0,9689
Resíduo da Regressão	15	0,01860	
Falta de ajuste	3	0,04095 ^{ns}	
Erro puro	12	0,01301	
Quadrático	3	1,28071	0,9740
Resíduo da Regressão	14	0,01848	
Falta de ajuste	2	0,05128 *	
Erro puro	12	0,01301	
Cúbico especial	4	0,98574	0,9996
Resíduo da Regressão	13	0,01214	
Falta de ajuste	1	0,00171 ^{ns}	
Erro puro	12	0,01301	

¹ Coeficiente de determinação= Soma de quadrados da regressão/Soma de quadrados do tratamento. * Apresenta significância estatística ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F. ^{ns} Não apresenta significância estatística ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F

ANEXO 7: Teste t para estimativa dos parâmetros dos modelos ajustados para Cor das farinhas mistas de trigo e linhaça.

TABELA 28: Teste t para estimativa dos parâmetros dos modelos ajustados para as coordenadas de cromaticidade L* a* b* das farinhas mistas F0, F5, F10, F15, F20 e F25.

Variável	Estimativa do parâmetro	Valor de t	P(t)	Desvio padrão
L*				
FT ¹	93,28000	299,86	<,0001	0,31108
FIL ²	58,38667	32,32	<,0001	1,80000
FT	92,74190	281,43	<,0001	0,32954
FIL	9,42000	0,52	0,6106	18,11513
FT * FIL	64,57143	2,71	0,0160	23,80292
FT	92,46635	294,59	<,0001	0,31388
FIL	493,57111	2,35	0,0342	210,33968
FT * FIL	-1129,50265	-2,18	0,0467	517,69569
FT * FT * FIL	734,81481	2,31	0,0368	318,32053
a*				
FT	0,36524	11,03	<,0001	0,03311
FIL	1,16333	6,05	<,0001	0,19228
FT	0,45393	23,10	<,0001	0,01965
FIL	9,23417	8,55	<,0001	1,08038
FT * FIL	-10,64286	-7,50	<,0001	1,41960
FT	0,46050	21,41	<,0001	0,02151
FIL	-2,31648	-0,16	0,8746	14,41110
FT * FIL	17,84480	0,50	0,6227	35,46912
FT * FT * FIL	-17,53086	-0,80	0,4349	21,80924
b*				
FT	9,48841	90,75	<,0001	0,10456
FIL	12,21222	20,11	<,0001	0,60723
FT	9,61202	77,27	<,0001	0,12440
FIL	23,46083	3,43	0,0037	6,83852
FT * FIL	-14,83333	-1,65	0,1196	8,98568
FT	9,71619	82,04	<,0001	0,11843
FIL	-150,56000	-2,01	0,0640	79,36223
FT * FIL	436,55556	2,23	0,0422	195,32922
FT * FT * FIL	-277,77778	-2,31	0,0365	120,10396

¹ Farinha de trigo. ² Farinha integral de linhaça.

ANEXO 8: Teste t para estimativa dos parâmetros dos modelos ajustados para análise físico-química das farinhas mistas de trigo e linhaça.

TABELA 29: Teste t para estimativa dos parâmetros dos modelos ajustados para composição centesimal, em base seca, das farinhas mistas F0, F5, F10, F15, F20 e F25.

Variável	Estimativa do parâmetro	Valor de t	P(t)	Desvio padrão
Cinzas (%)				
FT ¹	0,65691	30,20	<,0001	0,02175
FIL ²	3,73737	29,59	<,0001	0,12633
FT	0,63199	24,29	<,0001	0,02602
FIL	1,46941	1,03	0,3206	1,43049
FT * FIL	2,99071	1,59	0,1324	1,87963
FT	0,63434	21,82	<,0001	0,02908
FIL	-2,66442	-0,14	0,8932	19,48501
FT * FIL	13,18608	0,27	0,7874	47,95723
FT * FT * FIL	-6,27407	-0,21	0,8346	29,48792
Lipídios (%)				
FT	1,72545	7,73	<,0001	0,22329
FIL	37,49806	28,92	<,0001	1,29676
FT	1,75951	6,10	<,0001	0,28842
FIL	40,59783	2,56	0,0217	15,85481
FT * FIL	-4,08762	-0,20	0,8471	20,83291
FT	1,69270	5,30	0,0001	0,31936
FIL	157,97845	0,74	0,4726	214,01096
FT * FIL	-293,58638	-0,56	0,5861	526,73158
FT * FT * FIL	178,15309	0,55	0,5909	323,87651
Proteína (%)				
FT	12,80912	32,41	<,0001	0,39523
FIL	12,49251	5,44	<,0001	2,29530
FT	13,96853	53,13	<,0001	0,26104
FIL	84,41891	5,88	<,0001	14,34992
FT * FIL	-93,35976	-4,95	0,0002	18,85551
FT	14,23542	103,61	<,0001	0,13739
FIL	-560,20650	-6,08	<,0001	92,06648
FT * FIL	1496,49610	6,60	<,0001	226,59739
FT * FT * FIL	-978,37284	-7,02	<,0001	139,33011
Fibra bruta (%)				
FT			0,0031	
FIL			<,0001	
FT	0,22320	2,91	0,0107	0,07663
FIL	0,00488	0,00	0,9991	4,21240
FT * FIL	8,19738	1,48	0,1593	5,53502
FT	0,29718	4,36	0,0007	0,06820
FIL	-129,98872	-2,84	0,0130	45,70440
FT * FIL	328,80386	2,92	0,0111	112,48933
FT * FT * FIL	-197,29630	-2,85	0,0128	69,16739

¹ Farinha de trigo. ² Farinha integral de linhaça.

TABELA 29: Teste t para estimativa dos parâmetros dos modelos ajustados para composição centesimal, em base seca, das farinhas mistas F0, F5, F10, F15, F20 e F25. (Continuação).

Variável	Estimativa do parâmetro	Valor de t	P(t)	Desvio padrão
Carboidratos				
FT ¹	84,72682	196,78	<,0001	0,43056
FIL ²	40,10143	16,04	<,0001	2,50049
FT	83,85791	202,69	<,0001	0,41373
FIL	-38,96944	-1,71	0,1072	22,74348
FT * FIL	104,26929	3,49	0,0033	29,88448
FT	83,24834	473,61	<,0001	0,17578
FIL	1032,04733	8,76	<,0001	117,79027
FT * FIL	-2537,20633	-8,75	<,0001	289,90970
FT * FT * FIL	1625,52346	9,12	<,0001	178,25957

¹ Farinha de trigo. ² Farinha integral de linhaça.

ANEXO 8: Teste t para estimativa dos parâmetros dos modelos ajustados para farinografia das farinhas mistas de trigo e linhaça.

TABELA 30: Teste t para estimativa dos parâmetros dos modelos ajustados para farinografia das farinhas mistas F0, F5, F10, F15, F20 e F25.

Variável	Estimativa do parâmetro	Valor de t	P(t)	Desvio padrão
Absorção de Água (%)				
FT ¹	64,47222	239,08	<,0001	0,26967
FIL ²	103,44556	66,05	<,0001	1,56613
FT	63,86131	277,46	<,0001	0,23016
FIL	47,85250	3,78	0,0018	12,65236
FT * FIL	73,30952	4,41	0,0005	16,62495
FT	63,72233	267,34	<,0001	0,23836
FIL	292,04296	1,83	0,0889	159,72964
FT * FIL	-528,94356	-1,35	0,1999	393,13241
FT * FT * FIL	370,61728	1,53	0,1475	241,72911
Estabilidade (min)				
FT	15,36587	6,93	<,0001	2,21639
FIL	-43,11222	-3,35	0,0041	12,87175
FT	21,07024	14,11	<,0001	1,49325
FIL	475,98500	5,80	<,0001	82,08625
FT * FIL	-684,52381	-6,35	<,0001	107,85971
FT	23,04024	24,61	<,0001	0,93612
FIL	-2985,30500	-4,76	0,0003	627,31333
FT * FIL	7852,14286	5,09	0,0002	1543,96647
FT * FT * FIL	-5253,33333	-5,53	<,0001	949,35351

¹ Farinha de trigo. ² Farinha integral de linhaça.

TABELA 30: Teste t para estimativa dos parâmetros dos modelos ajustados para farinografia das farinhas mistas F0, F5, F10, F15, F20 e F25. (Continuação).

Variável	Estimativa do parâmetro	Valor de t	P(t)	Desvio padrão
TDM (min)				
FT	16,12825	42,09	<,0001	0,38320
FIL	11,01778	4,95	0,0001	2,22542
FT	16,30167	33,27	<,0001	0,48999
FIL	26,79833	0,99	0,3356	26,93545
FT * FIL	-20,80952	-0,59	0,5653	35,39265
FT	16,77463	38,46	<,0001	0,43618
FIL	-804,19759	-2,75	0,0156	292,29425
FT * FIL	2028,69665	2,82	0,0136	719,40527
FT *FT * FIL	-1261,23457	-2,85	0,0128	442,34763
ITM (UF)				
FT	29,75079	10,90	<,0001	2,72933
FIL	87,14889	5,50	<,0001	15,85063
FT	25,90833	8,30	<,0001	3,12152
FIL	-262,51500	-1,53	0,1469	171,59458
FT * FIL	461,09524	2,05	0,0588	225,47189
FT	21,55981	12,74	<,0001	1,69293
FIL	7377,83204	6,50	<,0001	1134,46513
FT * FIL	-18382,00000	-6,58	<,0001	2792,18698
FT *FT * FIL	11596,00000	6,75	<,0001	1716,85885

¹ Farinha de trigo. ² Farinha integral de linhaça.

ANEXO 9: Teste t para estimativa dos parâmetros dos modelos ajustados para extensografia das farinhas mistas de trigo e linhaça.

TABELA 31: Teste t para estimativa dos parâmetros dos modelos ajustados para Rmax (UE), E (mm) e R/E das farinhas mistas F0, F5, F10, F15, F20 e F25¹.

Variável	Estimativa do parâmetro	Valor de t	P(t)	Desvio padrão
Rmax (UE)				
FT ²	252,18206	18,69	<,0001	13,49130
FIL ³	-16,53222	-0,21	0,8355	78,35098
FT	289,31262	40,60	<,0001	7,12636
FIL	3362,34833	8,58	<,0001	391,74699
FT * FIL	-4455,66667	-8,66	<,0001	514,74781
FT	297,93021	57,40	<,0001	5,18998
FIL	-11779,00000	-3,39	0,0044	3477,90383
FT * FIL	32887,00000	3,84	0,0018	8559,94384
FT *FT * FIL	-22980,00000	-4,37	0,0006	5263,33496
E (mm)				
FT	117,51238	47,68	<,0001	2,46475
FIL	-19,62667	-1,37	0,1893	14,31409
FT	120,75286	42,09	<,0001	2,86874
FIL	275,25667	1,75	0,1013	157,69919
FT * FIL	-388,85714	-1,88	0,0802	207,21362
FT	124,17860	58,46	<,0001	2,12424
FIL	-5743,76981	-4,03	0,0012	1423,49419
FT * FIL	14456,00000	4,13	0,0010	3503,55586
FT *FT * FIL	-9135,30864	-4,24	0,0008	2154,26507

¹ Rmax (UE): Resistência máxima à extensão, em Unidades Extensográficas, E (mm): Extensibilidade, em milímetros. ² Farinha de trigo. ³ Farinha integral de linhaça.

TABELA 31: Teste t para estimativa dos parâmetros dos modelos ajustados para Rmax (UE), E (mm) R/E das farinhas mistas F0, F5, F10, F15, F20 e F25. (Continuação).

Variável	Estimativa do parâmetro	Valor de t	P(t)	Desvio padrão
R/E				
FT	1,91667	23,33	<,0001	0,08217
FIL	3,42333	7,17	<,0001	0,47720
FT	2,11548	33,36	<,0001	0,06341
FIL	21,51500	6,17	<,0001	3,48591
FT * FIL	-23,85714	-5,21	0,0001	4,58042
FT	2,06585	33,42	<,0001	0,06181
FIL	108,71426	2,62	0,0200	41,41988
FT * FIL	-238,91887	-2,34	0,0344	101,94413
FT *FT * FIL	132,34568	2,11	0,0532	62,68337

¹ Farinha de trigo. ² Farinha integral de linhaça.

ANEXO 10: Teste t para estimativa dos parâmetros dos modelos ajustados para número de queda (s) das farinhas mistas de trigo e linhaça.

TABELA 32: Teste t para estimativa dos parâmetros dos modelos ajustados para Número de Queda (s)¹ das farinhas mistas F0, F5, F10, F15, F20 e F25.

Variável	Estimativa do parâmetro	Valor de t	P(t)	Desvio padrão
Número de Queda (s)				
FT ²	490,31746	21,91	<,0001	22,38073
FIL ³	428,22222	3,29	0,0046	129,97648
FT	445,71429	20,52	<,0001	21,72110
FIL	-3630,66667	-3,04	0,0083	1194,04236
FT * FIL	5352,38095	3,41	0,0039	1568,94811
FT	417,34392	30,00	<,0001	13,90927
FIL	46216,00000	4,96	0,0002	9320,85974
FT * FIL	-117586,00000	-5,13	0,0002	22941,00000
FT *FT * FIL	75654,00000	5,36	0,0001	14106,00000

¹ Segundos. ² Farinha de trigo. ³ Farinha integral de linhaça.

ANEXO 11: Teste t para estimativa dos parâmetros dos modelos ajustados para Escore Total e Volume Específico (g/cm³) de pães produzidos com farinhas mistas de trigo e linhaça (F0, F5, F10, F15, F20 e F25).

TABELA 33: Teste t para estimativa dos parâmetros dos modelos ajustados para Escore Total e Volume Específico (g/cm³) de pães produzidos com farinhas mistas de trigo e linhaça (F0, F5, F10, F15, F20 e F25).

Variável	Estimativa do parâmetro	Valor de t	P(t)	Desvio padrão
Escore Total				
FT ¹	38,21270	55,88	<,0001	0,68388
FIL ²	-28,24444	-7,11	<,0001	3,97162
FT	38,80595	45,81	<,0001	0,84708
FIL	25,74167	0,55	0,5885	46,56552
FT * FIL	-71,19048	-1,16	0,2628	61,18618
FT	39,66614	54,31	<,0001	0,73032
FIL	-1485,60370	-3,04	0,0089	489,40108
FT * FIL	3656,27866	3,04	0,0089	1204,53181
FT *FT * FIL	-2293,82716	-3,10	0,0079	740,64205

¹ Farinha de trigo. ² Farinha integral de linhaça.

TABELA 33: Teste t para estimativa dos parâmetros dos modelos ajustados para Escore Total e Volume Específico (g/cm³) de pães produzidos com farinhas mistas de trigo e linhaça (F0, F5, F10, F15, F20 e F25). (Continuação)

Variável	Estimativa do parâmetro	Valor de t	P(t)	Desvio padrão
Volume Específico (g/cm³)				
FT ¹	3,76063	68,16	<,0001	0,05518
FIL ²	-1,63556	-5,10	0,0001	0,32044
FT	3,80548	55,38	<,0001	0,06872
FIL	2,44500	0,65	0,5273	3,77764
FT * FIL	-5,38095	-1,08	0,2955	4,96375
FT	3,87381	64,48	<,0001	0,06008
FIL	-117,61667	-2,92	0,0112	40,25811
FT * FIL	290,73016	2,93	0,0109	99,08474
FT * FT * FIL	-182,22222	-2,99	0,0097	60,92518

¹ Farinha de trigo. ² Farinha integral de linhaça.

ANEXO 12: Teste de qualidade panificável das farinhas mistas de trigo e linhaça.

TABELA 34: Qualidade panificável das farinhas mistas de trigo e linhaça (F0, F5, F10, F15, F20 e F25).

Características	Atributos	Pães					
		F0	F5	F10	F15	F20	F25
Externas	Cor de crosta	10	8,40	8,07	7,20	6,20	5,33
	Quebra/Simetria	10	7,13	7,07	6,13	5,67	4,87
Internas	Cor do miolo	10	9,07	9,07	7,93	6,40	5,53
	Estrutura do miolo	10	7,73	8,07	7,87	6,33	5,93
Total		40	32,23	32,28	29,13	24,60	21,66

ANEXO 13: Farinogramas e extensogramas das farinhas mistas de trigo e linhaça.

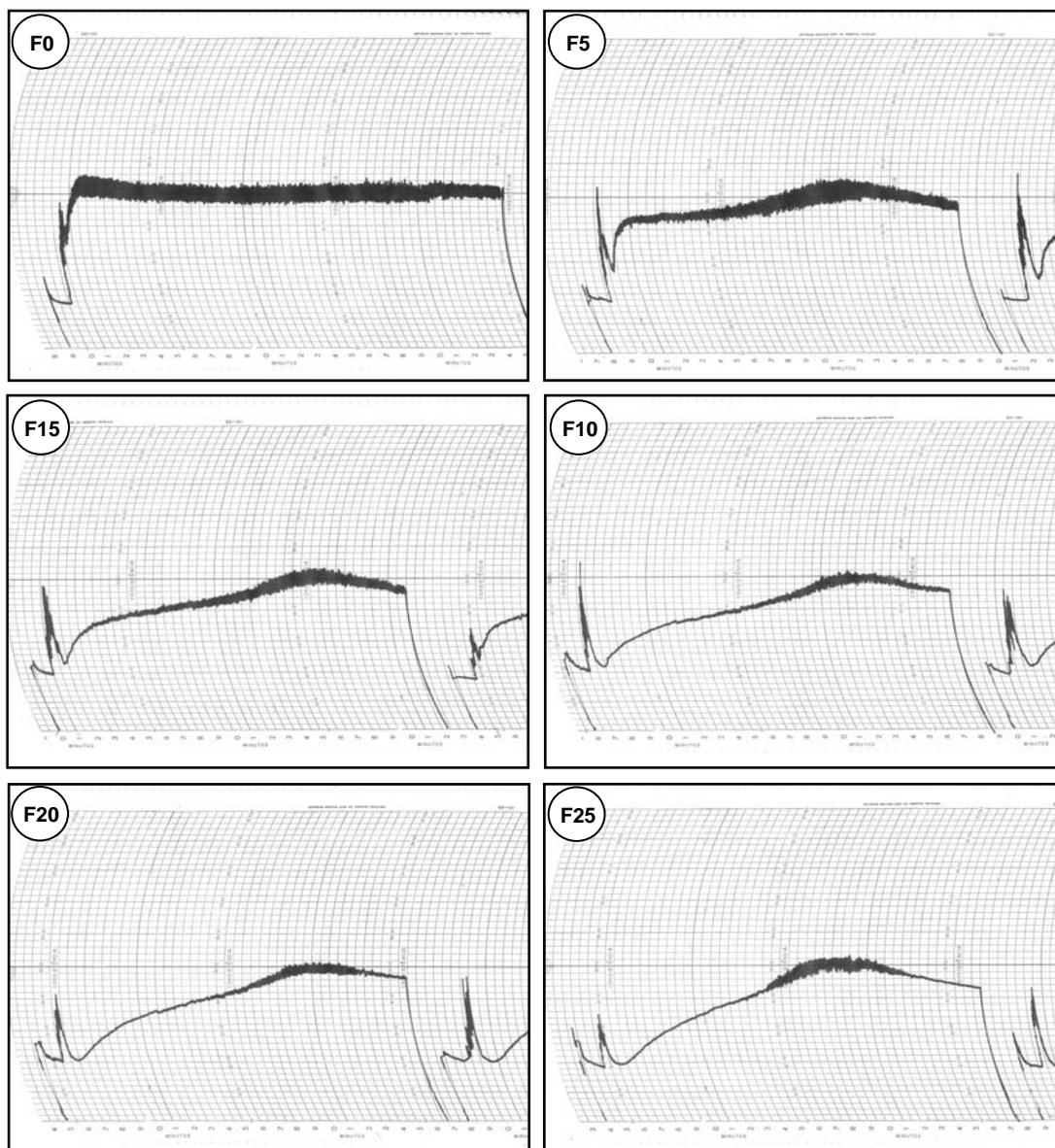


FIGURA 22: Farinogramas das farinhas mistas de trigo e linhaça.

F0: Farinha de trigo (100 %), Farinha integral de linhaça (0 %), F5: Farinha de trigo (95 %), Farinha integral de linhaça (5 %), F10: Farinha de trigo (90 %), Farinha integral de linhaça (10 %). F15: Farinha de trigo (85 %), Farinha integral de linhaça (15 %), F20: Farinha de trigo (80 %), Farinha integral de linhaça (20 %), F25: Farinha de trigo (75 %), Farinha integral de linhaça (25 %).

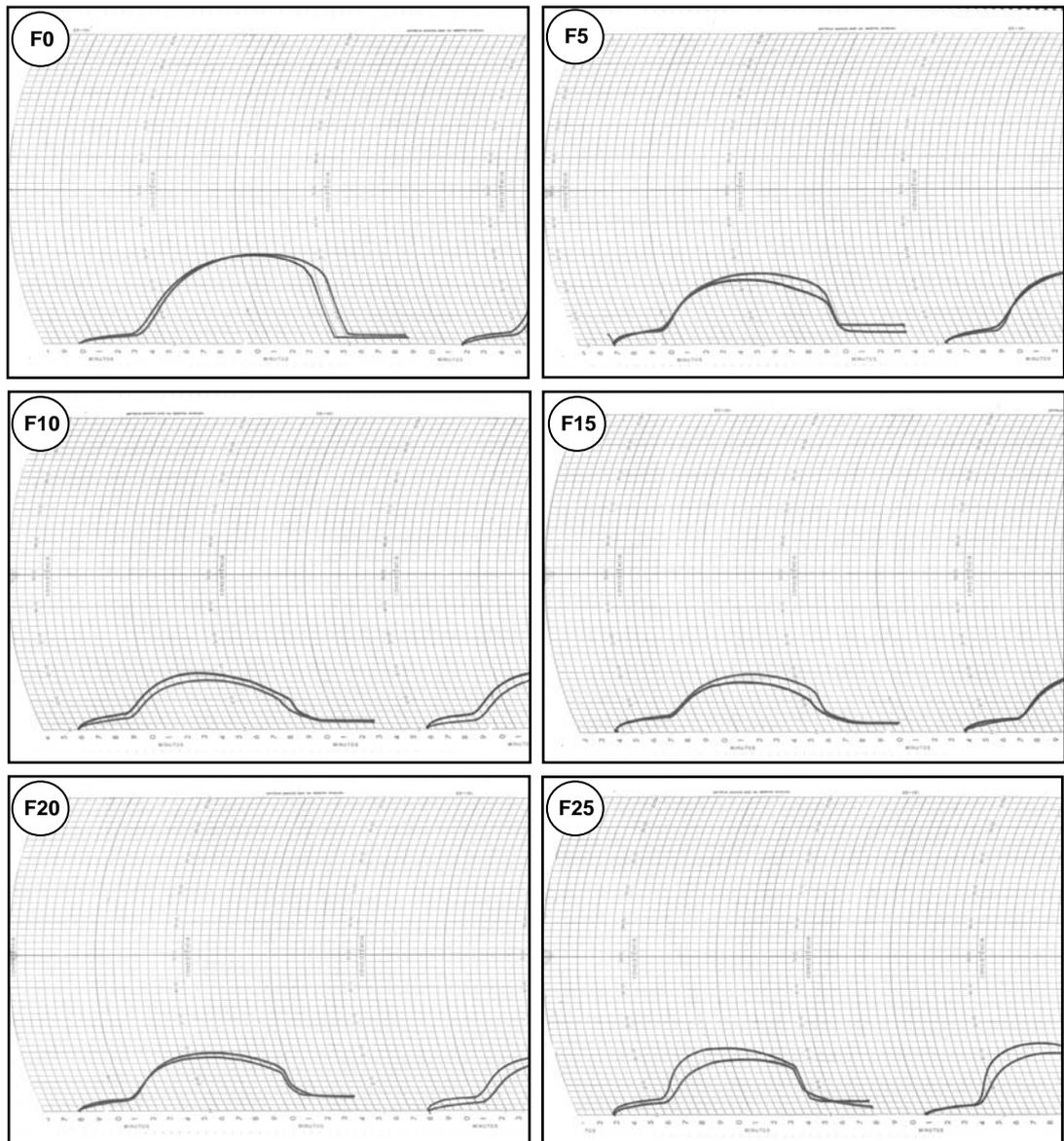


FIGURA 23: Extensogramas das farinhas mistas de trigo e linhaça.

F0: Farinha de trigo (100 %), Farinha integral de linhaça (0 %), F5: Farinha de trigo (95 %), Farinha integral de linhaça (5 %), F10: Farinha de trigo (90 %), Farinha integral de linhaça (10 %), F15: Farinha de trigo (85 %), Farinha integral de linhaça (15 %), F20: Farinha de trigo (80 %), Farinha integral de linhaça (20 %), F25: Farinha de trigo (75 %), Farinha integral de linhaça (25 %).